

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Ивана Милићевића

Одлуком бр. 338/12-21 од 25.12.2023. године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Ивана Милићевића, маг. инж. грађ., под насловом:

**ДЕМОНТАЖНИ СПОЈЕВИ ЧЕЛИЧНИХ И АРМИРАНОБЕТОНСКИХ ЕЛЕМЕНАТА
СА МЕХАНИЧКИМ СПОЈНИЦАМА ПРИ ИНТЕРАКЦИЈИ СМИЦАЊА И
ЗАТЕЗАЊА**

Наслов на енглеском језику:

**DEMOUNTABLE CONNECTIONS BETWEEN STEEL AND REINFORCED CONCRETE
ELEMENTS WITH MECHANICAL COUPLERS UNDER COMBINED SHEAR AND
TENSION LOADS**

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

На седници Већа Катедре за материјале и конструкције одржаној 09.09.2021. Иван Милићевић је јавно излагао предложену тему докторске дисертације под насловом „Демонтажни спојеви челичних и армиранобетонских елемената са механичким спојницама при интеракцији смицања и затезања“ (на енглеском језику „Demountable connections between steel and reinforced concrete elements with mechanical couplers under combined shear and tension loads“). Комисија у саставу проф. др Снежана Маринковић, в. проф. др Иван Игњатовић, в. проф. др Милан Спремић и доц. др Марко Павловић (Delft University of Technology Faculty of Civil Engineering and Geoscience) је прихватила предложену тему.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета бр. 338/4 од 21.09.2021. године, одређена је Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под насловом „Демонтажни спојеви челичних и армиранобетонских елемената са механичким спојницама при интеракцији смицања и затезања“ (на енглеском језику „Demountable connections between steel and reinforced concrete elements with mechanical couplers under combined shear and tension loads“) у саставу проф. др Снежана Маринковић, в. проф. др Иван Игњатовић, в. проф. др Милан Спремић и доц. др Марко Павловић (Delft University of Technology Faculty of Civil Engineering and Geoscience). Позитиван извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 24.10.2021. године (одлука бр. 338/6 од

25.10.2021. године). Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 02.11.2021. (одлука бр. 338/9 од 03.11.2021. године) усвојило је предлог теме докторске дисертације кандидата Ивана Милићевића.

Кандидат је урађену докторску дисертацију предао Служби за студентска питања Грађевинског факултета 11.12.2023. године.

1.2. Научна област дисертације

Тема докторске дисертације припада научној области Грађевинарство и ужој научној области Бетонске конструкције која је дефинисана Статутом Грађевинског факултета Универзитета у Београду. За ментора дисертације одређена је др Снежана Маринковић, редовни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Иван Милићевић је рођен у Параћину 4.1.1991. године, где је завршио основну школу и гимназију.

Основне академске студије је уписао на Грађевинском факултету Универзитета у Београду 2010. године на Одсеку за конструкције, где је стекао звање дипломираног инжењера грађевинарства 2014. године са просечном оценом 9,12 и оценом 10 на дипломском раду.

Мастер академске студије је уписао на Грађевинском факултету Универзитета у Београду 2014. године на Одсеку за конструкције, где је стекао звање мастер инжењера грађевинарства 2015. године са просечном оценом 9,86 и оценом 10 на мастер раду под називом „Дијаграми интеракције за прорачун армиранобетонских попречних пресека према Еврокоду 2“.

Докторске академске студије је уписао на Грађевинском факултету Универзитета у Београду 2015. године на модулу Грађевинарство, где је положио све испите предвиђене студијским програмом са просечном оценом 10.

Након завршетка мастер академских студија 2015. године, радио је до јануара 2016. године у компанији DNEC, Београд, као грађевински инжењер на пословима пројектовања грађевинских конструкција у иностранству.

Од фебруара 2016. године ради као асистент – студент докторских студија на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, на предметима из уже научне области Бетонске конструкције.

Осим наставних активности, учествовао је и у неколико истраживачких пројеката везаних за одрживост бетонских конструкција, процену стања конструкција школа у Србији и Аустрији, као и унапређења грађевинских конструкција са аспекта употребљивости, носивости, економичности и одржавања. Као аутор и коаутор, до сада је публикувао 21 рад у часописима и зборницима конференција, од чега три у часописима индексираним на СЦИ листи. Као коаутор, до сада је публикувао једну истакнуту монографију националног значаја. Служи се српским и енглеским језиком.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Ивана Милићевића под насловом „Демонтажни спојеви челичних и армиранобетонских елемената са механичким спојницама при интеракцији смицања и затезања“ (на енглеском језику „Demountable connections between steel and reinforced concrete elements with mechanical couplers under combined shear and tension loads“) садржи укупно 295

страна, од којих је основни текст на 242 стране. Дисертација је писана на српском језику и подељена је у седам поглавља:

1. Увод
2. Преглед претходних истраживања
3. Експериментално истраживање
4. Нумеричка анализа испитаних узорака
5. Нумеричка параметарска анализа
6. Анализа понашања и носивости споја са механичком спојницом
7. Закључци и препоруке за будућа истраживања

Дисертација садржи 241 слику и 62 табеле. Списак цитиране литературе садржи 111 наслова. На почетку дисертације је дат резиме на српском и енглеском језику, са кључним речима и УДК бројем. Дисертација садржи три прилога. Биографија аутора дата је на крају дисертације.

Дисертација је технички обликована према упутствима Сената Универзитета у Београду и посебним упутствима за обликовање штампане и електронске верзије доктората. Садржи обавезна поглавља и обрасце: изјава о ауторству, изјава о истоветности електронске и штампане верзије и изјава о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Основни текст разматране докторске дисертације има седам поглавља, преглед коришћене литературе и три прилога. На почетку текста је дат садржај, изјава захвалности, апстракт и списак кључних речи на српском и енглеском језику.

У уводном поглављу представљен је проблем примене демонтажних конектора који се састоје од завртња, механичке спојнице и арматурног анкера за остваривање веза између челичних и армиранобетонских (АБ) елемената. Предмет истраживања су понашање и носивост самосталних конектора у споју. Посебна пажња посвећена је адекватној анализи и одређивању носивости свих компонената конектора и компонената споја при интеракцији смицања и затезања, нарочито у случају појаве лома демонтажног завртња, лома бетона у близини ивице АБ елемента, лома везе између арматурног анкера и механичке спојнице, као и појаве лома механичке спојнице. У овом поглављу дефинисана су питања и циљеви истраживања, методологија и организација дисертације по поглављима.

У поглављу „Преглед претходних истраживања“ прво су сумирана сазнања у вези са понашањем заварених можданика са главом и најзаступљенијих типова демонтажних конектора при дејству силе смицања. Посебна пажња посвећена је понашању споја при лому конектора и при лому бетона у близини ивице АБ елемента. Истакнути су најважнији резултати у погледу носивости и деформабилности различитих типова конектора. Након тога, приказани су најзначајнији резултати досадашњих испитивања конектора са механичком спојницом при чистом смицању, који се сидре у АБ елемент претходно убетонираним завртњем или арматурним анкером. У другом делу овог поглавља дат је преглед могућих видова лома и најзначајнијих резултата испитивања различитих типова конектора при чистом затезању. Посебно је анализирано понашање механичких спојница код арматурних наставака у АБ елементима, понашање арматурних шипки у АБ елементима, као понашање конектора са механичком спојницом у везама префабрикованих АБ елемената. Трећи део обухвата понашање различитих типова конектора при интеракцији смицања и затезања, са акцентом на лом конектора и лом бетона у близини ивице. На крају је приказан преглед европских стандарда за прорачун спојних средстава (конектора) за бетон при произвољном оптерећењу, као и европских смерница за прорачун конектора са механичком спојницом.

У поглављу „Експериментално истраживање“ описан је програм сопствених испитивања који је укључивао испитивање механичких карактеристика компоненталних материјала, испитивање споја са механичком спојницом на чисто смицање, на чисто затезање и на интеракцију смицања и затезања. Испитани су и узорци неубетонираних конектора на чисто затезање у кидалици. У другом делу овог поглавља приказан је програм испитивања, диспозиција узорака за испитивање споја на различите видове напрезања, као и поступак припреме узорака. У трећем делу приказани су програм и резултати испитивања физичко-механичких карактеристика најважнијих компонента споја са мехачком спојницом – бетона, завртњева, механичких спојница, арматурних анкера и конструктивне арматуре. У четвртном делу овог поглавља приказани су диспозиција и поступак испитивања, као и резултати испитивања споја са механичком спојницом при дејству силе смицања. Детаљно је приказано понашање свих испитаних узорака, у смислу носивости и деформабилности конектора при постепеном повећању спољашње силе смицања. У оквиру овог дела истраживања укупно је израђено осам узорака за испитивање споја на смицање применом стандардног „push-out“ теста. При томе, четири узорака групе А имали су конекторе са завртњем М20, растојање конектора од ивице АБ елемента $c = 75 \text{ mm}$, и средњу вредност чврстоће бетона $f_{cm} = 28 \text{ MPa}$. Три узорка групе Б је испитано са истим пречником конектора и растојањем конектора од ивице АБ елемента, али са већом чврстоћом бетона ($f_{cm} = 38 \text{ MPa}$). Коначно, испитан је још један контролни узорак групе Д са завртњем М20, растојањем конектора од ивице АБ елемента $c = 150 \text{ mm}$ и чврстоћом бетона $f_{cm} \approx 38 \text{ MPa}$. Ови резултати допунили су постојећу базу података о понашању и носивости конектора са механичком спојницом, нарочито у случају појаве лома бетона у близини ивице. У петом делу овог поглавља испитано је понашање споја при затезању применом „pull-out“ теста. Испитано је укупно осам узорака, од чега је три узорка испитано у оквиру групе А, два узорка групе Б и три узорка групе Ц (конектор са М16 завртњем, растојањем $c = 75 \text{ mm}$ и чврстоћом бетона $f_{cm} = 28 \text{ MPa}$). Додатно, испитивањем у кидалици истражено је понашање неубетонираних конектора са М16 и М20 завртњем, на укупно шест узорака. У шестом делу испитано је понашање конектора при интеракцији смицања и затезања применом модификованог „push-out“ теста. Укупно је испитано четрнаест узорака, од чега девет из групе А, један из групе Б, два из групе Ц и два из групе Д. У оквиру групе А вариран је интензитет аплициране силе затезања у износу од 35 kN, 65 kN и 100 kN, док су узорци група Б и Д испитани при сили затезања од 100 kN. Узорци групе Ц испитани су при сили затезања од 55 kN. При свим напрезањима, анализирано је понашање конектора, са фокусом на деформације услед експлоатационог и граничног краткотрајног оптерећања, развој прслина на површини АБ елемента, за експлоатационо и гранично оптерећење, глобални вид лома, вид лома конектора и граничну носивост при чистом смицању, при чистом затезању и при интеракцији смицања и затезања. Резултати су коментарисани у смислу међусобног поређења резултата испитивања спојева са различитим пречником конектора, растојањем конектора од ивице АБ елемента, чврстоћом бетона и нивоом аплициране силе затезања.

Четврто поглавље, „Нумеричка анализа испитаних узорака“, обухватило је симулацију испитивања узорака из трећег поглавља применом методе коначних елеманата. Нелинеарни тродимензионални модели конструисани су тако да по геометријским карактеристикама свих елеманата узорака одговарају експериментално испитаним узорцима који су имали конекторе са завртњем М20. Сви модели конструисани су и анализирани у програмском пакету Abaqus/Explicit. Модели су обухватили и нелинеарно понашање компоненталних материјала као и њихово оштећење. Ови модели су калибрисани према резултатима испитивања стандардних пробних тела и резултатима испитивања узорака за анализу споја. Валидација модела показала је добро поклапање са резултатима експериментално испитаних узорцима, у смислу носивости, деформабилности и развоја оштећења АБ елемента при прирасту спољашњег оптерећења.

У петом поглављу „Нумеричка параметарска анализа“ извршена је анализа утицаја најзначајнијих параметара на понашање споја са механичком спојницом. Варирано је растојање конектора од ивице АБ елемента ($c = 75-200 \text{ mm}$), чврстоћа бетона ($f_{cm} = 28 \text{ MPa}$ и $f_{cm} = 38 \text{ MPa}$), чврстоћа арматурног анкера при затезању (R500, R600 и R750), као и интензитет аплициране силе затезања ($T = 0-134 \text{ kN}$). Приказани су резултати анализе у смислу дијаграма сила смицања-подужно клизање, носивости и подужног клизања при лому конектора. Лом механичке спојнице није анализиран. Додатно, конструисани су модели којима је испитано локално понашање демонтажног завртња при чистом смицању, при чистом затезању и при интеракцији смицања и затезања. Код ових модела спречено је вертикално померање механичке спојнице.

Шесто поглавље, „Анализа понашања и носивости споја са механичком спојницом“ представља централни део дисертације у коме су анализирани резултати сопствених експерименталних истраживања и нумеричке параметарске анализе, заједно са претходно публикованим резултатима других истраживача, о понашању и носивости конектора са механичком спојницом при чистом смицању, при чистом затезању и при интеракцији смицања и затезања. У другом делу приказано је глобално понашање споја, односно конектора при чистом смицању и при интеракцији смицања и затезања, за два карактеристична случаја: (1) случај споја код којег се јавио лом бетона у близини ивице, и (2) случај споја код којег се овај вид лома није јавио. У трећем делу приказан је механизам преношења оптерећења са челичног елемента на АБ елемент, заједно са прегледом утицаја у конектору и реактивних напона у бетону за два карактеристична случаја са различитим глобалним видом лома. У четвртом делу приказано је понашање конектора при лому бетона, које обухвата идентификацију оваквог вида лома, носивост и деформабилност конектора при чистом смицању и при интеракцији смицања и затезања. На крају овог дела дати су одговарајући закључци. У петом делу анализирано је понашање и носивост конектора при чистом смицању и при интеракцији смицања и затезања. Посебно је анализирана носивости демонтажног завртња и механичке спојнице. На крају овог дела анализирани су све компоненте споја како би се одредила „најслабија карика“ у споју и дати су одговарајући закључци. У последњем делу овог поглавља дате су препоруке за пројектовање спојева са механичком спојницом које су формулисани тако да могу допунити одредбе тренутно важећег европског стандарда за пројектовање спојних средстава за бетон.

Резиме најбитнијих остварених сазнања, општи закључци истраживања, као и препоруке за будућа истраживања дати су у седмом поглављу.

Након списка литературе, у прилозима су дати подаци везани за испитивање стандардних пробних тела за одређивање физичко-механичких карактеристика компоненталних материјала, препоруке за одређивање утицаја у критичном пресеку механичке спојнице и контролу критеријума лома, као и процене прорачунских носивости различитих типова, комерцијално доступних, демонтажних конектора са механичком спојницом и арматурним анкером. Ови подаци били су коришћени у анализама у склопу дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Последњих деценија развија се свест о значају примене принципа циркуларне економије у склопу унапређења одрживог развоја грађевинске индустрије. Бетон и конструкциони челик представљају материјале добрих физичко-механичких карактеристика, са великом могућности обликовања и релативно ниском ценом. Стога, не изненађује чињеница да су ови материјали најчешће коришћени вештачки материјали на свету. Међутим, њихова производња има штетан ефекат на животну средину, док највећи део конструкција од челика и бетона постаје грађевински отпад након завршетка употребног века грађевинских објеката.

Један од најефикаснијих начина смањења штетног утицаја производње ових материјала, као и смањења грађевинског отпада, јесте поновна употреба појединачних конструктивних елемената па и конструкција у целини након „првог употребног века“. У том смислу, поред скраћења времена и трошкова изградње грађевинских објеката, примена префабрикованих монтажних-демонтажних конструкција може значајно допринети унапређењу циркуларног економског модела у оквиру одрживог развоја грађевинске индустрије.

Примена спрегнутих и мешовитих конструкција од челика и бетона у савременој грађевинској пракси проистекла је из тежње ка рационалнијој употреби челика и бетона код грађевинских објеката као што су пословне зграде, гараже, мостови и сл. Ове конструкције настају повезивањем челичних и армиранобетонских (АБ) елемената, које има за циљ повећање носивости и крутости појединачних конструктивних елемената као и конструктивног система у целини.

Понашање спрегнутих и мешовитих конструкција од челика и бетона, односно појединачних конструктивних елемената, значајно зависи од њихових међусобних веза које се остварују применом механичких спојних средстава (конектора). Понашање споја у вези зависи од великог броја фактора, као што су силе које делују на конекторе у споју, положај конектора у односу на расположиве димензије АБ елемената, као и тип и геометрија примењеног конектора. За остваривање везе између челичног и АБ елемента традиционално се користе заварени можданици са главом, због њиховог адекватног и поузданог понашања при произвољном оптерећењу, као и због брзог извођења применом аутоматског заваривања.

Трендови у савременом грађевинарству намећу могућност демонтаже као нови пројектни захтев, којим би се унапредила могућност поновне употребе свих конструктивних елемената у мешовитим и спрегнутим конструкцијама. У том погледу, заварени можданици имају велики недостатак. У последње две деценије извршено је неколико истраживања понашања различитих типова конектора којима би се омогућила демонтажа конструктивних елемената и потенцијална поновна употреба након „првог употребног века“. Један од таквих типова конектора представља монтажни конектор који се састоји од монтажног завртња и механичке спојнице која је претходно убетонирана у префабриковани АБ елемент. Сидрење оваквог типа конектора у АБ елемент може се остварити применом другог завртња или арматурног анкера. Предмет ове докторске дисертације су монтажни конектори који се састоје од завртња, механичке спојнице и арматурног анкера. Иако се овакав тип конектора све чешће користи у грађевинској пракси, њихова поуздана примена још увек је упитна из неколико разлога:

- Недовољно резултата истраживања у доступној литератури у вези понашања и носивости конектора са механичком спојницом и арматурним анкером при лому бетона у близини ивице услед чистог смицања;
- Недостатак резултата истраживања понашања и носивости конектора са механичком спојницом и арматурним анкером при дејству силе затезања;
- Непостојање резултата истраживања понашања носивости конектора са механичком спојницом и арматурним анкером при комбинованом дејству сила смицања и затезања.

Како би била омогућена поуздана примена оваквог типа монтажних конектора у мешовитим и спрегнутим конструкцијама од челика и бетона, као и у префабрикованим АБ конструкцијама, неопходна су детаљна истраживања о њиховом понашању при краткотрајном произвољном оптерећењу – смицању, затезању и интеракцији смицања и затезања.

У том смислу, ова дисертација се бави врло савременим проблемом који се односи превасходно на понашање самосталног конектора у споју челичног елемента и армиранобетонског елемента. Нарочит допринос дисертације јесте анализа постојећих

результата испитивања конектора са механичком спојницом, као и експериментални и нумерички резултати испитивања спојева са механичких спојницама при дејству силе смицања, при дејству силе затезања и при интеракцији сила смицања и затезања. Такође, резултати анализе дисертације имају тренутну практичну вредност и могућност примене у грађевинској пракси.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У изради ове докторске дисертације је коришћено 111 библиографских јединица. Већину референци чине радови објављени у врхунским међународним часописима попут Journal of Structural Engineering, Materials and Structures, ACI Structural Journal, Steel and Composite Structures, Journal of Constructional Steel Research, Engineering Structures, Structures, Buildings, као и радови који су објављени на значајним међународним конференцијама, извештаји истраживачких пројеката, докторске дисертације и међународни стандарди у области пројектовања челичних и армиранобетонских конструкција, као и пројектовања спојних средстава за бетон.

Највећи број референци је новијег датума: 86 референци је публиковано након 2000. године, од чега 63 између 2010. и 2023. године.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Рад у дисертацији је реализован паралелном применом теоријског приступа ослоњеног на податке добијене из литературе и практичног приступа заснованог на сопственом експерименталном и нумеричком истраживању.

За сагледавање постојећих сазнања из предметне области извршена је синтеза досадашњих истраживања применом структурално-функционалне и компаративне анализе објављених резултата, док је за планирање и анализу резултата експерименталног истраживања, као и нумеричког истраживања, примењена хипотетичко-дедуктивна метода.

У оквиру експерименталног истраживања извршено је испитивање карактеристика компоненталних материјала, као и понашања и носивости узорака за испитивање споја при смицању, при затезању и при интеракцији смицања и затезања. Додатно, испитани су узорци неубетонираних конектора при затезању у кидалици, како би се утврдило њихово локално понашање. На бетонским узорцима испитиване су физичко-механичке карактеристике: запреминска маса, чврстоћа при притиску и затезању, модул еластичности, а на епруветама од завртњева, механичких спојница и арматуре испитани су напон на граници развлачења, чврстоћа при затезању, модул еластичности и одговарајуће дилатације. На узорцима за испитивање понашања конектора при смицању и при комбинованом напрезању мерени су подужно клизање, размицање АБ елемената, одвајање челичног елемента од АБ елемената, прслине, вредност укупне вертикалне силе при постепеном повећању оптерећења, као и гранично оптерећење. На узорцима за испитивање понашања конектора при затезању мерени су одвајање челичног од АБ елемента, прслине, вредност силе при постепеном повећању оптерећења и гранично оптерећење. На узорцима за испитивање неубетонираних конектора при затезању мерене су деформације узорака и одговарајуће оптерећење, као и гранично оптерећење.

У оквиру нумеричког истраживања проширена је база података о понашању и носивости конектора са механичком спојницом и арматурним анкером при смицању и при интеракцији смицања и затезања. Нумеричка параметарска анализа обухватила је моделе који су валидирани према резултатима експерименталног истраживања. Додатно, параметарска анализа обухватила је утицај кључних параметара који утичу на понашање и носивост конектора, односно споја: растојање конектора од ивице АБ елемента, чврстоће бетона, интензитет силе затезања, чврстоће арматурног анкера при затезању и чврстоће завртња.

Утицај растојања конектора од ивице, чврстоће бетона и интезитета силе затезања разматран је у већем опсегу у односу на опсег који је обухватило експериментално истраживање.

У анализи сопствених и постојећих резултата коришћене су компаративне и статистичке методе испитивања. Наведене методе истраживања су савремене и у потпуности примерене за примену у предметном истраживању.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати добијени у оквиру истраживања указују: (1) да се носивост конектора са механичком спојницом и арматурним анкером при лому бетона у близини ивице АБ елемента значајно разликује у односу на предиктивне носивости добијене према важећим европским прописима и смерницама, (2) да се носивост механичке спојнице при дејству силе смицања на конектор, као и при интеракцији смицања и затезања, значајно разликује у односу на предиктивне носивости из европских смерница за прорачун оваквих типова конектора. Стога су предложени нови предикциони модели за одређивање носивости бетона у близини ивице и механичкој спојници, односно утицаја у у критичном пресеку механичке спојнице. Додатно, резултати су показали да се носивост демонтажног завртња при интеракцији смицања и затезања може одредити применом важећих предикционих израза, уз одговарајуће модификације којима се умањује предикциона носивост. Изведени закључци су последица анализа спроведених на резултатима сопствене експерименталне и нумеричке анализе конектора и на бази података, која је направљена прикупљањем експерименталних резултата доступних у литератури.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат се у оквиру своје докторске дисертације бавио изучавањем и критичком анализом доступне релевантне литературе, као и планирањем, спровођењем, обрадом и анализом резултата експерименталног и нумеричког истраживања. Систематичним приступом постављеном проблему, повезујући различите сегменте научно-истраживачког рада, Иван Милићевић успешно је решио постављене задатке и доказао да поседује способност за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру докторске дисертације Ивана Милићевића остварени су следећи научни доприноси:

1. Извршено је проширење постојеће базе података о носивости демонтажних конектора са механичком спојницом и арматурним анкером при чистом смицању, нарочито у случају појаве лома бетона у близини ивице АБ елемента. Извршено је поређење са предикционим вредностима носивости из тренутно важећих европских прописа и смерница, као и предикционим вредностима носивости из научне литературе.
2. Резултати упоредне анализе показали су да предлог предикционог модела за одређивање носивости конектора при лому бетона у близини ивице АБ елемента, који је дат у раду Милићевић и ост. (2020). навести рад, има најбоље поклапање са експерименталним и нумеричким резултатима.
3. Приказано је понашање и упоредна анализа носивости убетонираних и неубетонираних конектора при затезању, са посебним освртом на „најслабију карику“ у споју. Показано је да се носивост конектора достиже ломом арматурног анкера,

односно везе између арматурног анкера и механичке спојнице. При томе, носивост конектора одговара носивости контролних арматурних шипки.

4. Дефинисани су нови предикциони модели за одређивање меродавних утицаја у критичном пресеку механичке спојнице при чистом смицању и при интеракцији смицања и затезања конектора. Критеријум лома може се контролисати применом смерница тренутно важећег европског стандарда за прорачун носивости шупљих кружних попречних пресека или применом предложеног поједностављеног интеракционог дијаграма.
5. Предложена су побољшања постојећих предлога за одређивање носивости демонтажног завртња при интеракцији смицања и затезања. Ова модификација подразумева редукацију носивости завртњева у односу на носивост која је дефинисана у европском стандарду за пројектовање спојних средстава за бетон.
6. С обзиром на велика одступања експериментално и нумерички добијених носивости у односу на носивости из тренутно важећих стандарда и смерница, предложен је нови предикциони модел за одређивање носивости конектора при лому бетона услед интеракције смицања и затезања. Овај модел узима у обзир чињеницу да се при чистом смицању јавља лом бетона док се при чистом затезању јавља лом арматурног анкера. Оваква комбинација видова лома није уочена у доступној научној и стручној литератури.
7. Анализом носивости кључних компонената споја могуће је одредити „најслабију карикју“ у споју при произвољном оптерећењу. При томе, предложени предикциони модели омогућавају примену мањих растојања конектора од ивице АБ елемента, односно употребу мањих димензија АБ елемената на месту споја, у поређењу са моделима из важећих европских норми и смерница.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживачки рад Ивана Милићевића, маг. инж. грађ. на истраживању понашања и носивости демонтажних конектора са механичком спојницом и арматурним анкером је показао да је неопходно дефинисати нове предикционе моделе за одређивање носивости конектора при лому бетона услед интеракције смицања и затезања, као и за одређивање утицаја и носивости у критичном пресеку механичке спојнице. Поред тога, показано је да је потребно модификовати постојеће предикционе моделе за одређивање носивости демонтажног завртња при интеракцији смицања и затезања.

У истраживању је спроведен експериментални програм испитивања механичких карактеристика компоненталних материјала и узорака за анализу понашања споја под дејством краткотрајног оптерећења, који захтева обимне припремне активности и тачно и прецизно спровођење. Такође, ови резултати искоришћени су за опсежну нумеричку параметарску анализу. Добијени резултати експеримената и нумеричке анализе омогућавају извођење закључака, као и употребу од стране других истраживача.

Анализа понашања и носивости конектора при дејству силе смицања била је заснована на сопственим експерименталним резултатима (8 узорака код којих је варирана чврстоћа бетона, растојање конектора од ивице АБ елемента и крутост ослонаца на које су ослоњени узорци) и на постојећој бази података из литературе (18 узорака код којих је варирана чврстоћа бетона, пречник завртња, растојање конектора од ивице, крутост ослонаца и начин армирања узорака конструктивним узенгијама). Такође, сопственим нумеричким резултатима разматран је утицај растојања конектора од ивице, чврстоће бетона, положај конструктивне узенгије испод конектора, носивости арматурног анкера на затезање и чврстоће завртња на носивост и понашање конектора у споју (укупно 14 модела). Анализом

результата дошло се до закључка да предикциони модели који су предложени у европским нормама и смерницама имају значајна одступања од резултата у погледу носивости бетона у близини ивице и носивости механичке спојнице при чистом смицању, док се за одређивање носивости демонтажног завртња могу користити постојећи предикциони модели, уз одговарајућу модификацију. За носивост бетона у близини ивице и механичке спојнице предложени су нови предикциони модели за одређивање носивости при чистом смицању конектора.

Анализа понашања и носивости конектора при дејству силе затезања била је заснована на сопственим експерименталним резултатима испитивања конектора у споју (8 узорака код којих је варирана чврстоћа бетона и пречник конектора), као и сопственим експерименталним резултатима испитивања неубетонираних конектора (6 узорака код којих је вариран пречник конектора). Анализом резултата дошло се до закључка да понашање и носивост конектора одговара понашању арматурног анкера, као „најслабије карике“ у споју. При томе, лом свих узорака настао је услед прекида везе између арматурног анкера и механичке спојнице, при граничној сили која одговара носивости контролних арматурних шипки на затезање.

Што се тиче понашања и носивости конектора при интеракцији смицања и затезања, анализа је заснована на сопственим експерименталним резултатима (14 узорака код којих је варирано растојање конектора од ивице АБ елемента, пречник конектора, чврстоћа бетона и интезитет аплициране силе затезања), као и на сопственој нумеричкој параметарској анализи (70 модела код којих је варирано растојање конектора од ивице АБ елемента, чврстоћа бетона, носивост арматурног анкера на затезање, положај конструктивне узенгије испод конектора, чврстоћа завртња и интезитет аплициране силе затезања). На основу сопствених резултата експерименталне и нумеричке анализе утврђено је да се носивост конектора при лому бетона, завртња и механичке спојнице значајно разликују од предиктивних носивости које су одређене према европским нормама и смерницама. Предиктивни модели имали су у просеку 55% мању носивост бетона и 27% већу носивост демонтажног завртња. Анализа утицаја у критичном пресеку механичке спојнице у нумеричким моделима показала је да су претпоставке у европским смерницама у вези меродавних утицаја у механичкој спојници погрешне. Стога, предложени су нови предикциони модели за одређивање носивости бетона у близини ивице АБ елемента, модели за одређивање утицаја и контролу носивости механичке спојнице, и извршена је корекција постојећих модела за одређивање носивости демонтажног завртња.

На основу спроведене анализе експерименталних и нумеричких резултата, дефинисане су препоруке за одређивање прорачунских вредности носивости свих компонената споја са механичким спојницама, као и препоруке за обликовање спојева, које су формулисане тако да се могу применити као допуна тренутно важећег европског стандарда за пројектовање спојних средстава за бетон.

4.3. Верификација научних доприноса

У току израде дисертације, Иван Милићевић је међународној и домаћој, научној и стручној јавности представио свој рад кроз следеће публикације:

Категорија M21a:

1. **Milićević, I.**, Milosavljević, B., Pavlović, M., Spremić, M. (2020), “Bolted connectors with mechanical coupler embedded in concrete: Shear resistance under static load”, *Steel and Composite Structures*, Techno Press, 36 (3), 321-337. (<https://doi.org/10.12989/scs.2020.36.3.321>)

2. Milosavljević, B., **Milićević, I.**, Pavlović, M., Spremić, M. (2018), "Static behaviour of bolted shear connectors with mechanical coupler embedded in concrete", Steel and Composite structures, Techno Press, Vol. 29 (2), 257-272. (<https://doi.org/10.12989/scs.2018.29.2.257>)

Категорија M24:

3. **Milićević, I.**, Milosavljević, B., Spremić, M., Mandić, R., Popović, M., (2023), "Local behaviour of the connector with mechanical coupler and rebar anchor under tension load", Building Materials and Structures, Society for Materials and Structures Testing of Serbia, University of Belgrade Faculty of Civil Engineering, Association of Structural Engineers of Serbia, 66 (2), 107-114, (<https://doi.org/10.5937/GRMK2300002M>)

Категорија M33:

4. **Milićević, I.**, Vidović, M., Dragaš, J., Milosavljević, B. (2023), „Behaviour and design of bolted connectors with mechanical coupler: an overview“, Proceedings of the 20th International Symposium of the Macedonian Association of Structural Engineers (MASE), Skopje, September 28-29, 2023, 671-680 (ISBN: 978-608-66946-3-0)

Категорија M63:

5. **Milićević, I.**, Milosavljević, B., Spremić, M., Mandić, R. (2022), „Ponašanje veze zavrtnja i armature ostvarene pomoću mehaničke spojnice pri dejstvu sile zatezanja“, Zbornik radova 16. kongresa Društva građevinskih konstruktora Srbije, Društvo građevinskih konstruktora Srbije, 28-30. septembar, Aranđelovac, 158-167. (ISBN: 978-86-7518-226-9 (GF))

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У оквиру докторске дисертације под насловом „Демонтажни спојеви челичних и армиранобетонских елемената са механичким спојницама при интеракцији смицања и затезања“ (на енглеском језику „Demountable connections between steel and reinforced concrete elements with mechanical couplers under combined shear and tension loads“) извршено је експериментално и нумеричко испитивање понашања и носивости демонтажних конектора са механичком спојницом и арматурним анкером при чистом смицању, при чистом затезању и при интеракцији смицања и затезања. Формирана је база експерименталних и нумеричких резултата на основу сопствених истраживања и података из литературе. Показано је да примена постојећих модела за одређивање носивости појединих компонената споја може значајно одступати од резултата експерименталне и нумеричке анализе. Предложени су предикциони модели за одређивање носивости свих кључних компонената споја – демонтажног завртња, механичке spojнице, арматурног анкера и бетона у близини ивице АБ елемента.

Експериментални и нумерички резултати и анализа представљена у овој докторској дисертацији представљају оригиналан и вредан научни допринос у области бетонских конструкција и одрживог грађевинарства. Такође, резултати извршених анализа и закључци дисертације се могу одмах и директно применити у пројектовању мешовитих и спрегнутих конструкција од челика и бетона. Комисија сматра да урађена докторска дисертација кандидата Ивана Милићевића, маг. инж. грађ. у потпуности испуњава све захтеване критеријуме и да је кандидат испољио способност за самосталан научно-истраживачки рад у свим фазама израде ове дисертације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под насловом Демонтажни спојеви челичних и армиранобетонских елемената са механичким спојницама при интеракцији смицања и затезања“ (на енглеском језику „Demountable connections between steel and reinforced concrete elements with mechanical couplers under combined shear and tension loads“) кандидата Ивана Милићевића, маг. инж. грађ. прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду, као и да након завршетка ове процедуре позове кандидата на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Београд, 10.01.2024.

.....
проф. др Снежана Маринковић,
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

.....
в. проф. др Бранко Милосављевић,
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

.....
в. проф. др Иван Игњатовић,
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

.....
в. проф. др Милан Спремић,
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

.....
доц. др Марко Павловић,
Delft University of Technology, Faculty of Civil
Engineering and Geosciences