

УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ

ФАКУЛТЕТ:



АРХИТЕКТОНСКО-ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ

БАЊА ЛУКА

Број: 1429

Датум: 13.12.16. 130 100

ИЗВЈЕШТАЈ

о оцјени урађене докторске дисертације

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

На основу члана 54. Статута Универзитета у Бањој Луци, Наставно-научно вијеће Архитектонско-грађевинско-геодетског факултета Универзитета у Бањој Луци, на 36. сједници, одржаној дана 29.09.2016. године, донијело је одлуку (број одлуке: 14/3.1029/16), о именовању Комисије за оцјену и одбрану урађене докторске тезе кандидата мр. Бојане Грујић, дипл.инж.грађ., под насловом „Моделирање физичко-механичких својстава бетона ојачаног влакнima са примјеном у конструкцијама“, у следећем саставу:

- Проф. др Драган Милашиновић, дипл. инж. грађ.,** редовни професор, ужа научна област Техничке механике у грађевинарству;
Универзитет у Новом Саду - Грађевински факултет у Суботици
предсједник и члан комисије
- Проф. др Јакоб Шуштершич, дипл.инж. грађ.,** редовни професор, ужа научна област Грађевинске конструкције;
Institute for Research in materials and Applications, Ljubljana, Slovenia
члан комисије
- Проф. др Мато Уљаревић, дипл.инж.грађ.,** ванредни професор, ужа научна област Геотехника;
Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет
ментор и члан комисије

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Основни биографски подаци:

Име, средње име и презиме: мр. Бојана (Милош) Грујић, дипл.инж.грађ.

Датум рођења: 13.05.1980. године

Мјесто рођења: Соколац, Босна и Херцеговина

Адреса: Степе Степановића 177/1

78000 Бања Лука

Република Српска

Босна и Херцеговина

E-mail: bgrujic@agfbl.org

Научна област: Геотехника и грађевинске конструкције

Научно поље: Грађевинарство

Ужа научна област: Геотехника

Образовање:

Магистар техничких наука из области грађевинарства (смјер Грађевинске конструкције)

Магистарска теза: „Примјена специјалних врста бетона за израду примарне подграде тунелске конструкције“

Година магистрирања 2012.

Просјечна оцјена на постдипломским студијама: 10,00 (десет).

Година пријаве докторске дисертације и назив студијског програма: септембар, 2014.год, Грађевински одсјек

III УВОДНИ ДИО ОЦЈЕНЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат, mr Bojana Grujić, дипл. инж. грађ., написала је докторску дисертацију под насловом „Моделирање физичко-механичких својстава бетона ојачаних влакнima са примјеном у конструкцијама“. У складу са методологијом писања научно-истраживачких радова, докторска дисертација садржи седам поглавља и то:

1. Увод
2. Микроармирани бетони у савременом грађевинарству
3. Припрема и обрадљивост микроармираних бетона
4. Експериментално истраживање
5. Анализа добијених резултата
6. Примјена добијених експерименталних лабораторијских резултата у прорачуну тунелске конструкције
7. Закључна сазнања и могућност даљих истраживања
8. Списак табела
9. Списак слика
10. Литература

Свако од наведених поглавља подијељено је у неколико одјељака који су такође нумерички обиљежени.

Дисертација је написана на 210 страна А4 формата, садржи 64 слике, 55 табела и 150 литературниh навода. На почетку дисертације дата је кључна документација са изводом рада на српском и енглеском језику.

IV УВОД И ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Савремени захтјеви у области грађевинске науке непрекидно захтијевају увођење нових, виших, стандарда у циљу освајања квалитетнијих, трајнијих и економичнијих материјала у оквиру грађевинских конструкција. Прије свега, овде спадају нови композити са побољшаним физичко-механичким, динамично-реолошким, технолошким, експлоатационим и другим карактеристикама у односу на већ постојеће, уобичајене материјале.

Један од значајнијих производа оваквог развојног приступа у области грађевинарства је микроармирани бетон, тј. бетон са додатком влакана која представљају врсту микроарматуре. Захваљујући све израженијој потреби за сложеном врстом објекта, како у погледу оптерећености конструкције, тако и у погледу облика конструкције, границе квалитета бетона армираног челичним влакнima су у сталном порасту.

С тим у вези, истиче се основни разлог због кога су у оквиру докторске дисертације спроведена истраживања у области микроармираног бетона која су дала значајне, унапријеђене физичко-механичке и динамичко-реолошке карактеристике микроармираног бетона за његову примјену у грађевинским конструкцијама.

Увођење влакана у испитивање бетонске мјешавине, посебно у пост-еластичној зони, изазива позитивне промјене које се крећу од најблажих до значајних у зависности од низа фактора укључујући чврстоћу матрице бетона, тип влакана, модул еластичности влакана, чврстоћу влакана, карактеристику површинског везивања влакна за матрицу бетона, садржај влакана, орјентацију влакана у матрици као и ефекте величине агрегата. Примјена бетона у комбинацији са челичним влакнima доприноси пластичном понашању ове врсте материјала, што је посебно погодно за примјену где је ојачање класичном арматуром тешко извести.

Предмет докторске дисертације је експериментално-теоријска и моделска анализа микроармираног бетона, која је спроведена на узорцима микроармираног бетона различитих облика (цилиндри, греде и плоче), различите геометрије и облика употребљених челичних влакана као и различитих дозажа примјењене челичне микроарматуре. Предложена и спроведена санација М. Уљаревића 2005.год., на доводном каналу (један од осам канала) руде на млинове темоелектране Гацко, остварена је без претходног испитивања таквог композита на ударна дејства. Иако се санација показала као успјешна (трајност увећана за 8 пута), предметна докторска дисертација експерименталним истраживањем доказала је зависност ударних чврстоћа од параметара микроармираних бетона, (чврстоћа матрице, дужина, пречник, облик и количина употребљених челичних влакана). У реализацији постављеног циља и спровођења предметног истраживања кандидат је развила сопствену методу утврђивања отпорности микроармираног бетона на ударна дјеловања.

Све облике примјењених микроармираних узорака пратила је и израда узорака без микроарматуре који су служили као еталони.

Основни циљ докторске дисертације је био да се на основу моделирања физичко-механичких карактеристика бетона ојачаног челичним влакнima (микроармираног бетона), добије одговор за могућност побољшане и унапријеђене примјене ове врсте бетона у грађевинским конструкцијама сложених облика и оптерећења.

Током израде докторске дисертације пролазило се кроз неколико нивоа и врста моделирања бетона ојачаног челичним влакнima (у лабораторијама) да би се на најбољи могући начин представила функционална зависност његових особина од примјењених параметара влакана и осталих употребљених компоненти: агрегата, цемента, воде и адитива.

Преглед расположивих и документованих метода истраживања о микроармираном бетону од стране истраживачке заједнице је основа од које је настављена област истраживања микроармираног бетона са челичним влакнima у оквиру предметне дисертације. Концепт спроведених истраживања, добијени резултати и евалуација цјелокупног рада представљају апликације за различите дијелове грађевинских конструкција високоградње, нискоградње и хидроградње карактеристичних оптерећења и облика.

Сазнање да се примјеном различитих врста влакана у маси бетона позитивно утиче на карактеристике истог, може се сматрати једном од важних иновативних чињеница у историји грађевинске струке. Управо, ова чињеница довела је до развоја микроармираног бетона.

Римљани су претече у примјени различитих врста природних влакана у ојачању конструкција. У прво вријеме, примјена природних влакана је текла без стручног знања. Послије пада Римског царства примјена ове врсте ојачаног бетона пала је у

заборав. Након поновне ренесансе бетона средином XIX вијека као његови додаци, за побољшање карактеристика, кориштени су азбест, пластика, стакло и челик. Према томе, може се рећи да је почетак примјене микроармираних бетона крај XIX вијека, када је A. Berand 1874. године с намјером да повећа жилавост бетона својој рецептури додао челичне опиљке. Са научно-истраживачким развојем микроармираних бетона, паралелно се одвија и њихова индустријска примјена. Porter је 1910. године експериментисао са бетоном који је ојачан челичним влакнima, затим је Fricklin 1914. године добио патент за ојачани бетон са челичним ексерима. Zitkewic је 1938. године такође патентирао бетон са примјењеним комадима жице од меког челика за ојачавање бетона.

Постављање научне теорије о микроармираном бетону везане су за три истраживача а то су Romualdi, Batson и Mandel који су вршили истраживања крајем 50-их и почетком 60-их година прошлог вијека, у циљу одређивања механичких особина микроармираних бетона. Њима би такође требало додати и следеће истраживаче који су дали велики и значајни допринос у развоју микроармираног бетона: Parker 1974; Rollings 1981; Vondran 1991; PCA 1991; ACI 1997; AASHTO 2001; The Concrete Society 1994. Bentur и Midness су 1990 год. објавили да је више од 60% примјене влакнастог бетона употребљено за армирање бетонских плоча као други вид армирања. Бетон армиран челичним влакнima такође је био представљен за израду крутих коловозних конструкција али су и одговарајући недостаци тог бетона такође представљени у доступној литератури. Пропусти примјењеног микроармираног бетона за изградњу крутих коловозних конструкција десили су се због недовољне количине употребљених влакана за дизајнирану облогу. Може се закључити да су многобројна испитивања у погледу оптималне примјене и врсте (челичних) влакана у маси бетона недовољна и непотпуна, па је у оквиру предметне докторске дисертације вршено испитивање плоча различите дебљине од микроармираног бетона на ударно, динамичко оптерећење. Приказујући, ретроспективно досадашња истраживања микроармираног бетона и дизајнирања његових карактеристика показано је да ултра танке и велике димензије плоча са недовољном количином и врстом микроарматуре су подложне појави раних пукотина у угловима таквих плоча, широким отвореним пукотинама и прекомјерним љуспањем површине плоча. С обзиром на изложено, у оквиру предметне докторске дисертације кандидат је спровео сопствено испитивање да би унаприједио резултате примјене микроармираних плоча оптерећених на ударно, динамичко оптерећење.

Истраживачки програм следећих аутора: Falkner 1995; Beckett 1990 и 1999. био је фокусиран на ефекте влакана које та влакна имају на жилавост и дозвољено гранично оптерећење при савијању плоча и греда израђених од микроармираног бетона. Милашиновић Д. 2015.год., у свом истраживању реолошко-динамичког континуума комбинује реолошко-динамичку аналогију и механичка оштећења узорака микроармираног бетона са посебним освртом на коефицијент пузњања, Poisson-ов коефицијент и варијабилна оштећења који су у функционалној зависности. Монографија Уљаревић М. 2013.год., о микроармираном бетону и истраживачки рад објашњава да примјена челичних влакана у маси бетона повећава жилавост, чврстоће, отпорност микроармираног бетона и одлаже појаву прве пукотине што је такође у функцији учешћа количине влакана, врсте влакана и односа L/D. У својим истраживањима од 1987. до 2004.год. Уљаревић М. истиче могућност примјене микроармираног бетона у рационализацији тунелских облога те примјене на елементима хидротехничких конструкција. Испитивања Шуштершића Ј., на хидротехничким бетонима високих перформанских армираним челичним влакнima показала су да подводна абразија пропорционално расте са повећањем способности композита да апсорбује енергију.

Због недостатка и недовољног истраживања у области плоча армираних челичним влакнima, у сврху унапређења физичко-механичких карактеристика микроармираног бетона, у предметној докторској дисертацији су спроведена испитивања плоча, цилиндра и греда армираних челичним влакнima. Добијени резултати на најбољи могући начин репрезентују усавршавање микроармираног бетона са изабраним врстама челичних влакана.

Велики значај и допринос развоју бетона ојачаног влакнima потврдио је ACI (American Concrete Institute) организовањем једног од првих званичних симпозијума 1973. године о бетонима ојачаним влакнастим материјалима. Симпозијум је представио 15 радова о бетонима са примјеном челичних влакана, 8 радова о бетонима са стакленим влакнima. У септембру 1975. године одржана је RILEM конференција, у Лондону, која се бавила искључиво проблематиком бетона ојачаног челичним влакнima.

Истраживање о употреби блиско размакнуте челичне жице у маси бетона у касним 1950-им и раним 1960-им годинама прошлог вијека била је основа за патент и развој микроармираног бетона на бази примјене челичних влакана. Додавање влакана у матрицу бетона је показало да се повећава жилавост тог материјала и да присуство микроарматуре утиче на одлагање појаве прве пукотине у таквом бетону.

Примјена микроармираног бетона је постала изражена од средине 1960-их година прошлог вијека у изградњи саобраћајница, подних плоча индустриских објеката, ватросталних материјала и бетонских производа. Корисна примјена бетона армираног челичним влакнima је напредовала захваљујући развоју и напретку других технологија које прате развој, примјену и уградњу ове врсте бетона. То је допринијело употреби прсканог микроармираног бетона у различитим типовима подземних конструкција.

У модерно доба, широк спектар инжењерских материјала (керамика, пластика, цемент, гипс) укључују влакана за побољшање композитних својстава. Побољшање својстава подразумијева увећање (затезне чврстоће, притисне чврстоће, модул еластичности, отпор ширењу прслина, контрола пукотина, трајност, замор, отпорност на ударце и хабање, скупљање, ширење, термичке карактеристике и отпорност на ватру), у односу на обичан бетон, без влакана.

Експериментална испитивања и патенти који укључују кориштење дисконтинуалног челика за армирање елемената као што су сјечена жица у сегментима и друге врсте и облици метала за побољшање својства бетона долазе као савремена тенденција у пољу грађевинских конструкција што у потпуности оправдава и одобрава урађену докторску дисертацију.

Експериментални дио докторске дисертације пружа неколико јединствених научних доприноса у оквиру истраживачке заједнице када говоримо о микроармираном бетону и његовој примјени. Тестови који су спроведени на узорцима различитих облика, са примјеном различитих типова челичне микроарматуре и са различитим запреминским учинком у оквиру матрице бетона, пружају информације о дистрибуцији оптерећења у погледу правца носивости као и дистрибуцији напона у испитиваним узорцима, те нам на тај начин дају важне информације о структурном понашању бетона са или без челичних влакана. Овај рад такође је представио практичан примјер примјене добијених експерименталних, лабораторијских резултата у прорачуну облоге тунелске конструкције што је још једна потврда успјешно завршених испитивања и сматра се прагматичним доприносом дисертације. Претходно наведено, говори о унапријеђеним и побољшаним могућностима употребе микроармираног бетона у конструкцијама сложених облика, под дејством сложених оптерећења.

V МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

Кандидат је у својој докторској дисертацији представила проблем моделирања физичко-механичких својстава микроармираног бетона и истовремено пролазила кроз рјешавање проблема механике лома. Да би се јасније представила улога влакана у матрици бетона требало би напоменути да у бетону постоје микропукотине. Енергија која доводи до ширења пукотина је много мања од енергије која доводи до почетног стварања микропукотина. Под дејством оптерећења (статичког или динамичког), пукотине се шире и на крају доводе до лома. Ако у бетонској мјешавини постоје влакна онда се енергија која би повећала пукотину троши (распоређује) око влакана. Због тога је потребно више енергије за ширење пукотина, тј мора се утрошити знатно више енергије за истезање или деформацију присутних влакана.

Према томе, када говоримо о главном научном концепту при изради предметне докторске дисертације са сигурношћу се може рећи да влакна (челична) у маси бетона представљају изазов истраживача за постизање напреднијих физичко-механичких, динамичко-реолошких карактеристика микроармираног бетона.

Експерименти у оквиру докторске дисертације и примјењена методологија изrade представљају репрезентативне резултате о продуженој трајности бетонске конструкције ојачане влакнima у односу на конструкцију без влакана.

Спроведена истраживања су такође показала да карактеристике микроармираног бетона у конструкцијама (са аспекта моделирања, квалитета и граничне носивости), зависе од великог броја фактора: врсте употребљеног агрегата, облика и величине зrna агрегата, врсте и карактеристика примјењене челичне микроарматуре, врсте и количине цемента.

Дакле, главни научни приступ израде докторске дисертације, дат је кроз следеће фазе:

1. почетна фаза
2. дефинисање проблема
3. истраживачке активности
4. закључак

У раду су примјењене следеће методе истраживања: експериментална, метода моделовања, статистичка као и посебне методе сазнања: анализа и синтеза, дефинисање и класификације, типолошке скале, индукција и дедукција, доказивање и оповргавање. У оквиру експерименталног дијела рада наведене методе су кориштене за одређивање карактеристика бетонске мјешавине у свежем стању, као и одређивање физичко-механичких, динамичко-реолошких карактеристика бетона при старости од 28 дана.

Експериментална истраживања поменутим методама су спроведена на бетонској мјешавини једнаке рецептуре у погледу примјењеног агрегата, цемента, воде и адитива, док су варијације вршene у погледу учешћа челичних влакана у маси бетона.

Експериментална истраживања су вршена у циљу моделирања и постизања што бољих перформанси микроармираног бетона са изабраним компонентама на различитим врстама узорака. Основна испитивања спроведена су за различите врсте оптерећења:

1. Оптерећење на притисак
2. Оптерећење на савијање

3. Динамично (ударно) оптерећење

Имајући у виду достигнућа у пољу микроармираног бетона на свјетском нивоу и на основу изложеног, комисија закључује да су примјењене научне методе истраживања адекватне, тачне и савремене. Комисија констатује да је истраживање реализовано у односу на план истраживања који је предочен приликом пријаве докторске дисертације.

Експериментално истраживање, као најважнији дио докторске дисертације обухватило је спровођање и испитивање различитих врста узорака (цилиндри, греде, плоче) израђених од стандардних фракција агрегата I(0/4 mm), II(4/8 mm) и III(8/16mm), цемента као везива, воде, адитива за бетон, три врсте челичних влакана са ојачаним крајевима дужине 31mm и 50mm и таласастих челичних влакана дужине 25mm и пречника свих влакана 0,75mm. На основу предложене рецептуре спроведен је експериментални дио дисертације који у потпуности препрезентује поуздано истраживање и добијене параметре микроармираног бетона који су значајни за употребу микроармираног бетона у будућности. То потврђује и прагматична примјена добијених, лабораторијских резултата за израду подграде тунелске конструкције, чији је прорачун такође дио докторске дисертације.

За утврђивање особина микроармираног бетона (реолошких, физичко-механичких, технолошких и других), које се примјењују у конструкцијама, извршено је експериментално истраживање и анализирани су добијени резултати. Сам научни експеримент је спроведен као планско, организовано и методско произвођење и мијењање реалних појава у циљу открића непознатих параметара микроармираног бетона и његових својстава.

Карактеристике композитног, микроармираног бетона утврђене су различitim методама испитивања, на различитим апаратурама, у складу са важећим стандардима (EN, ASTM, ISO и др). Такође примјењене су и нестандардне методе испитивања услед недостатка одговарајуће опреме, а са циљем да се што реалније симулирају експлоатациони услови могуће примјене микроармираног бетона. Статистичка обрада и анализа података након истраживања је јасно изложена и спроведена кроз адекватне методе нумеричке анализе. Закључци истраживања говоре о јасним и систематичним резултатима које је било потребно исказати на основу постављеног циља испитивања у оквиру предметне докторске дисертације.

VI РЕЗУЛТАТИ И НАУЧНИ ДОПРИНОС ИСТРАЖИВАЊА

Резултати истраживања кандидата mr Бојане Грујић, дају оригинални научни и практични допринос у области бетона ојачаних челичним влакнima са његовим примјенама у грађевинским конструкцијама.

Као резултати истраживања који су произашли из докторске дисертације, наводимо постигнуте побољшане физичко-механичке, динамико-реолошке карактеристике моделираног микроармираног бетона при употреби специјалних врста челичних влакана. Испитивања су спроведена за различите врсте оптерећења и на различитим узорцима. Кандидат је у свом раду приказао резултат реолошко-динамичког понашања материјала на стандардном бетонском цилиндру.

Као посебан допринос истраживања истиче се моделирање микроармираних бетонских плоча које су оптерећене на ударно, динамично оптерећење где је кандидат у дефинисању наведеног својства примјенила самостално развијену методу испитивања. Наиме, на основу спроведених експерименталних испитивања кандидат је на јасан начин успоставила зависност ударних чврстоћа микроармираних бетона и својства бетонске матрице, врсте влакана и дозаже влакана. Следећи, изузетно важан, прагматичан дио овог рада, јесте кориштење добијених, лабораторијских карактеристика микроармираног бетона за

димензионирање тунелске облоге. Комисија закључује да су добијени резултати истраживања јасно приказани, правилно, логично и јасно тумачени. У овом истраживању, закључци имају тенденцију не само да продуже границе истраживања наријед, већ да поставе и отворе нова питања за следећа истраживања. То значи да итерација истиње из закључка долази опет у формулатију проблема.

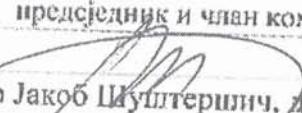
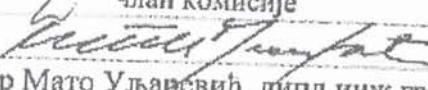
Избор матрице бетона и влакна са посебним нагласком на избор специфичних облика и дозаже челичних влакана у маси бетона који је изложен динамичком, ударном оптерећењу, оптерећењу на савијање и на притисак, што је био предмет урађене докторске дисертације у даљим истраживањима може да буде основа за моделовање нових бетонских мјешавина и њихово кориштење у конструкцијама захтјевних облика и оптерећења, без/са употребом класичне или преднапрегнуте арматуре.

VII ЗАКЉУЧАК И ПРИЈЕДЛОГ

Кандидат, мр. Бојан Грујић, дипл. инж. грађ. је својом докторском дисертацијом дала значајан и оригиналан научни допринос у области бетона ојачаних влакнima и његове примјене у конструкцијама. Кандидат је у приказу својих истраживања користила стандардизовану, стручну терминологију а структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу са универзитетским нормама. Докторска дисертација садржи све релевантне елементе за одлучивање, те Комисија у наведеном саставу са задовољством предлаже Наставно-научном вијећу Архитектонско-грађевинско-геодетског факултета Универзитета у Бањој Луци и Сенату Универзитета у Бањој Луци да докторску дисертацију кандидата мр. Бојане Грујић под насловом: „Моделирање физичко-механичких својстава бетона ојачаног влакнima са примјеном у конструкцијама“, прихвати као позитивну и одобри јавну одбрану.

ПОТПИС ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

Бања Лука, Новембар, 2016. год.

1. 
Проф. др Драгај Милашиловић, дипл. инж. грађ.
предсједник и члан комисије
2. 
Проф. др Јакоб Шултериш, дипл. инж. грађ.
члан комисије
3. 
Проф. др Мато Уљаревић, дипл. инж. грађ.,
ментор и члан комисије