

Гранично стање употребљивости таваница од унакрсно-ламелираног дрвета (CLT)

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	В.проф. др Марија Нефовска-Даниловић	Техничка механика и теорија конструкција
2.	Доц. др Мирослав Марјановић	Техничка механика и теорија конструкција
3.	Емилија Дамњановић	Техничка механика и теорија конструкција
4.	Марија Милојевић	Техничка механика и теорија конструкција
5.	Др Витомир Рацић, гостујући професор	Техничка механика и теорија конструкција

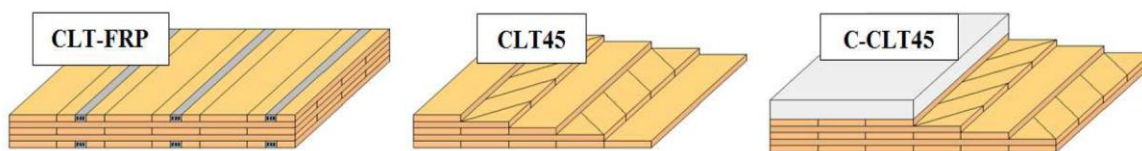
Убрзани технолошки развој, савремене технологије градње и тежња за применом еколошки прихватљивих материјала у грађевинарству, довеле су до појаве *унакрсно-ламелираног дрвета (CLT)*, природног композитног материјала, који представља ефикасну алтернативу армиранобетонским (АБ) и челичним конструкцијама. Примена CLT утиче на смањење емисије CO₂ и на побољшање комфора и квалитета живота.

Због релативно мале масе, CLT је посебно осетљив на **вибрације изазване људским активностима**, које могу веома неповољно утицати на људе и осетљиву опрему у грађевинским објектима, и тиме довести у питање **употребљивост конструкције са аспекта вибрација**. Такође, све већи захтеви за отвореним простором у стамбеним и пословним зградама, захтевају примену међуспратних конструкција све већих распона.

Пратећи горе наведене захтеве, истраживања у овој области имаће за циљ развој економичних CLT таваница великих распона, отпорних на вибрације. Примењујући различите технике ојачања, развиће се конструктивна решења међуспратних конструкција са већим распонима у односу на класичне CLT таванице.

Планирана истраживања се могу поделити у три фазе:

1. Развој различитих техника ојачања CLT таваница (у сарадњи са колегама за Катедре за материјале и конструкције – кабинет за дрвене и зидане конструкције)
2. Нумеричке симулације и развој модела за анализу непоузданости материјалних карактеристика, граничних услова и динамичког оптерећења на динамички одговор CLT таваница (првенствено у оквиру Катедре за техничку механику и теорију конструкција)
3. Развој тзв. метамодела, применом одговарајуће технике тзв. "сурогат моделирања", у циљу ефикаснијег приказивања резултата комплексних динамичких анализа (применом МКЕ модела). Примењиваће се "polynomial regression" и "polynomial chaos expansion" методе.
4. Експериментална испитивања, која ће обезбедити верификацију развијених решења, као и нове податке и сазнања о динамичким карактеристикама и одговору CLT таваница на побуду изазвану активностима људи (у сарадњи са колегама за Катедре за материјале и конструкције – кабинет за дрвене и зидане конструкције и кабинет за испитивање конструкција).



Слика 1. Различити видови ојачања CLT панела

Очекивани резултати:

Одбрана докторске дисертације Марије Милојевић; публикавање радова у међународним часописима и учешће на конференцијама у земљи и иностранству; повећање цитираности и видљивости истраживачке групе у циљу аплицирања за пројекте Фонда за науку и ЕУ; успостављање сарадње са компанијама у земљи које се баве производњом („Коларевић д.о.о.“) и пројектовањем CLT конструкција („Arheget Consult Engineering”).

Нумеричка анализа граничне носивости композитних носача применом методе коначних елемената

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	В.проф. др Марина Ђетковић	Техничка механика и теорија конструкција

Циљ истраживања у оквиру пројекта технолошко развоја подразумева доприносе у пројектовању сигурних и трајних композитних конструкција са минималним утицајем на животну средину и уз минималне економске трошкове. Са аспекта оправданости примене, композитни материјали су своју примену нашли у многим областима грађевинарства и то: 1) као арматура у бетонским елементима, уместо челичне арматуре, 2) за ојачање и санацију постојећих конструкција од бетона, челика и дрвета, 3) у облику отворених и затворених, танкозидних и пуних профила главних носећих елемената у мостоградњи и зградарству, 4) као самостални главни мостовски носачи и 5) у конструкцијама димњака индустријских постројења, силоса, резервоара, цевовода, али и великих подних и кровних површина. Особине композитних материјала као што су релативно мали однос тежине према чврстоћи и тежине према крутости омогућиле су значајно смањење удела сопствене тежине у укупном оптерећењу конструкције, а тиме и повећале отпорност на прихватање сеизмичких утицаја, прихватање додатног саобраћајног оптерећења, редуковање трошкова фундарања, олакшање трошкове транспорта и монтаже, уз истовремено смањење трошкова поправки и одржавања. Смањење сопствене тежине иако је, са једне стране, уклонило ограничења у погледу виткости и дебљине елемената, односно омогућило добијање изузетно танких плочастих елемената, са друге стране их је учинило осетљивим на велика померањима. У таквим случајевима, геометрија конструкције се у току деформације мења, па је неопходно применити геометријски нелинеарну анализу. Услед саобраћајног оптерећења на конструкцијама мостова, као и у случају наглих удара у конструкцију и сеизмичких оптерећења, промене интензитета оптерећења у току времена се не могу занемарити, па потребно у обзир узети и динамичку анализу. Коначно, у условима производње и експлоатације, композитни материјали су често изложени оштећењима, почетним напонима, као и почетним имперфекцијама, који могу утицати на величине параметара битних за одговор

конструкције, као што су гранични угиби, гранични напони, критична оптерећења и сопствене фреквенције осциловања, па ће и њихов утицај бити разматран у оквиру предложеног пројекта.

Очекивани резултати:

У оквиру пројекта се планира да буду изведена решења по методи коначних елемената за слојевите математичке моделе композитних носача са оштећењима у термо-механичком окружењу. Нумеричка решења добијена применом методе коначних елемената би послужила као основа за писање оригиналног програма у MATLAB програмском језику. Програмом би били анализирани утицају различитих параметара на величине граничних угиба, граничних напона, критичних оптерећења и сопствених вибрација. Циљ је добијање нумерички ефикасног компјутерског програма, заснованог на савременом математичком моделу, који до данас није присутан у оквиру комерцијалних софтвера за прорачун композитних конструкција. Резултати ће бити верификовани поређењем са теоријским и експерименталним резултатима из литературе, као са резултатима постојећих софтвера за прорачуна композитних конструкција. Формираће се база података нумеричких експеримената, доступна јавности кроз научне радове и научне скуповиме.

Развој софтверског пакета за статичку анализу челичних јарбола применом метода коначних елемената

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	Доц. др Мирослав Марјановић	Техничка механика и теорија конструкција
2.	Доц. др Марко Радишић	Техничка механика и теорија конструкција
3.	Марија Милојевић	Техничка механика и теорија конструкција
4.	В.проф. др Марија Нефовска-Даниловић	Техничка механика и теорија конструкција

Јарболи су витке високе конструкције, најчешће коришћене као носачи различитих врста антена у телекомуникационој мрежи, као и опреме за мерење параметара ветра на различитим висинским нивоима. Састоје се од вертикалног носача, у облику тропојасне или четворопојасне просторне решетке, који је у више нивоа бочно придржан преднапрегнутим кабловима усидреним у анкерне блокове. Због сталне изложености ових конструкција атмосферским утицајима, као и због њихове монтаже на локацијама са екстремним временским условима, доминантна оптерећења су дејство леда и ветра.

Због велике виткости, у јарболима се јављају велика померања и неопходно је вршити **статички нелинеарну анализу**, што уз непредвидиву природу оптерећења ветром чини **прорачун јарбола изузетно компликованим и временски захтевним**. Како принцип суперпозиције не важи, основни проблем у моделирању оваквих конструкција представља компликовано генерисање великог броја нелинеарних случајева оптерећења, што успорава процес пројектовања нарочито у концептуалној фази где је потребно испитати већи број варијантних решења.

Истраживања у овој области имаће за циљ развој ефикасног софтверског пакета, заснованог на методи коначних елемената (МКЕ), који ће олакшати, убрзати и

учинити поузданијим свакодневни инжењерски прорачун при пројектовању решеткастих јарбола са кабловима.

Планирана истраживања се могу поделити у четири фазе:

1. Дефинисање једноставног и ефикасног коначног елемента кабла;
2. Формирање програма (solver + графичко окружење) који ће применом МКЕ, за унапред дефинисано оптерећење и диспозицију конструкције, срачунавати и приказивати статичке утицаје у конструкцији и вршити контролу усвојених конструктивних елемената у складу са Еврокодом;
3. Валидација програма поређењем са резултатима добијеним у комерцијалним софтверима;
4. Усавршавање програма, тако да се
 - а. на основу задате локације будућег објекта аутоматски врши анализа оптерећења;
 - б. на основу анализе оптерећења и прелиминарних задатих параметара аутоматски врши оптимизација конструкције, у погледу облика решетке, распореда и броја каблова, димензија попречних пресека главних носећих елемената конструкције.

Очекивани резултати:

Публиковање радова у међународним часописима и учешће на домаћим конференцијама; успостављање сарадње са компанијама у земљи које се баве решењима у домену енергије ветра („NETInvest д.о.о.“); у сарадњи са компанијама које се баве решењима у домену енергије ветра, добијање резултата мерења брзине ветра и успостављање перманентног мерења напонско-деформацијског стања на монтираним јарболима у Републици Србији.

Развој система за мерење вибрација на бази Arduino хардвера и софтвера отвореног кода

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	Доц. др Марко Радишић	Техничка механика и теорија конструкција

Наставак рада на истраживању коришћења Arduino платформе отвореног кода у научно-наставне сврхе, али и за потребе инжењерске праксе. У плану је испитивање перформанси приступачних сензора за мерење вибрација као и испитивање перформанси аквизиционог система заснованог на Arduino платформи.

План по годинама:

1. Креирање прототипа система за мерење вибрација на бази Arduino платформе
2. Испитивање перформанси различитих сензора (акцелерограми, жirosкопи, сензори мерења раздаљине)
3. Креирање прототипа бежичног аквизиционог система за мерење вибрација
4. Испитивање перформанси аквизиционог система са различитим сензорима
5. Умрежавање више Arduino микроконтролера и испитивање перформанси система

Очекивани резултати:

1. Публиковање радова у међународним часописима и учешће на домаћим конференцијама
2. Менторство на завршним радовима студената чија би тема била мерење вибрација и обрада мерених сигнала
3. Креирање мини лабораторије за мерење вибрација Катедре за техничку механику и теорију конструкција за наставно-научне потребе

Развој Python библиотеке за анализу динамичке интеракције тла и темеља

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	Доц. др Марко Радишић	Техничка механика и теорија конструкција
2.	В.проф. др Марија Нефовска-Даниловић	Техничка механика и теорија конструкција

Ова тема представља наставак истраживања спроведеног на пројекту ТР36046, у оквиру којег је динамичка интеракција темеља и тла анализирана применом Методе интегралне трансформације и Методе динамичке крутости. Циљ теме је да се постојеће рутине за анализу динамичке интеракције тла и темеља интегришу у јединствену библиотеку чиме би се олакшало њихово коришћење. Предност овакве библиотеке огледа се и у лакшој оптимизацији постојећих рутина, као и њиховој надоградњи. Једна од могућих оптимизација је коришћење неуниформних Фуријеових трансформација у оквиру Методе интегралне трансформације.

План по годинама:

1. Развој Python модула за анализу пропагације таласа у тлу на бази Методе интегралне трансформације.
2. Развој Python модула за анализу динамичке интеракције тла и крутих површинских правоугаоних темеља.
3. Развој Python модула за анализу пропагација таласа у плочастим елементима на бази Методе динамичке крутости.
4. Развој Python модула за анализу динамичке интеракције тла и флексибилних површинских правоугаоних темеља.
5. Интеграција постојећих модула у библиотеку

Очекивани резултати:

1. Публиковање радова у међународним часописима и учешће на домаћим конференцијама
2. Менторство на завршним радовима студената чија би тема била надоградња и тестирање наведених модула
3. Јачање сарадње са Катедром за механику конструкција Техничког универзитета у Минхену

Развој интерактивног окружења за микро-рејонизацију грађевинских површина - SoilVib

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	Доц. др Марко Радишић	Техничка механика и теорија конструкција
2.	В.проф. др Марија Нефовска-Даниловић	Техничка механика и теорија конструкција

Интерактивно окружење за микро-рејонизацију заснива се на креирању базе улазних података користећи теренска мерења и интегрисање базе података са једноставним нумеричким рутинама које у обзир узимају динамичку интеракцију тла и објекта. Циљ окружења је да са одређеним степеном поузданости изврши предикцију динамичког понашања објекта на основу географских координата. Због изразите мултидисциплинарности теме, део истраживања би се одвијао у сарадњи са истраживачима са других катедара и факултета.

План по годинама:

1. Постављање и тестирање инфраструктуре за израду окружења
2. Креирање базе улазних података на којој ће се окружење заснивати
3. Испитивање интеракције базе података са нумеричким рутинама
4. Проширење базе улазних података
5. Интеграција машинског учења

Очекивани резултати:

1. Публиковање радова у међународним часописима и учешће на домаћим конференцијама
2. Израда завршних радова студената чија би тема била проширење базе улазних података и тестирање окружења
3. Јачање веза између катедара и факултета због мултидисциплинарности теме (геологија, геодезија, геотехника, динамика (механика), математика)

Утицај ветра на конструкције: Утицај ветра у урбаним срединама

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	Доц. др Анина Глумац	Техничка механика и теорија конструкција
2.	Кристина Костадиновић Вранешевић	Техничка механика и теорија конструкција

Циљ истраживачке теме је испитивање карактеристика тока ветра у урбаним срединама, као и површинског притиска на објектима, како експериментално (мерења у аеротунелу), тако и нумерички (користећи нумеричку динамику флуида - CFD).

Ток ветра у урбаним срединама је под утицајем различитих сложених фактора попут хетерогене геометрије објеката, сепарације и рецикулације и локалних термалних ефеката. Улице и насумичан распоред објеката могу створити зоне великих брзина и вртлоге у пасажма између објеката, што потенцијално може проузроковати оштећења на фасадама и крововима. Познавањем карактеристика тока ветра у урбаном окружењу могу се дати корисне смернице при планирању и обликовању. Оне су кључне за пројектовање високих објеката, а играју и пресудну улогу у одређивању потенцијала за убирање енергије ветра у урбаним срединама.

У првој фази истраживања већ су спроведена експериментална испитивања у аеротунелу са атмосферским граничним слојем који се налази на Универзитету Рур у Бохуму, Немачка, у оквиру Краткорочне научне мисије (STSM). Тестови су обухватили четири различита модела објекта:

- Висока зграда са равним кровом,
- Висока зграда са закошеним кровом,
- Ниска, двоводна кућа,
- Ниски индустријски објекат (хангар) са двоводним кровом.

Утицај суседних објеката је испитан у случају високе зграде са равним кровом, високе зграде са закошеним кровом и ниске двоводне куће. Све наведене конфигурације укључују примарни објекат окружен са четири зграде исте геометрије.

Другом фазом је предвиђена израда нумеричких симулација конфигурација из експеримената које би пружиле додатни увид у одређене проблеме. За нумеричку предикцију карактеристика тока користи се отворени код OpenFOAM заснован на методи коначних запремина, применом методе симулације великих вртлога (Large eddy simulation - LES).

Први корак обухвата прављење нумеричке реплике аеротунела из експеримената – претходног домена, без модела објекта. Задатак је формирање турбулентног тока са карактеристикама тока у урбаним срединама на предвиђеном месту модела. Планирана је анализа утицаја турбулентних елемената на сам ток ветра, као и квалитета и типологије мреже кроз анализу четири случаја:

- Комплетан домен са свим турбулентним елементима,
- Домен са ветрикалним генераторима и баријером,
- Домен са храпавом зоном (roughness field),
- Празан домен.

Циљ је нумерички модел претходног домена са минималним захтевима у погледу квалитета мреже који може бити коришћен у даљим истраживањима.

Други корак подразумева укључивање модела објекта у самој нумеричкој симулацији аеротунела моделираног у првом кораку. Анализираће се модели и конфигурације објеката из експерименталних испитивања праћени:

- Детаљном анализом тока ветра око објекта – комплементарно експерименталним испитивањима,
- Анализом оптерећења на фасаду и кров објекта,
- Одређивањем утицаја позиције суседног објекта у групним конфигурацијама,
- Приказом потенцијала за убирање енергије ветра у зависности од угла ветра, облика крова и конфигурације (групна или изолован објекат),
- Укључивањем нових конфигурација у анализу.

Очекивани резултати:

Одбрана докторске дисертације асистента студента докторских студија Кристине Костадиновић Вранешевић, маг. инж. грађ., публикавање резултата на конференцијама и у часописима.

Стабилност конструкција

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	Проф. др Ратко Салатић	Техничка механика и теорија конструкција
2.	Доц. др Станко Ђорић	Техничка механика и теорија конструкција
3.	Милица Бендић	Техничка механика и теорија конструкција
4.	В.проф. др Светлана Костић	Техничка механика и теорија конструкција
5.	Доц. др Зоран Перовић	Техничка механика и теорија конструкција
6.	Немања Милекић	Техничка механика и теорија конструкција

У оквиру стабилности лимених носача, испитиваће се утицај локализованог оптерећења (patch loading) на граничну носивост носача I-пресека. Извршиће се анализа утицаја дужине оптерећења на граничну силу код носача са и без подужних укрућења у зони уношења оптерећења. Дужина оптерећења није систематично изучена у доступној литератури и стога представља простор за даље истраживање. Очекује се да се на основу довољног броја нумеричких резултата изврши корекција тренутног стандарда за пројектовање челичних плочастих елемената (Еврокод ЕН1993-1-5) у виду новог предлога за еластичну критичну силу (која је неопходна за прорачун граничне носивости) и ефективне дужине распростирања оптерећења. Наставак ових истраживања имаће тенденцију повезивања нумеричких и теоријских испитивања са практичним проблемима (монтажа челичних мостова превлачењем преко привремених ослонаца).

Стабилност лимених носача под дејством локализованог оптерећења (patch loading) ће такође бити изучена применом ново развијених метода из области машинског учења (Machine Learning) и вештачке интелигенције (Artificial Intelligence), првенствено користећи алгоритме на бази вештачких неуронских мрежа (Artificial Neural Network) и дубоког учења (Deep Learning). За потребе тренирања вештачких неуронских мрежа потребно је формирати велике нумеричке базе података. Нумеричка база ће се креирати варирањем одређеног броја параметара који утичу на граничну носивост носача. Крајњи циљ овог истраживања је нови предлог у затвореном облику за граничну носивост носача I-пресека под дејством локализованог оптеречења.

Такође ће бити настављена истраживања о праћењу феномена губитка стабилности оквирног носача у пластичној области и директно одређивање његове критичне силе у тој области. Биће примењивани различити изрази за везу између модула еластичности и тангетног модула код грађевинског челика. У оквиру тога ће се анализирати и даље смањење крутости аксијално оптерећених стубова услед геометријских имперфекција. Такође, биће узети у обзир утицај полукрутих веза и ефекти трења на понашање оквирних носача.

Очекивани резултати:

1. На основу предложене анализе стабилности лимених носача очекује се корекција израза за прорачун граничне носивости носача I-пресека, првенствено израза за критичну еластичну силу и ефективну дужину распростирања оптерећења, који улазе у прорачун саме граничне силе. Крајњи очекивани резултат је побољшање прописа за пројектовање челичних плочастих елемената према Еврокоду (ЕН1993-1-5) под дејством локализованог оптерећења.

2. Очекивани резултат је увођење вештачке интелигенције у сврху пројектовања челичних конструкција. Као крајњи циљ предложене анализе је предлог затвореног решења за граничну носивост носача I-пресека под дејством локализованог оптерећења.
3. Као резултат анализе извијања оквирних носача у нееластичној области, биће дата препорука који изрази за везу између модула еластичности и тангетног модула код грађевинског челика су најпогоднији за примену.
4. Публиковање у часописима, радионице за инжењере у пракси, као учешће на међународним научним и стручним скуповима
5. Израда и одбрана докторске дисертације.

Енергетска ефикасност зграда

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	Доц. др Станко Ћорић	Техничка механика и теорија конструкција
2.	Доц. др Зоран Перовић	Техничка механика и теорија конструкција
3.	Немања Милекић	Техничка механика и теорија конструкција

Истраживања из области Енергетске ефикасности грађевинских објеката на Грађевинском факултету Универзитета у Београду започела су још пре 15-ак година. Мотивација за то су биле европске директиве 2002/91/ЕУ којима је уведена обавеза енергетске сертификације зграда. Због тога су се та истраживања на почетку односила на формулисање начина израчунавања топлотних својстава објеката вискоградње који су касније постали саставни део нашег правилника о енергетској ефикасности зграда. Нумеричка и експериментална истраживања која се односе на унапређење методологије прорачуна енергетске ефикасности у зградарству настављена су и после тога.

У наредном периоду очекује се да ће посебно бити разматран порорачун потребне енергије за хлађење објеката. Треба напоменути да се на основу важећег националног правилника зграде сертификую само на основу потребне енергије за загревање објеката у периоду грејне сезоне. При томе се и даље не захтева прорачун потребне енергије за хлађење у летњем периоду, иако је јасно да се у том периоду остварује значајна потрошња енергије. Због тога ће прво да се анализирају методе прорачуна у правилницима развијених европских држава, као и земаља у нашем окружењу. Циљ је да се формулише методологија прорачуна која би била најпогоднија за климатске карактеристике нашег поднебља.

Такође ће бити настављена експериментална истраживања у циљу анализе могућности за уштеду енергије у зградама кроз примену зелених кровова. Наиме, зелени кровови у урбаним срединама неких развијених земаља су постали и законска обавеза у циљу очувања животне средине и обезбеђивања одрживог развоја градова. Истраживања показују да у ужем центру Београда преко 40% стамбених зграда имају равне кровове и самим тим постоји велики потенцијал за њихово озелењавање. У оквиру овог истраживања биће анализирана могућност утицаја зеленог крова на енергетске перформансе једне постојеће зграде у центру Београда.

На крају, биће финализирана и истраживања примене савремених међуспратних конструкција које, уз задовољавање свих потребних крутости, елиминирају непотребне губитке топлотне енергије. Наиме, циљ истраживања је да се покаже да је могуће пројектовати и извести енергетски ефикасне олакшане касетиране спратне плоче које су изоловане са доње стране без могућности веће акумулације и одвођења топлотне енергије.

Очекивани резултати:

1. Планира се публиковање резултата истраживања у научним часописима и на конференцијама. Исто тако се планира израда више специјалистичких радова везаних за наведене теме истраживања.
2. Формулисање методологије прорачуна енергије за хлађење објеката, која би могла да буде примењена при допуни Правилника за енергетску ефикасност зграда.
3. Очекује се да ће резултати експерименталних истраживања потврдити нумеричке прорачуне који показују оправданост примене зелених кровова за станове који се налазе непосредно испод њих.
4. Сарадња са лабораторијом Грађевинског факултета у Суботици у циљу пројектовања и израде анализираних лаких енергетски ефикасних таваница.

Прорачун спрегнутих конструкција од челика и бетона

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	В.проф. др Светлана Костић	Техничка механика и теорија конструкција
2.	В.проф. др Саша Стошић	Техничка механика и теорија конструкција
3.	Доц. др Марија Лазовић	Техничка механика и теорија конструкција
4.	Јелена Николић	Техничка механика и теорија конструкција
5.	Филип Ђорђевић	Техничка механика и теорија конструкција

Предмет овог истраживања је анализа спрегнутих конструкција од челика и бетона укључујући вискозне деформације бетона које значајно утичу на понашање ових конструкција током времена. Према савременим прописима какав је нпр Еврокод 4, ови утицаји се или занемарују или се узимају у обзир поједностављеним методама. Оваква поједностављења нису увек на страни сигурности, па је потребно развијати и тачније моделе прорачуна. Један од оваквих модела, базиран је на примени математичке теорије линеарних интегралних оператора. У оквиру прорачуна спрегнутих конструкција, рад би обухватио наставак досадашњих истраживања у овој области и побољшање већ развијених метода. Сви развијени модели ће бити имплементирани у постојећи MATLAB код.

Рад у оквиру ове теме обухватиће и нелинеарну анализу спрегнутих греда и стубова који се све више користе у пракси, због бројних предности које поседују. При томе, рад ће бити усмерен на развој нове методологије прорачуна, развоја компјутерског кода и нумеричких модела за интегралну анализу CFT стубова са класичним бетоном, али и са иновативним материјалима, при top-down моделу градње. Планиран је рад на развијању компјутерских алата за интегрално параметарско моделирање свих компонената система који се јављају код овог типа градње: тло, темељи и конструкција. Развијени компјутерски алати треба да омогуће спровођење глобалне анализе осетљивости, прављење метамодела и пробабилистичку анализу, као и оптимизацију модела уз примену техника машинског учења. У зависности од

материјалних могућности, били би изведени и експерименти на спрегнутим CFT стубовима са микроармираним бетоном.

Очекивани резултати:

Као резултат рада на овој теми, очекује се одбрана две докторске дисертације студената докторских студија, публикавање резултата на конференцијама у часописима.

Нелинеарна анализа оквирних конструкција

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	В.проф. др Светлана Костић	Техничка механика и теорија конструкција
2.	В.проф. др Саша Стошић	Техничка механика и теорија конструкција
3.	Доц. др Марија Лазовић	Техничка механика и теорија конструкција
4.	Јелена Николић	Техничка механика и теорија конструкција
5.	Филип Ђорђевић	Техничка механика и теорија конструкција

Усвајањем принципа програмираног понашања у савременим прописима за прорачун конструкција на дејство земљотреса подстиче коришћење нелинеарне анализе конструкција у свакодневној инжењерској пракси. Разлог лежи у чињеници да нелинеарна анализа омогућава добијање детаљнијих информација о понашању конструкције у односу на традиционалне методе прорачуна, попут нееластичних деформације и сл. Поред потребе да нови модели прорачуна буду што тачнији, подједнако је важно постићи и одговарајући степен ефикасности и компјутерске цене анализе, а то је у директној вези са ефикасношћу нелинеарних коначних елемената. Због доброг компромиса између тачности и компјутерске ефикасности, гредни коначни елементи се и даље најчешће користе. У овом контексту треба истаћи елементе расподељене пластичности са интеграцијом одговора нееластичног материјала по површини попречног пресека (fiber елементи) који поседују висок степен тачности и имају велику флексибилност за моделирање нееластичног одговора конструкције. Поред њих, у пракси се често користе и елементи концентрисане пластичности који су економичнији у односу на поменуте fiber елементе.

Рад у оквиру ове теме је фокусиран на развијање нових и унапређење већ развијених гредних коначних елемената. Поред тога, радиће се и на унапређењу и имплементацији напреднијих алгоритама који се користе код одређивања стања елемента. У том смислу, већ су започета истраживања која се односе на оптимизацију дискретизације попречног пресека и развој нових метода дискретизације, па ће рад на овим моделима бити настављен. Компјутерска ефикасност fiber елемента је у директној зависности од броја тачака интеграције и одређивање оптималне шеме дискретизације је врло значајно. Напредни модели дискретизације пресека припадају групи “adaptive” модела, који се активирају само онда уколико се у пресеку јаве нееластичне деформације.

Очекивани резултати:

Као резултат рада на овој теми, планирано је публикавање радова на конференцијама и у часописима.

Теорија пластичности

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	Доц. др Зоран Перовић	Техничка механика и теорија конструкција
2.	Доц. др Станко Ђорић	Техничка механика и теорија конструкција

У оквиру досадашњих истраживања у пољу материјалне нелинеарности, дефинисани су одговарајући теоријски и нумерички модели који се заснивају на хистерезисним операторима који омогућавају моделирање једнооксијалног понашања материјала у пластичном домену узимајући у обзир и оштећење. Истраживање и модели су пре свега адекватни за моделирање понашања челика при цикличном оптерећењу, па се правац даљег истраживања односи на формирање модела који може да са великом тачношћу опише понашања челика при нискоцикличном замору. Потребни експериментални резултати цикличног оптерећивања челика са константном, али и променљивом амплитудом ће бити засновани на великом броју спроведених истраживања из литературе, али и нових предвиђених експерименталних истраживања. Најзначајнији параметри анализираних понашања су број циклуса оптерећења до појаве оштећења, број циклуса оптерећења до лома, максимални и средњи напон, а одговарајућа међусобна зависност ових параметара ће послужити и за формирање и верификацију предложеног модела материјала. Постојећи модел хистерезисног оператора се показао као веома погодан оквиру анализе проблема бројања циклуса и прорачуна енергије дисипације где се аналитичко решење може лако трансформисати у нумерички модел. Због тога се и очекује да ће формирани модел и софтвер омогућити и описивање различитих феномена приликом напрезања елемената реалних конструкција при нискоцикличном замору.

Очекивани резултати:

1. Очекивани резултат је развијен нумерички модел и софтвер који ће са великом тачношћу моћи да процени понашање одговарајућих челичних елемената конструкције при нискоцикличном замору
2. Циљ је да се резултати истраживања верификују и публикују у научним часописима и на конференцијама.
3. Сарадња са лабораторијом Државног универзитета у Новом Пазару ради извођења одговарајућих експеримената.

Гранична анализа слојевитих композитних плоча применом метода коначних елемената

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	Доц. др Мирослав Марјановић	Техничка механика и теорија конструкција
2.	Емилија Дамњановић	Техничка механика и теорија конструкција

Убрзани технолошки развој, тежња за конструкцијама великих распона и развој нових материјала довели су до све веће примене композитних материјала у грађевинарству, који захтевају другачији начин прорачуна у поређењу са традиционалним материјалима, као и примену сложенијих нумеричких модела. На пример, при анализи локалних ефеката при напрезању композитних плоча (отвори,

плоче ослоњене на тачкасте ослонце и сл.), дејство напона σ_z не може се занемарити, што је обично случај у примени класичних прорачунских модела.

Са тим у складу, у оквиру овог истраживања, кроз следеће фазе, развијаће се слојевити коначни елементи засновани на Reddy-евој Full Layerwise теорији плоча (FLWT), која разматра тродимензионално стање напона у ортотропном материјалу:

1. Имплементација различитих критеријума лома за анализу граничне носивости првог слоја (first ply failure);
2. Примена модела на анализу иницијације лома код елемената од унакрсно ламелираног дрвета (CLT). Поређење са експерименталним резултатима, валидација и калибрација модела;
3. Имплементација алгорита прогресивног лома композитних плоча;
4. Развој графичког окружења применом GiD платформе погодне за практичну примену, као и у едукативне сврхе.
5. Анализа непоузданости материјалних карактеристика на граничну носивост CLT елемената при статичком и динамичком оптерећењу.

Очекивани резултати:

Одбрана докторске дисертације Емилије Дамњановић; Студијски боравак Емилије Дамњановић на Institute for Structural Mechanics, Ruhr University Bochum; публикавање радова у међународним часописима и учешће на конференцијама у земљи и иностранству; дистрибуција развијеног софтвера као open-source путем GitHub репозиторијума; повећање цитираности и видљивости истраживачке групе у у циљу аплицирања за пројекте Фонда за науку и ЕУ.

Сеизмичка анализа армиранобетонских оквира са зиданом испуном

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	Доц. др Марко Маринковић	Техничка механика и теорија конструкција

Ова тема представља наставак истраживања спроведеног на пројекту TR36048, у оквиру којег је испитивано понашање армиранобетонских оквира са зиданом испуном. Ова тема бави се и експерименталним и нумеричким истраживањем понашања зиданих испуна. Истраживање се спроводи у два правца која се преклапају. Први је, детаљно истраживање и разумевање свих фактора који утичу на понашање зидане испуне, а други је развој мера за побољшање њиховог понашања. Да би се то постигло, врши се експериментално тестирање компоненти система као и АБ оквира са зиданом испуном. Испитивање се спроводи при оптерећењу у равни и ван равни зида, као и при комбинацији ова два оптерећења. На основу ових експеримената развијени су детаљни нумерички модели за анализу зидане испуне. У наредном периоду планирана су додатна експериментална испитивања за испитивање различитих комбинација оптерећења и граничних услова, као и различитих геометријских карактеристика зидова испуне и АБ оквира. Паралелно са тим, врше се и свеобухватне параметарске студије како би се добило најбоље решење које је оптимизовано за практичну употребу у свакодневной пракси пројектовања и грађења.

План по годинама:

1. Испитивање АБ оквира са традиционалном зиданом испуном са отворима.
2. Испитивање АБ оквира са изолованом зиданом испуном са отворима.
3. Развој нумеричког модела за детаљну параметарску анализу.
4. Развој глобалног макро модела за анализу понашања АБ оквирних зграда са зидном испуном.
5. Развој концепта прорачуна АБ оквирних зграда са зиданом испуном.

Очекивани резултати:

1. Публиковање радова у међународним часописима и учешће на домаћим конференцијама
2. Јачање сарадње са Центром за анализу конструкција на дејство ветра и земљотреса (Center for Wind and Earthquake Engineering), Универзитета у Ахену (RWTH Aachen University)

Анализа понашања конструктивних и неконструктивних елемената у индустријским објектима при дејству земљотресног оптерећења

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	Доц. др Марко Маринковић	Техничка механика и теорија конструкција

Ова тема бави се и експерименталним и нумеричким истраживањем индустријских објеката при дејству земљотреса. Тема представља наставак истраживања Европског пројекта SPIF. Индустријски објекти састоје се од носећих конструктивних елемената и разних компоненти потребних за процес производње (секундарни елементи или секундарне конструкције), које под сеизмичким оптерећењем могу искусити значајна оштећења која могу угрозити интегритет конструкције и имати озбиљне последице по становништво, животну средину и економију. Конструкције у индустријским објектима варирају од флексибилних цевовода до крутих машина и од мале прецизне опреме до великих кранова или дизалица. Већина машинских инсталација има специфичне функције, укључујући прецизност производње, ефикасност производње и капацитет снабдевања, тако да је функционални квар једнако важан као и оштећење конструкције. Сеизмичко понашање индустријских постројења интензивно се проучава нумеричким моделима и развијено је неколико кривих повредљивости заснованих на компонентама. Међутим, овај приступ не узима у обзир динамичку интеракцију између конструкције и секундарних компоненти, а самим тим и ефекат сеизмичке реакције секундарних компонената на одговор конструкције и обрнуто. Ипак, важно је размотрити ову интеракцију како би се тачно идентификовала или предвидела штета.

План по годинама:

1. Испитивање интеракције неконструктивних елемената и конструкције при дејству земљотреса.
2. Испитивање утицаја неконструктивних елемената на функционалност индустријских постројења при дејству земљотреса.

3. Развој нумеричког модела за детаљну анализу веза неконструктивних компоненти и конструкције.
4. Развој глобалног макро модела за анализу понашања индустријских објеката при дејству земљотреса.
5. Развој концепта прорачуна Индустријских објеката узимајући у обзир неконструктивне компоненте и прорачун њиховог понашања.

Очекивани резултати:

1. Публиковање радова у међународним часописима и учешће на домаћим конференцијама
2. Јачање сарадње са Центром за анализу конструкција на дејство ветра и земљотреса (Center for Wind and Earthquake Engineering), Универзитета у Ахену (RWTH Aachen University) као и института EUCENTRE у Италији (Павиа).

Изогеометријски приступ у формулацији криволинисјких греда у геометријски нелинеарним условима.

Р.Б.	Име и презиме	Ужа научна област
1.	Милош Јочковић	Техничка механика и теорија конструкција

Истраживање у оквиру ове теме спровешће се кроз следеће активности:

1. Формулација просторне Бернули – Ојлерове и Тимошенкове греде у геометријски нелинеарним условима за потребе статичке и динамичке анализе.
2. Имплементација наведених модела у програмском пакету Matlab.
3. Анализа стабилности просторне криволинијске Бернули – Ојлерове и Тимошенкове греде.
4. Анализа динамичких утицаја у геометријски нелинеарним условна Бернули – Ојлерове и Тимошенкове просторне криволинијске греде.

Очекивани резултати:

Публиковање радова у међународним часописима и учешће на конференцијама у земљи и иностранству.