

НАСТАВНО НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

**ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ УНИВЕРЗИТЕТА У
КРАГУЈЕВЦУ**

На седници Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу одржаној 18.04.2019. год. (број одлуке: 01-1/1378-3) и на седници Већа за техничко-технолошке науке одржаној 15.05.2019. год. (број одлуке: IV-04-386/10), којом смо одређени као чланови Комисије за подношење извештаја, за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације: "Развој и имплементација конститутивног модела стенске масе са оштећењима" у научној области Примењена механика, кандидата Милана Бојовић, маг. инж. маш. На основу података, којима располажемо, достављамо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада

У предложеном нацрту докторске дисертације, кандидат је образложио предмет истраживања, наводећи актуелност и значај истраживања у области конститутивног модела стенске масе.

Анализа комплексних тродимензионалних геотехничких проблема нумеричким методама данас је омогућена све већом доступном рачунарском снагом неопходном да се изврши анализа стабилности објеката попут тунела, фундамента мостова, бетонских и насутих брана итд. Нумерички модели ових конструкција могу да имају преко милион коначних елемената и чворова и да укључе велики број конструкционих детаља (елементи за анкерисање, елементи дренажног система итд.)

При анализи конструкција методом коначних елемената, поред припреме модела од кључног значаја за тачност добијених резултата је употреба конститутивних материјалних модела који описују понашање различитих материјала. Због тога је при решавању геотехничких проблема механичко понашање интактне стенске масе и стенске масе са оштећењима од великог интереса.

У оквиру предложене теме докторске дисертације планиран је развој конститутивног модела за описивање механичког понашања стенске масе који узима у обзир иницијална оштећења материјала, као и оштећења која настају у процесу оптерећивања. Предложени

конститутивни модел стенске масе са оштећењима биће заснован на комбинацији теорије пластичности и теорије оштећења.

Кандидат је предложио програм истраживања у наведеној области, који је у складу са савременим научним методама истраживања. Истраживање се заснива на нумеричким и експерименталним методама. Развој и побољшање модела за описивање понашања стенске масе и његову уградњу и верификацију у софтверу базираном на методи коначних елемената.

Имајући у виду приказ проблема истраживања, полазне хипотезе и предложене научне методе истраживања, приказани нацрт докторске дисертације садржи све елементе који су потребни, да би се у изради докторске дисертације дао научни допринос, значајан за даљи развој научних истраживања у области експерименталног и нумеричког изучавања геотехничких проблема.

Веза са досадашњим истраживањима

Увидом у објављене радове, у научним и стручним часописима, као и радове објављене на међународним конференцијама, може се закључити да се кандидат Милан Бојовић бавио применом нумеричких метода у области геомеханичког инжењеринга, као и учешће на међународним и националним пројектима представљају добру основу за реализацију ове дисертације.

Рад у оквиру ове дисертације омогућава кандидату да оствари континуитет у свом истраживачком раду, што поред стручног усавршавања кандидата има за циљ и могућност примене решења у инжењерској пракси.

2. Образложење предмета, метода и циља, који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке

Предмет, циљеви и хипотезе ове дисертације обухватају следеће

Развој конститутивног модела стенске масе са оштећењима биће заснован на комбинацији теорије пластичности и теорије оштећења. Применом теорије оштећења биће дефинисано деформационо ојачање/омекшање материјала деградацијом крутости. Модел ће представљати модификован конститутивни модел који је оригинално развијен за симулацију механичког понашања бетона. Модификација ће се огледати у увођењу једначине површи течења која боље описује механичко понашање стенске масе (Hoeck-Brown површ течења).

За предложени конститутивни модел ће бити развијен нумерички алгоритам за имплицитну интеграцију напона, који ће бити имплементиран у програм ПАК (Програм за анализу конструкција), базиран на методи коначних елемената, са циљем даље примене у решавању реалних геотехничких проблема. За потребе практичне примене у геотехници, биће развијена и унапређена постојећа методологија за естимацију параметара модела на основу резултата лабораторијских испитивања материјала.

Алгоритам за интеграцију напона ће бити верификован поређењем нумеричких решења са резултатима из литературе као и резултатима лабораторијских испитивања блокова стенске масе.

Након верификације конститутивног модела, планирана је и његова примена у решавању практичних проблема из области геотехнике (анализа стабилности бране, тунела, насипа, косина итд.)

При развоју и имплементацији конститутивног модела биће коришћене следеће хипотезе:

- Стенска маса је скуп различитих интактних стена, заједно са дисконтинуитетима попут раседа, поломљених и оштећених структура и смичућих равни формираних груписањем честица у видљиве слојеве,
- Механичко понашање стенске масе зависи од понашања интактне стене и дисконтинуитета, међутим, на макро нивоу, стенска маса се сматра квази хомогеном средином,
- Узимајући у обзир да су померања мала у односу на димензије анализираних структура, употребљава се теорија малих деформација
- Конститутивни модел за стенску масу формулисан је на основу теорије пластичности и теорије оштећења, формулација пластичности се користи приликом дефинисања неповратних деформација праћене пластичним ојачањем
- Ефективни напон се односи на неоштећени део оштећеног подручја стене, док се номинални напон односи на укупан напон,
- Нормални и ефективни напон повезани су скаларом који представља величину оштећења материјала.

Методе истраживања

У научно-истраживачком раду биће коришћене савремене научно истраживачке методе. Првенствено ће се користити нумеричке методе са статистичким методама приликом анализе добијених резултата и у процесу идентификације и калибрације материјалних параметара.

Од статистичких метода користиће се дескриптивне и инференцијалне методе приликом одабира расположивих експерименталних резултата, приказа и анализе нумерички добијених резултата.

Метод коначних елемената је нумеричка метода за решавање инжењерских проблема. Користи се за проблеме који имају комплексну геометрију, комплексна оптерећења и комплексно понашање материјала, где се решења не могу одредити аналитичким

приступом. Ова метода омогућава анализирање комплексних случајева оптерећења појединачно и истовремено.

За потребе тестирања и калибрације конститутивног модела поред експерименталних резултата доступних у литератури користиће се и резултати експеримената које је извршио Институт „Јарослав Черни“. Доступне експерименталне вредности су добијене методом хидрауличног јастука и теста смицања. Поменути експерименти су вршени на локалитетима значајних хидротехничких објеката (гравитациона брана Ђердап 1, лучна брана Гранчарево итд.)

Метода хидрауличног јастука представља једну од познатих и широко прихваћених метода одређивања деформабилности стенске масе *in situ* (на месту настанка узорка), помоћу које се експериментима притиска одређују механичке карактеристике стенске масе (модул еластичности, деформације)

Тест смицања се такође врши *in situ*. Испитивање се своди на вертикално оптерећење узорка, где се након консолидације вертикалних деформација изазива смичуће оптерећење. При овом тесту добијају се величине хоризонталних и вертикалних померања стенског блока.

Оквирни садржај докторске дисертације

1. Увод
2. Преглед и анализа постојећих конститутивних модела стенске масе
3. Конститутивни модел за напонско деформациону анализу стенске масе са оштећењем
4. Нумеричка имплементација конститутивног модела
5. Валидација и верификација конститутивног модела стенске масе са оштећењима
6. Резиме и закључна разматрања
7. Литература
8. Прилози

3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема

На основу представљеног концепта, може се закључити да постоји интересовање за развојем побољшаних конститутивних материјалних модела стенске масе, који ће омогућити добијање поузданих резултата нумеричких анализа, чиме би се додатно оправдала употреба методе коначних елемената при анализи геотехничких објеката у фази конструкције нових и мониторинга постојећих објеката као један од алата за анализу и разматрање понашања објекта при екстремним условима оптерећења.

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације, са образложеним предметом и циљевима рада, научним доприносима и очекиваним резултатима, насталим детаљном анализом доступних научних радова у научном и стручном смислу, оригинална идеја.

4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације

Кандидат Милан Бојовић ће у својој докторској дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког рада, поштујући основне критеријуме науке, научних циљева и метода анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања.

Кандидат ће детаљно проверавати полазне хипотезе, теоријски - анализом обимне литературе и извора, у већини случајева новијег датума и поређењем добијених резултата са експериментално добијеним вредностима.

5. Преглед научно-истраживачког рада

а. Лични подаци

Рођен је 05.02.1991. године у Чачку. Основно образовање је стекао у основној школи „Прељина“ у селу Прељина. Завршио је средњу Машинско-саобраћајну школу у Чачку 2010. год. са одличним успехом, након чега је исте године уписао Факултет инжењерских наука у Крагујевцу. Основне студије је завршио 2013. године са просечном оценом 9,53. Дипломски ради из предмета Компјутерски подржано инжењерство „Структурна анализа конфигурације плоче за фиксирање и напрсле тибије током зарастања“ је одбранио са оценом 10. Исте године уписао је и мастер студије на Факултету инжењерских наука.

Мастер студије је завршио 2015. године са просечном оценом 9,72. Мастер рад под називом “Анализа филтрационих и напонско-деформацијских процеса бетонске гравитационе бране” одбранио је са оценом 10 и исте године уписао докторске студије на Факултету инжењерских наука.

б. Научно-истраживачки рад

Као аутор или коаутор објавио је укупно шест радова у научно-стручним часописима као и на међународним и домаћим научно-стручним скуповима.

• Списак објављених радова

Саопштење са међународног скупа штампано у целини [М33]

1. Драган Ракић, Милан Бојовић, Снежана Вуловић, Мирослав Живковић, Дејан Дивац, Никола Миливојевић, Stability analysis of concrete gravity dam using FEM, International

Conference & Workshop REMOO-2017 ENERGY FOR TOMORROW, Venice, Italy, 2017, 10–12 May, pp. 1-11, ISBN 978-3-9818275-5-2.

Рад у водећем часопису националног значаја [M52]

2. Владимир Миловановић, Никола Јовановић, **Милан Бојовић**, Гордана Јовичић, Мирослав Живковић, Анализа чврстоће теретног вагона за превоз нафтних деривата са клизном вијчаном везом, ИМК-14 – Истраживање и развој у тешкој машиноградњи 24(2018)1, SR11-16 UDC 621 ISSN 0354-6829.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини [M63]

3. **Милан Бојовић**, Драган Ракић, Снежана Вуловић, Мирослав Живковић, Дејан Дивац, Никола Миливојевић, Слободан Радовановић, Владимир Миливојевић, Анализа стабилности бетонске гравитационе бране применом методе коначних елемената, XXII konferencija YU INFO 2016.
4. **Милан Бојовић**, Драган Ракић, Мирослав Живковић, Анализа тачности тетраедарских коначних елемената са и без међучворова, XXII konferencija YU INFO 2016.
5. **Милан Бојовић.**, Никола Јовановић, Андреј Радовановић, Милош Младеновић, Мирослав Живковић, Ненад Грујовић, Фатима Живић, Numerical Analysis and Topology Optimization of 3D Printed Elements Used For Wood Industry, XXI konferencija YU INFO 2015, Koraonik, 2015, Mart 8.-11., ISBN: 978-86-85525-15-5.
6. Андреј Радовановић, Милош Младеновић, **Милан Бојовић**, Никола Јовановић, Ненад Грујовић, Мирослав Живковић, Фатима Живић, Могућност примене технологија брзе израде прототипова у дрвној индустрији, XXI konferencija YU INFO 2015, Koraonik, 2015, Mart 8.-11., ISBN: 978-86-85525-15-5.

На основу свега наведеног у претходним тачкама овог извештаја Комисија доноси следећи

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Милан Бојовић, мастер инжењер машинства, испунио је све предвиђене услове за одобрење израде докторске дисертације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да наведену предложену тему за докторску дисертацију:

„Развој и имплементација конститутивног модела стенске масе са оштећењима“

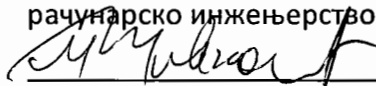
прихвати и одобри њену израду кандидату Милану Бојовић, мастер инжењеру машинства.

Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др Драган Ракић, доцент Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

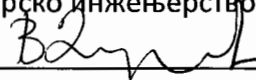
У Крагујевцу,
27.05.2019. год.

КОМИСИЈА

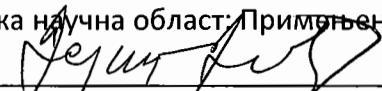

Др Драган Ракић, доцент – председник Комисије
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.
Уже научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство



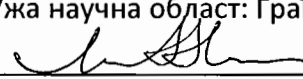
Др Мирослав Живковић, ред. проф. – члан комисије
Факултет инжењерских наука у Крагујевцу,
Уже научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство



Др Владимир Дуњић, доцент – члан комисије
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.
Уже научна област: Примењена механика



Др Дејан Дивац, научни саветник – члан комисије
Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, ванредни професор,
Грађевински факултет Универзитета у Београду,
Уже научна област: Грађевинарство (Бране, Тунели, Механика стена).



Др Никола Миливојевић, научни сарадник – члан комисије
Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд
Уже научна област: Техничко-технолошке науке – електроника,
телекомуникације и информационе технологије