

ПРИМЉЕНО: 11 ОСТ 2010			
Орг. јед.	Број	Прилог	Број лист
	01-1/3947		

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ И СТРУЧНОМ  
ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ УНИВЕРЗИТЕТА  
У КРАГУЈЕВЦУ**

На седници Наставно-научног већа Машинског факултета у Крагујевцу од 23.09. 2010. год. одређени смо у комисију за подношење извештаја о подобности теме: *“Variational Formulations and Functional Approximation Algorithms in Stochastic Plasticity of Materials”* кандидата дипл. инж. Бојане Росић, за израду докторске дисертације. На основу података којима располажемо достављамо следећи

**ИЗВЕШТАЈ КОМИСИЈЕ О ПОДОБНОСТИ ТЕМЕ  
И КАНДИДАТА**

**2.1. Кратка биографија кандидата**

Бојана Росић је рођена 16.08.1982. године у Крагујевцу. Основну школу је завршила у Гружи, средњу, Прву Крагујевачку гимназију у Крагујевцу. На Машински факултет, одсек Примењена механика и аутоматско управљање уписала се школске 2001. год., где је дипломирала 2006. са просечном оценом 10.00. Двоструке докторске студије на Техничком Универзитету Braunschweig, (Информатика) и Универзитету у Крагујевцу (Машински факултет, смер Примењена механика) уписала је школске 2007. год. према уговору о сарадњи између универзитета (достављен у прилогу). Приступни рад под насловом: *“A State of the Art Report: Stochastic Plasticity”*, одбранила је 01.07.2010. год. Примљена је у радни однос на одређено време на Insitut für Wissenschaftliches Rechnen у Braunschweig-у као асистент. Такође, је ангажована на пројекту „Квантификација случајности и процес ажурирања описа преноса топлоте и влаге у хетерогеним материјалима“ у сарадњи са Техничким Универзитетом у Прагу.

## 2.2 Наслов, предмет и хипотезе докторске дисертације

Комисија се у потпуности слаже са предложеним насловом докторске дисертације:

### *“Variational Formulations and Functional Approximation Algorithms in Stochastic Plasticity of Materials“*

Предмет ове дисертације обухвата следеће:

- дефинисање новог модела за еластопластичан материјал са мешовитим ојачањем при претпоставци случајних материјалних карактеристика, малих а затим и великих деформација
- варијациона формулација наведеног проблема
- апроксимација усвојених параметара применом анализе “белог шума“
- развој методе стохастичких коначних елемената
- линеаризација добијеног нелинеарног система једначина
- решавање проблема система једначина “великих димензија“
- верификација предложеног модела и метода.

Метод директне апроксимације имају задатак да уз помоћ усвојених претпоставки дођу до коначног решења постављеног проблема. Поменуте претпоставке се пре свега односе на Hadamard-ове услове дефинисаности проблема на следећи начин:

- материјални параметри који описују еластичне (реверзибилне), као и пластичне (иреверзибилне) карактеристике се проглашавају случајним. Како је већина карактеристика физичког карактера, то је потребно да буду усвојене као позитивно дефинитне, тј. да имају модификовану логаритамску дистрибуцију;
- улазни параметри ће бити моделирани пољем случајних величина, чије апроксимације треба да буду у задатим границама тачности. С тим ће бити повезан избор корелационих дужина, одговарајуће функције кернела и броја чланова у одговарајућим експанзијама;
- претпоставка перфектне von Mises-ове пластичности са кинематским и изотропним ојачањем;
- разматраће се проблем малих деформација описан адитивном декомпозицијом тензора деформације, као и стохастичким Хуковим законом. У случају великих деформација формулација ће бити заснована на стохастичком градијенту деформације и његовој мултипликативној декомпозицији;

- потпуна анизотропија ће бити усвојена на глобалном нивоу, док се на средњем нивоу материјал може третирати као изотропан, ортотропан итд.

### 2.3. Подобност кандидата

На основу података датих у оквиру тачке 2.1. и на основу личног познавања кандидата сматрамо да је дипл. инж. Бојана Росић у досадашњем раду показала интересовање, способност и самосталност за научно-истраживачки рад. Пише и говори енглески, руски и немачки језик, што је неопходно за нормалан и несметан научни рад.

Објављени радови кандидата:

#### Радови објављени у научним часописима

1. **B. Rosić; H. G. Matthies.**

*Computational Approaches to Inelastic Media with Uncertain Parameters. Journal of Serbian Society for Computational Mechanics, volume 2, No. 1, pages 28-43, 2008.*

ISSN: 1820-6530

DOI: <http://scindeks.nb.rs/article.aspx?artid=1820-65300801028R>

M53

#### Рад у тематском зборнику међународног значаја

1. **H. G. Matthies; B. Rosić**

*Inelastic Media under Uncertainty: Stochastic Models and Computational Approaches. In: Daya Reddy, IUTAM Bookseries, volume 11, pages 185-194, 2008.*

ISSN: 1875-3507

DOI: 10.1007/978-1-4020-9090-5\_17

M14

2. **B. Rosić; H. G. Matthies**

*Stochastic Galerkin Method for the Elastoplasticity Problem with Uncertain Parameters. To appear in the book dedicated to Peter Wriggers on occasion of his birthday, monography will be published by Springer, paper sent and accepted in June 2010.*

editor mail: [loehnert@ikm.uni-hannover.de](mailto:loehnert@ikm.uni-hannover.de)

M14

**Монографија националног значаја ( у оквиру Немачке)**

**1. B. Rosić**

*A Review of Computational Stochastic Elastoplasticity. TU Braunschweig, Braunschweig, 2008, published online, printed version will appear*

ISBN: Inf. 2008-08

DOI:

[http://rzbl04.biblio.etc.tubs.de:8080/docportal/receive/DocPortal\\_document\\_00024317](http://rzbl04.biblio.etc.tubs.de:8080/docportal/receive/DocPortal_document_00024317)

M42

**Радови саопштени на научним националним конференцијама**

**1. B. Rosić; M. Mićunović**

*FCC Polycrystals-Approximate Symmetry and Texture Development. YUMech Congress, Novi Sad, Serbia, 2005.*

M64

**Радови саопштени на научним међународним конференцијама- штампани у целини**

**1. B. Rosić; M. Živković**

*Hyperelastic Material Models. First Serbian (26th YU) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, full paper in proceedings, pages 805-811, Kopaonik, Serbia, April 2007.*

ISBN: 978-86-909973-0-5

DOI: <http://www.ssm.org.rs/congress2007/Introduction.html>

M33

**2. B. Rosić; H. G. Matthies.**

*Computational Approaches for Inelastic Media with Uncertain Parameters. 8th World Congress on Computational Mechanics WCCM8, 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering ECCOMAS 2008, full paper, proceedings on CD, Venice, Italy, July 2008.*

ISBN: 978-84-96736-55-9

DOI: <http://www.iacm-eccomascongress2008.org/frontal/doc/Libro2.pdf>

M33

**3. B. Rosić; H. G. Matthies; M. Živković; A. Ibrahimbegović**

*Uncertainty and Plasticity: Stochastic Formulation and Computations. 2nd South-East European Conference on Computational Mechanics, SEECM 2009, book of abstracts, page 117., full paper num. 228, proceedings*

*on CD, Rhodos, Greece, June 2009.*

ISBN: 978-960-254-683-3

M33

- 4. B. Rosić; H. G. Matthies; M. Živković; A. Ibrahimbegović**  
*Stochastic Plasticity. 6<sup>th</sup> International Congress of Croatian Society of Mechanics, 6th ICCSM, Dubrovnik, Croatia, October 2009, book of abstracts page 149, full paper published in proceedings on CD, Plasticity/5<sup>th</sup> paper.*

ISBN (book of abstracts): 978-953-7539-10-8

ISBN (CD proceedings): 978-953-7539-11-5

DOI: <http://www.iccsm2009.fsb.hr/Location>

M33

- 5. B. Rosić; H. G. Matthies; M. Živković; A. Ibrahimbegović**  
*Mathematical Formulation and Numerical Simulation of Stochastic Elastoplastic Behaviour. IV European Conference on Computational Mechanics, Solids, Structures and Coupled Problems in Engineering, full paper num. 489, Paris, France, May 2010.*

ISBN: published online

DOI: [http://www.eccm2010.org/complet/fullpaper\\_489.pdf](http://www.eccm2010.org/complet/fullpaper_489.pdf)

M33

Радови саопштени на међународним конференцијама- штампани у изводу

- 1. B. Rosić; H. G. Matthies; M. Živković; A. Ibrahimbegović**  
*Formulation of Heterogeneous Stochastic Elastoplastic Material. IX International Conference on Computational Plasticity, COMPLAS IX, book of abstracts page 345, Barcelona, Spain, September 2007*

ISBN: 978-84-96736-83-3

DOI: <http://congress.cimne.upc.es/complas07/frontal/default.asp>

M34

- 2. H. G. Matthies; B. Rosić**  
*Inelastic Media under Uncertainty: Stochastic Models and Computational Approaches. IUTAM Symposium on Theoretical, Modelling and Computational Aspects of Inelastic Media, Cape Town, South Africa, January 2008.*

DOI: <http://www.springerlink.com/content/q1w8642101632425/fulltext.pdf>

M34

- 3. B. Rosić; H. G. Matthies; M. Živković; A. Ibrahimbegović**  
*Formulation and Computational Application of Inelastic Media with Uncertain*

*Parameters. X International Conference on Computational Plasticity, COMPLAS X, book of abstracts, page 334, Barcelona, Spain, September 2009.*

**ISBN:** 978-84-96736-69-6

**DOI:** <http://congress.cimne.upc.es/complas09/frontal/default.asp>

**M34**

**4. A. Kučerova; J. Sýkora; B. Rosić; H. G. Matthies**

*Uncertainty Updating in Description of Heterogeneous Materials with Nonlinear Constitutive Law. IV European Conference on Computational Mechanics, Solids, Structures and Coupled Problems in Engineering, abstract num. 2018, Paris, France, May 2010.*

**ISBN:** *published online*

**DOI:** [https://www.eccm-2010.org/abstract\\_pdf/abstract\\_2018.pdf](https://www.eccm-2010.org/abstract_pdf/abstract_2018.pdf)

**M34**

#### **2.4. Преглед стања у подручју истраживања**

Теорија вероватноће је релативно скоро постала важан математички апарат у процесу моделирања реалних система. У току претходне деценије научници су углавном проучавали линеарне проблеме описане одговарајућим случајним параметрима. Међутим, настале методе су углавном намењене проблемима описаним случајним параметрима малих варијација. Проблеми нелинеарне природе још увек представљају изазов и недоумицу. Наиме, стохастички еластопластични материјали су први пут разматрани у радовима Andersa и Hori-ја под претпоставком случајног Јанговог модула. Метод се базирао на пертурбацијској теорији и теорији граничних услова, при чему се сама апроксимација састојала од малог броју чланова у Тејлоровом реду. На тај начин, метода је постала практично неупотребљива изузев у случајевима малих улазних варијанси. Насупрот овоме, Јеремић и његови сарадници су уз помоћ Fokker-Planck-ове једначине описали стохастичко еластично-пластично понашање уз помоћ функције густине вероватноће променљиве стања, чиме метод од полазних стохастичких парцијалних једначина формира одговарајуће детерминистичке једначине вишег реда. Међутим, поменути метода има релативно малу примену у пракси с обзиром на особине функција стања које је потребно сложеним математичким трансформацијама апроксимирати. Поред тога, поменути метода

тачно предвиђа средњу вредност, али не и стандардну девијацију решења услед претпоставке иницијалних Диракових услова.

Монте Карло метода је до данас једина метода која поуздано може да опише стохастичко понашање еластопластичних материјала. Међутим, поменута метода је рачунски јако захтевна и у потпуности неефикасна па самим тим и непрактична.

## **2.5. Значај и циљ истраживања са становишта актуелности у одређеној научној области**

Постојећи модели који описују понашање нееластичних материјала су ограничени на релативно мали број практичних ситуација. Њихови основни недостаци су пре свега неефикасност, мали број случајних параметара, примена код система мале варијансе. У складу са тим циљ дате дисертације је да формулише нове материјалне моделе стохастичних еластопластичних материјала и да затим генерише ефективне нумеричке алгоритме који могу да нађу практичну примену.

Проблем који ће се разматрати представља проблем квазистатичке еластопластичности описан силом случајног карактера, затим недетерминистичком еластичном конститутивном матрицом, недетерминистичким еластичним доменом и случајним карактеристикама ојачања. Како материјални параметри не могу узимати негативне вредности, за њихов опис биће коришћена нелинеарна функција Гаусове дистрибуцијске функције. При увођењу нових материјалних модела прво ће бити уведена претпоставка изотропних материјала на средњем нивоу, чије су реализације у основи анизотропне, да би се затим увођењем потпуне анизотропије дала прецизнија слика реалног понашања материјала. Поменути проблем биће решен при претпоставци малих деформација, а затим генерализацијом биће разматран и проблем коначних деформација. Тако добијени проблем постаје нелинеаран и описан стохастичким парцијалним диференцијалним једначинама које је потребно решити.

Нумеричке методе које ће бити имплементирани представљају методе директне апроксимације попут стохастичке Галеркинове и колокацијске методе. Поред решавања проблема методама директне апроксимације кандидат ће се

фокусирати и на непараметарске методе, чији је основни циљ описивање потпуне анизотропије материјала на средњем нивоу. Наиме, увођењем Гаусових позитивно дефинитних матрица поља случајних величина, као и дефиницијом њихових нелинеарних трансформација добија се могућност описивања материјалних конститутивних тензора уз помоћ два параметра: математичког очекивања и корелацијских дужина.

Потешкоће које се могу очекивати у датом истраживању представљају огроман број степени слободе као и складиштење података. Проблем димензија ће бити разрешен неком од адаптивних метода које би у релативном смислу смањиле димензију проблема. Адаптивне методе могу да се односе на промену броја степени слободе или пак на степен полинома којима се изводи апроксимација. Са друге стране недовољан капацитет меморије за складиштење резултата ће бити разрешен помоћу „singular value decomposition“ метода.

На основу математичких модела у оквиру докторске дисертације биће развијен програмски пакет, који ће обухватати детерминистички (МКЕ) и стохастички модул, са могућношћу паралелизације. Верификација предложених математичких модела, као и нумеричких метода ће бити изведена уз помоћ одређеног броја нумеричких примера који треба да покажу основне предности методе и могућност њене примене у случају разматрања пластичних материјала.

## **2.6. Веза са досадашњим истраживањима**

С обзиром да кандидат има одбрањен приступни рад из области која је уско повезана са предложеном дисертацијом сматрамо да ће наведена истраживања продубити знања у овој области. Детаљно испитивање и карактерисање недетерминистичких материјалних модела је значајно за разумевање многобројних процеса, а комбинација теоријских претпоставки и нумеричких резултата још једном ће потврдити уску повезаност теорије и праксе. Рад у оквиру ове дисертације ће омогућити кандидату континуитет у раду, што за циљ има детаљније дефинисање резултата у поменутој области истраживања.

## 2.7. Методе истраживања

Квантитиван опис пластичног недетерминистичког понашања представља процес налажења апроксимативног решења парцијалних диференцијалних једначина са променљивим параметрима. За решавање наведених једначина може се користити велики број различитих метода, као што су пертурбацијски, метод густина вероватноће, директне интеграције итд.

За разлику од претходно наведених метода, које су или математички јако компликоване или пак неефикасне, дати рад има за циљ да формира нов алгоритам базиран на стохастичкој Галеркиновој методи као и на стохастичком „closest point projection“ алгоритму. Стохастичка дискретизација добијених једначина биће постигнута уз помоћ Karhunen-Loeve експанзије и репрезентације тензора у њиховој непотпуној варијанти. Потпуна дискретизација биће добијена накнадном експанзијом зависних случајних величина у полиномни хаос *a la Wiener*.

Како би смањили трошкове коришћења полиномног хаоса у датом раду биће имплементиран и стохастички колокацијски метод, који се састоји од Галеркинове апроксимације у простору и колокације у нулама одговарајућих ортогоналних полинома (Гаусове тачке) у простору вероватноће.

Међутим, претходне методе се базирају на претпоставци изотропног материјала (средња вредност) па се као такве не могу користити у случају хетерогених материјала, који су окарактерисани знатно већим степеном случајности. Како би што реалније описали карактеристике поменутих материјала користиће се теорија не-Гаусових позитивно дефинитних поља случајних тензорских величина. Тако добијени модели ће се затим нумерички решити непараметарском стохастичком методом, уопштавањем исте у случају еластичних (линеарних) проблема.

## 2.8. Очекивани резултати докторске дисертације

Резултати добијени применом претходно описаних метода и математичке формулације проблема треба да поседују следеће очекиване карактеристике:

1. померања, поље напона и деформације треба да буду у складу са детерминистичким резултатима на средњем нивоу;
2. геометријски симетрични проблеми не могу довести до симетричних поља померања, напона и деформације јер карактеристике нису једнаке у одговарајућим тачкама;
3. избором различитих корелационих дужина, које одговарају различитим осцилацијама вредности параметара на истом домену неће довести до истих резултата;
4. методе директне апроксимације треба да имају краћи временски одзив у односу на методе директне интеграције. При томе се очекује да Галеркинов метод буде ефикаснији при мањим димензијама проблема, а колокацијски при порасту броја коначних елемената. Такође, очекује се да прво поменути има већу тачност у односу на други;
5. опис анизотропних као и изотропних материјала;
6. повећање ефикасности адаптивним методама;
7. ефикасно складиштење резултата.

## **2.9. Оквирни садржај дисертације**

Ова докторска дисертација треба да прикаже процес моделирања материјала применом математичке теорије вероватноће. У складу са тим поменута теорија ће бити разматрана укратко у смислу упознавања са основним хипотезама класичне теорије вероватноће. Материјалне карактеристике које су у основи случајног карактера могу бити приказане уз помоћ теорије случајних величина или пак теорије поља случајних величина, које ће, такође, бити приказане у тези. С обзиром да се дисертација бави новим материјалним моделима, кандидат ће посебан фокус ставити на увођење нових варијационих формулација у стохастичком смислу и проблем дефинисаности и јединствености решења. Стохастичке партиципалне диференцијалне једначине које прате поменуте моделе су еволутивног типа па их је као такве неопходно дискретизовати у временском, просторном и стохастичком

домену. У складу са тим поменути дисертација има за циљ да опише функционалну апроксимацију одговарајућих функционала решења као и њихове предности и недостатке. Поменути апроксимација подразумева опис нових итеративних нумеричких метода којима ће део дисертације бити посвећен. У експерименталном делу биће приказани нумерички резултати у области проблема малих и великих деформација, заједно са дискусијом резултата.

## 2.10. Ментор

Кандидат је уписан на двоструке докторске студије утврђене билателарном сарадњом између Универзитета у Крагујевцу и Универзитета у Брауншвајгу (у прилогу је достављен уговор). Институт за рачунарско инжењерство Техничког Универзитета у Брауншвајгу је предложио за ментора др Hermann G. Matthies-а, редовног професора овог универзитета. Машински факултет у Крагујевцу је за ментора ове дисертације предложио др Мирослава Живковића, редовног професора на Машинском факултету у Крагујевцу.

Образложење:

- Др Hermann G. Matthies се бави се истраживањима из уже научне области Квантификација случајности и стохастички коначни елементи и има преко 140 публикованих радова у часописима и на међународним и националним конференцијама. Такође се бави развојем нумеричких метода спрегнутих мулти-физичких система, као и мулти-scale проблема, уз помоћ метода паралелизације.
- Др Мирослав Живковић се бави истраживањима из уже научне области метода коначних елемената и развојем конститутивних модела материјала. У току рада је публиковао преко 130 радова у часописима и на међународним и националним конференцијама.

У складу са претходно наведеним подацима сматрамо да кандидати испуњавају услове за место ментора ове докторске дисертације.

### **2.11. Научна област дисертације**

Предложена докторска дисертација припада ужој научној области:  
Примењена информатика и механика.

### **2.12. Научна област чланова комисије**

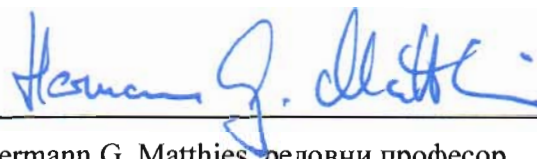
Др Hermann G. Matthies се бави истраживањем у ужој научној области Примењена информатика, док др Мирослав Живковић Примењена механика. Сви чланови комисије се баве истраживањем у области примењеног рачунарства. Др Hermann G. Matthies је редовни професор и шеф института Institut für Wissenschaftliches Rechnen на Техничком Универзитету у Braunschweig-у. Има преко 140 публикованих радова у часописима и на међународним и националним конференцијама. Др Мирослав Живковић, редовни професор на Машинском факултету у Крагујевцу има преко 130 публикованих радова у часописима и на међународним и националним конференцијама. Др Радован Славковић, редовни професор на Машинском факултету у Крагујевцу ради у ужој научној области Примењена механика и има 70 публикованих радова у часописима и на међународним и националним конференцијама. Др Сениша Месаровић, професор на School of Mechanical and Materials Engineering, Универзитет у Вашингтону се бави истраживањима у ужој области науке о материјалима. Има преко 50 публикованих радова у часописима и на међународним и националним конференцијама.

## ЗАКЉУЧАК

На основу свега изложеног комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације „**Variational Formulations and Functional Approximation Algorithms in Stochastic Plasticity of Materials**“ научно интересантна и значајна. Такође, сматрамо да кандидат дипл. инж. Бојана Росић испуњава све услове за успешан рад и реализацију наведене теме.


У Крагујевцу,

8.10.2010. год.



Др Hermann G. Matthies, редовни професор,  
TU Braunschweig, Немачка

Научна област: примењена информатика и  
математика



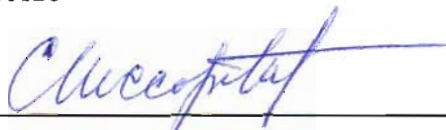
Др Мирослав Живковић, редовни професор,  
Машински факултет у Крагујевцу

Научна област: примењена механика,  
примењена информатика и рачунарско  
инжењерство



Др Радован Славковић, редовни професор,  
Машински факултет у Крагујевцу

Научна област: примењена механика,  
примењена информатика и рачунарско  
инжењерство



Др Сениша Месаровић, ванредни професор,  
Washington State University, САД

Научна област: механика, наука о  
материјалима