

Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
01-1/2327			

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Предмет: Извештај Комисије за оцену писаног дела и усмену јавну одбрану докторске дисертације кандидата Радаковић Александра, дипломираног машинског инжењера.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, број 01-1 /1632-13 од 21.05.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену писаног дела и усмену јавну одбрану докторске дисертације кандидата Радаковић Александра, дипломираног машинског инжењера под насловом:

### ПРИМЕНА СМИЦАЈНИХ ДЕФОРМАЦИОНИХ ТЕОРИЈА ВИШЕГ РЕДА У МАКРОМЕХАНИЧКОЈ АНАЛИЗИ КОМПОЗИТНИХ ЛАМИНАТА

На основу увида у приложену докторску дисертацију и Извештај комисије за оцену подобности кандидата и теме докторске дисертације, која је одобрена за израду одлуком Факултета инжењерских наука у Крагујевцу бр. 01-1/1855-5 од 19.06.2014. године, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

Докторска дисертација кандидата Александра Радаковића, дипломираног машинског инжењера, под насловом „Примена смицајних деформационих теорија вишег реда у макромеханичкој анализи композитних ламината“, представља резултат научно-истраживачког рада кандидата у актуелној научној области која се односи на анализу понашања композитних ламината. Са аспекта предмета истраживања и добијених резултата, ова дисертација представља јединствен научни рад.

Кандидат је извршио критичку анализу и систематизацију постојећих знања, искустава и научних резултата компетентних истраживача из области истраживања ове докторске дисертације. На основу спроведене анализе предности и недостатака до сада коришћених приступа у овој области, метода и модела, кандидат је дефинисао предмет и циљ сопствених истраживања.

Значај и допринос ове дисертације огледају се у чињеници да је кандидат извршио компаративну анализу смицајних деформационих теорија вишег реда у проблемима статичке и динамичке анализе композитних ламината. Детаљно је проучена употреба више типова деформационих теорија вишег реда. Систематски су

употребљене различите деформационе теорије засноване на функцијама облика, кроз њихову компаративну анализу и показана је могућност и сврха њихове употребе. Затим су употребљене деформационе теорије другог и трећег реда засноване на полиномним функцијама за статичке проблеме извијања и савијања, као и динамичке проблеме слободних вибрација и пропагације таласа. Такође је креиран софтвер који прати ову проблематику.

## **2. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области**

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Александра Радаковића, дипломираног машинског инжењера, под насловом „**Примена смицајних деформационих теорија вишег реда у макромеханичкој анализи композитних ламината**“, представља резултат оригиналног научног рада. Обрађена тема је веома актуелна и значајна за развој науке у области композитних ламината. Кандидат је тему обрадио студиозно и детаљно, користећи при томе теоријске основе научних дисциплина релеватних за ову проблематику. Извршио је критичку анализу бројних научних радова из области истраживања, од чега је велики број новијег датума.

Оригиналност научног рада, истраживања и резултата остварених у оквиру дисертације огледа се, између осталог, у следећим елементима:

- Развијена методологија проучавања ламината са слојевима анизотропних карактеристика уз примену деформационих теорија вишег реда. За сваку од теорија развијене су статичке једначине равнотеже и динамичке једначине кретања коришћењем симболичког модула програмирања у Матлабу.
- Кандидат је препознао потребу за компаративном анализом постојећих теорија заснованих на функцијама облика и критички описао могућност употребе сваке од ових теорија. Показао је да све функције облика нису генерално примењљиве на све типове проблема и издвојио функције облика које су најлакше за интеграцију и дају најбоље резултате.
- Кандидат је препознао потребу за креирањем софтвера који би у многоструко олакшао теоријска извођења и помогао у развоју нових теоријских модела. Математички захтевне поступке примене варијационог рачуна олакшане су употребом креираног софтвера. Такође је остављен простор за доста једноставан развој нових теоријских модела.
- Кандидат је методички употребио различите деформационе теорије и кроз концизан приказ описао више типова ових теорија, кроз различите типове проблема. Проширио је поље примене теорија трећег реда у анализи умрежених ламината.
- Кандидат је развио и модул за добијање аналитичких решења употребом смицајних деформационих теорија вишег реда. Верификацију резултата је остварио поређењем са реферетним резултатима из литературе.
- Кандидат је приказао теоријски развој методе коначних елемената, која је заснована на смицајној деформационој теорији првог реда, а која је саставни део комерцијалног софтвера за анализу конструкција Настран. Овај софтвер је употребљен за верификацију аналитичких резултата добијених у креираном софтверу.

- Кандидат је препознао потребу за теоријским развојем проблема пропагације таласа за потпуно анизотропну групу материјала применом 3D еластичне теорије, а затим и показао како се могу употребити деформационе теорије вишег реда у проблемима пропагације Ламбових таласа. Верификација поступка је извршена поређењем са резултатима датим у реферетним радовима.
- Кандидат је изршио и анализу пропагације таласа у влакнима ојачаним материјалима, чија је конститутивна матрица дефинисана преко материјалних константи и јасно дефинисао преклапања модова и појаву квазимодова код ове групе материјала.

### 3. Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

Александар Радаковић рођен је 11. маја 1982. године у Крагујевцу, Република Србија, где и сада живи са супругом Гораном и сином Вуком. Основну школу „Драгиша Михајловић” у Крагујевцу завршио је школске 1995/96. године као носилац дипломе „Вук Караџић”, а Прву крагујевачку гимназију, **смер специјално математички**, школске 2000/01. године са одличним успехом.

Машински факултет у Крагујевцу уписао је школске 2001/02. године и дипломирао 2007. године са просечном оценом 9,06. У току студија био је стипендиста фонда Академик Драгослав Срејовић, награђиван је сваке године за високу просечну оцену и освајао награде из предмета Механика на такмичењима под заједничким називом Машинијада.

Докторске студије уписао је школске 2007/2008. године, након завршених основних студија. На основу одлуке број 01-1/3238-10 из 2013. године пребачен је на нови акредитован план докторских студија и положио све испите са просечном оценом 10.00.

У звање сарадника у настави изабран је 2008. године на Машинском факултету у Крагујевцу за предмете под заједничким називом Механика, и као сарадник радио и 2009. године. У исто звање на Државном универзитету у Новом Пазару, на Департману за техничке науке, изабран је 2009. године, а у звање асистента изабран је 2010. године.

У звању асистента, на Државном универзитету у Новом Пазару, претходном изборном периоду изводио је вежбе из предмета Техничка механика 1, Техничка механика 2 и Математика 1, 2 и 3, на студијској групи за грађевинарство и Техничка механика и Математика основни курс, на студијској групи за архитектуру. Такође је учествовао у свим другим облицима наставе: колоквијуми, испити и др.

Кандидат је учествовао у реализацији 4 научноистраживачка пројекта:

1. „Развој софтверских решења у интернет окружењу за интегрисани развој производа и процеса“, Министарство науке, ТР-6218,
2. „Онтолошко моделирање у биоинжињерингу“ Министарство науке, ТР-12002,
3. „Примена композита и ламината”, Министарство науке, ТР-23042,
4. „Нове информационе технологије за аналитичко одлучивање базиране на организацији експеримента и њихова примена у биолошким, економским и социолошким системима“, МНТР Србије ИИИ4400,

Кандидат је објавио **21** рад у научно-стручним часописима као и на међународним и домаћим научно-стручним скуповима.

**Радови објављени у врхунским међународним часописима (M21-SCI):**

1. Ljiljana Veljović, **Aleksandar Radaković**, Dragan Milosavljević, Gordana Bogdanović, *Rigid body coupled rotation around no intersecting axes*, International Journal of Non-Linear Mechanics, vol. 73 , Pages 100-107, ISSN 0020-7462, 2015.
2. Dragan Milosavljevic, Gordana Bogdanovic, Ljiljana Veljovic, **Aleksandar Radakovic**, Mirjana Lazić, *Wave propagation in layer with two preferred directions*, International Journal of Non-Linear Mechanics, vol. 73, Pages 94-99, ISSN 0020-7462, 2015.

**Радови објављени у међународним часописима (M23-SCI):**

3. Milosavljević D. I., Bogdanović G. M., Veljović Lj. V., **Radaković A. B.**, Lazić M. M., *Failure Criteria of Fibre Reinforced Composites in Homogenous Temperature Field*, Thermal Science, vol. 14, br., str. S285-S297, ISSN 0354-9836, 2010.

**Радови у часописима међународног значаја верификованог посебном одлуком (M24)**

4. Lj. Veljović D. Milosavljević, G. Bogdanović, A. Radaković , *Modeling and Analysis for the Vibration of a Gyro-Rotor*, Annals of Faculty, Engineering Hunedoara-International Journal of Engineering, Tome XII, Fascicule 1 Faculty of Engineering Hunedoarapp, pp. 167-170, ISSN 1584-2665, 2014.

**Радови објављени у часописима од националног значаја (M52):**

5. Nikolić V., Djekić D., Radaković A., Pučić Dž., *Numerical Methods for Solving the Dynamic Behavior of Real Systems*, Scientific Publications of the State University of Novi Pazar, Series A: Applied Mathematics, Informatics & Mechanics, vol. 6 No 1, ISSN 2217-5539, 2014.
6. Bogdanović G., Milosavljević D., Veljović Lj., Radaković A., Lazić M., *Composite Materials in Automotive Engineering – Mechanical Behavior of Anisotropic Media*, Mobility and Vehicle Mechanics, vol. 39, br. 1, str. 39-49, 2013;
7. Veljović Lj., Milosavljević D., Bogdanović G., Radaković A., Lazić M., *Nonlinear Dynamics of Heavy Gyro Rotors*, Mobility and Vehicle Mechanics, vol. 38, br. 3, str. 27-40, 2012;

**Радови на међународним скуповима штампани у целости (M33):**

8. G. Bogdanović , Lj. Veljović , D. Milosavljević, A. Radaković, D. Taranović , *The Mechanical Behaviour of Materials in Automotive Engineering Reinforced by Strong Fibres*, Sustainable Development of Automotive Industry - International Congress Motor Vehicles & Motors, Kragujevac 2014, Proceedings Faculty of Mechanical Engineering, University of Kragujevac, Serbia pp. 440-445 ISBN 978-86-6335-010-6, 2014.
9. Ljiljana Veljović V. Nikolić-Stanojević, D. Milosavljević, G. Bogdanović, A. Radaković, *A Model of Planetary Gear Transmission*, Sustainable Development of Automotive Industry - International Congress Motor Vehicles

- & Motors, Kragujevac 2014, Proceedings Faculty of Mechanical Engineering, University of Kragujevac, Serbia pp. 433-440, ISBN 978-86-6335-010-6, 2014.
10. D. Milosavljević, Lj. Veljović, G. Bogdanović, A. Radaković, *Dispersion Relation for Symmetric Deformation in Elastic Plates Reinforced by One Family of Strong Fibres*, 1st International Symposium on Machines, Mechanics and Mechatronics - Current Trends, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade pp. 21-22 ISBN 978-86-7083-830-7 2014.
  11. Bogdanović G., Milosavljević D., Veljović Lj., Radaković A., *Composite Materials – Mechanical Behavior of Anisotropic Media*, Proceedings of papers 11<sup>th</sup> International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology DEMI 2013, pp. 111-114;
  12. Veljović Lj., Milosavljević D., Bogdanović G., Radaković A., *Modeling and Analysis for the Vibration of a Gyro-rotor*, Proceedings of papers 11<sup>th</sup> International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology DEMI 2013, pp. 149-153;
  13. Radaković A., Milosavljević D., Bogdanović G., Veljović Lj., Aleksandrović S., *Second-Order Failure Criteria in Laminate Including the Effect of Shear Stress*, Proceedings of papers 11<sup>th</sup> International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology DEMI 2013, pp. 149-153;
  14. Radaković A., Milosavljević D., Bogdanović G., Veljović Lj., *Failure Analysis of a Composite Laminate Modeled Using the Higher Order Deformation Theory*, Proceedings of papers 4<sup>th</sup> International Congress of Serbian Society of Mechanics, June 4-7, 2013, Vrnjačka Banja, pp. 523-528, ISBN 978-86-909973-5-0;
  15. Milosavljević D., Bogdanović G., Veljović Lj., Radaković A., *Bulk Waves in Fibre Reinforced Materials*, Proceedings of papers 4<sup>th</sup> International Congress of Serbian Society of Mechanics, June 4-7, 2013, Vrnjačka Banja, pp. 921-926, ISBN 978-86-909973-5-0;
  16. Bogdanović G., Milosavljević D., Veljović Lj., Radaković A., *Wave Propagation in Orthotropic Materials*, Proceedings of papers 4<sup>th</sup> International Congress of Serbian Society of Mechanics, June 4-7, 2013, Vrnjačka Banja, pp. 927-932, ISBN 978-86-909973-5-0;
  17. Veljović Lj., Milosavljević D., Bogdanović G., Radaković A., *About Rigid Body Oscillations around Two Inclined Axes without Intersection*, Proceedings of papers 4<sup>th</sup> International Congress of Serbian Society of Mechanics, June 4-7, 2013, Vrnjačka Banja, pp. 933-936, ISBN 978-86-909973-5-0.

**Радови на међународним скуповима штампани у изводу (M34):**

18. Radaković A., Čukanović D., Milosavljević D., Bogdanović G., Veljović Lj., *Propagation of Bulk Waves in a Transversal Isotropic Medium*, The Eleventh Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering, Book of Abstracts, Belgrade, December 2012, p. 66, Materials Research Society of Serbia, Serbian Academy of Sciences and Arts, 2012, ISBN: 978-86-7306-122-1.

#### Радови на домаћим скуповима штампани у целости (M63):

19. Čukanović D., Radaković A., Živković M., *Ispitivanje delaminacije laminatnih kompozitnih materijala primenom numeričkih metoda*, YUINFO 2010, ISBN 978-86-85525-05-6, 03-06. mart, Kopaonik, Serbia, 2010.

#### Радови на домаћим скуповима штампани у изводу (M64):

20. Radaković A., Čukanović D., Milosavljević D., *Otkazi kod jednodirekcionih kompozitnih materijala*, YUINFO 2009, ISBN 978-86-85525-04-9, 08-11. Mart, Kopaonik, Serbia, 2009;
21. Radaković A., *Kriterijumi otkaza drugog reda u laminatnim stukturama*, Srpska akademija nauka i umetnosti, VII konferencija mladih istraživača, decembar 2008.

#### 4. Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Докторска дисертација кандидата Радаковић Александра, дипломираног машинског инжењера под називом „Примена смицајних деформационих теорија вишег реда у макромеханичкој анализи композитних ламината“, одговара по обиму и садржају прихваћеној теми од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука и стручног већа Универзитета у Крагујевцу. По квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове за израду докторских дисертација.

Резултати истраживања су у писаном делу докторске дисертације изложени на укупно 234 стране. Дисертација садржи 59 слика, 25 табела и један прилог. Излагање је сврстано у 9 поглавља којима претходе садржај, резиме рада на српском и енглеском језику, списак слика, списак табела и увод, уз један додаток на крају дисертације. Наслови поглавља су:

1. Основни појмови теорије еластичности
2. Теорије ламинатних плоча са посебним освртом на смицајне деформационе теорије вишег реда
3. Примена различитих деформационих теорија у макромеханичкој анализи композитних ламината
4. Примена варијационих метода у статичкој и динамичкој анализи композитних ламината
5. Математичке методе за решавање проблема статичке и динамичке анализе композитног ламината
6. Примена метода коначних елемената у анализи композитних ламината
7. Еластични таласи као вид динамичког оптерећења
8. Имплементација развијених теорија у програмски пакет Матлаб. Креирање софтвера
9. Закључна разматрања  
Литература  
Додатак

У уводном делу дати су основни појмови о композитним ламинатима као и преглед досадашњих истраживања у области примене смицајних деформационих

теорија у статичкој и динамичкој анализи композитних ламината. Такође је дат опис сваког од поглавља дисертације.

У првом поглављу дати су основни појмови теорије еластичности, са посебним акцентом на физичке величине неопходне за детаљно сагледавање макромеханичке анализе композитних ламината. Како ламинат представља скуп више слојева који могу имати различите класе симетрије у односу на усвојени глобални координатни систем, дата је и подела ламината према класама симетрије, са освртом на анизотропне групе материјала са моноклиничком и ортотропном класом симетрије. У оквиру овог поглавља такође су дефинисани елементи конститутивне матрице са два различита аспекта. Први аспект подразумева дефинисање елемената конститутивне матрице преко инжењерских константи. Други аспект изражавања елемената конститутивне матрице се заснива на увођењу материјалних константи дефинисаних преко поља привилегованих праваца. На тај начин су створени предуслови за ефикасну имплементацију смицајних деформационих теорија вишег реда.

У другом поглављу дата је подела ламинатних плоча у облику најопштије применљиве класификације. Поменути су два основна принципа помоћу којих је могуће вршити макромеханичку анализу композитних ламината. Како основу принципа анализе ламинатних плоча на основу континуалности деформација чине ламинатне теорије, овде је дат приказ ламинатних теорија почев од најелементарније класичне теорије плоча, преко смицајне деформационе теорије првог реда, до теорија вишег реда. Извршена је кратка подела теорија вишег реда у зависности од степена полинома који се појављује у претпостављеним облицима померања. У делу који описује деформационе теорије засноване на функцијама облика дат је приказ петнаест функција облика са циљем касније анализе њихове примене у макромеханичким проблемима. Такође је дат и кратак преглед аутора који су користили сваку од поменутих теорија понаособ.

У трећем поглављу је, на основу претходно усвојених деформационих теорија, вршена макромеханичка анализа напона и деформација. За различите деформационе теорије разматране су матрице које се јављају као резултат слагања слојева. Приказани су одговарајући типови матрица, као што су матрица екстензионе крутости, матрица савојне крутости, матрице спрезања и тако даље. Приказана је јасна разлика у типовима ових матрица, а у оквиру Матлаб програмског језика, у домену симболичког програмирања, написани су подпрограми који на основу претпостављених облика поља померања дефинишу тип матрице. Посматране су компоненте резултирајућих оптерећења по јединици ширине чији број зависи од типа деформационе теорије. Дефинисање резултујућих оптерећења по јединици површине има пресудну улогу при креирању статичких једначина равнотеже и динамичких једначина кретања заснованих на варијационим принципима. У оквиру поменутог софтвера је омогућено одређивање поменутих компоненти оптерећења у симболичком облику у програмском пакету Матлаб.

У четвртом поглављу дефинисана је употреба варијационих метода у проблемима макромеханичке анализе композитних ламината. Дефинисани су основни варијациони принципи који се користе за формирање једначина статичке и динамичке равнотеже ламината. Дат је детаљан опис употребе принципа виртуелних померања и виртуелног рада. Даље су описани поступци принципа минималне укупне потенцијалне енергије и Хамилтоновог принципа, као основе статичке и динамичке анализе. За тако дефинисане поступке, поља померања уведена деформационим теоријама, дата у поглављу 2, и њихову макромеханичку везу, дату у поглављу 3, у оквиру симболичког дела софтвера написаног у Матлабу, одређени су општи облици



једначина равнотеже и једначина кретања. Ове једначине су дате за сваку од поменутих деформационих теорија из поглавља 2, са детаљним извођењем.

У петом поглављу описан је поступак примене математичких метода у добијању аналитичких решења у статичким проблемима извијања и савијања, као и у динамичким проблемима слободних вибрација. За изабране деформационе теорије вишег реда дат је комплетан математички поступак решавања парцијалних диференцијалних једначина аналитичким путем. Акцент је стављен на употребу HSDT теорија заснованих на функцијама облика, кроз вид компаративне анализе. Табеларно су приказане упоредне вредности резултата добијених коришћењем свих функција облика детаљно описаних у поглављу 2. Вршено је поређење са резултатима датим у референтној литератури из ове области. Приказана је сврха употребе ових теорија код дебелих и умерено дебелих ламинатних плоча. Такође је показан утицај класе симетрије ламината на поступак добијања решења. Примарно су разматране слободно ослоњене ламинатне плоче и то у облицима симетричних и антисиметричних укрштених ламината, као и антисиметричних умрежених ламината.

У шестом поглављу описана је нумеричка метода коначних елемената која се користи у проблемима макромеханичке анализе. Дати су основни појмови ове методе и описан је коначни елемент ламинат. Моделирана је квадратна плоча подвргнута оптерећењу синусног облика у циљу компаративне анализе са теоријама вишег реда.

У седмом поглављу анализирана је пропација еластичних таласа у композитним ламинатима, са посебним освртом на Ламбове таласе. Проблеми пропације су решавани применом 3D еластичне теорије, као и деформационим теоријама вишег реда. Приказан је детаљан поступак примене 3D еластичне теорије за добијање дисперзионих релација у потпуно анизотропном слоју са триклиничким типом симетрије. Такође је приказан поступак раздвајања на симетрични и антисиметрични таласни мод код материјала са моноклиничким типом симетрије. Дате су једначине дисперзионих релација за оба поменута таласна мода. Други део овог поглавља описује примену смицајне деформационе теорије другог реда, као апроксимативних теорија, за добијање дијаграма фазних брзина и дисперзионих релација. Разматрани су ламинати чије су конститутивне матрице дефинисане преко инжењерских константи, као и ламинати са конститутивним матрицама дефинисаним преко поља привилегованих праваца. За сваки од ових материјала описана је појава квазимодова који настају као резултат слагања слојева.

У осмом поглављу дат је кратак визуелни приказ креираног софтвера у Матлабу, за проблеме симболичке и нумеричке анализе композитних ламината употребом смицајних деформационих теорија вишег реда. Такође је описана веза са проблемима пропације таласа развијеним од стране других аутора који се баве овом проблематиком на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу.

У додатку су дати Матлаб кодови изабраних функција, које су саставни делови креираног софтвера. Због обимности су дати само репрезентативни кодови.

На крају дисертације дат је преглед библиографских података коришћених у овом раду.

## 5. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат **Радаковић Александар**, дипломирани машински инжењер, је у оквиру дисертације извршио систематизацију постојећих знања и искустава у примени



смицајних деформационих теорија вишег реда у макромеханичкој анализи композитног ламината. У оквиру рада на дисертацији кандидат је дошао до резултата и закључака који имају своје место у научно теоријском смислу. Најважнији резултати ове дисертације су:

- Кроз истраживања у оквиру ове дисертациј успостављена је комплетна прорачунска процедура за поуздано одређивање значајних величина код делова израђених од композитних ламината.
- Истраживања у овој дисертацији пружају подлогу за дефинисање нових или допуну и потврђивање већ постојећих законитости и утицајних фактора на расподелу смицајних напона код делова израђених од анизотропних материјала.
- Упоредно су посматрана два теоријска приступа дефинисања конститутивне матрице ламината. Теоријски приступ преко инжењерских константи и теоријски приступ преко материјалних константи зависних од привилегованих праваца.
- Урађена је детаљна компаративна анализа шеснаест функција облика дефинисаних у литератури. Приказане су предности и мане употребе свих функција облика на различите типове проблема, и показано је да постоје такве функције облика које су генерално примењиве.
- Креиран је софтвер са два модула. Модулом за симболичко програмирање знатно су олакшана теоријска извођења у смислу одређивања типова матрица спрезања, извођења једначина равнотеже и кретања за теорије са великим бројем независно променљивих уведених претпостављеним облицима померања итд. Модулом за добијање аналитичких решења, успостављен је поступак наизменичног комбиновања симболичких и бројних вредности са циљем добијања резултата.
- Описан је поступак за креирање коначног елемента ламината, чиме се отвара простор за одабир и развој коначног елемента ове групе материјала уз помоћ кога ће се добијати најбоља решења и који ће бити применљив и на умерено дебеле и дебеле ламинатне плоче.
- Применом 3D еластичне теорије је теоријски обрађен проблем пропагације еластичних таласа у ламинату састављеном од потпуно анизотропних слојева. Даље је примењена деформациона теорија другог реда и добијене су дисперзионе релације, као и дијаграми фазних брзина у поларном координатном систему. Јасно је показана појава квазимодова који настају као резултат спрезања више модова, а узрокује их хетерогеност самог ламината. Визуелно су приказана места преласка из једног у други мод и јасно су означена места на којима се појављују максималне, односно минималне вредности фазних брзина. На потпуно оригиналан начин је представљена употреба смицајних деформационих теорија вишег реда у проблемима пропагације таласа кроз материјале ојачане двама фамилијама јакних влакана.

## **6. Примењивост и корисност резултата у теорији и пракси**

Резултати докторске дисертације кандидата **Радаковић Александра**, дипломираног машинског инжењера, под називом „**Примена смицајних**

**деформационих теорија вишег реда у макромеханичкој анализи композитних ламината**“, примењиви су у теоријском развоју макромеханике композитних ламината.

Сви проблеми разматрани у оквиру ове дисертације су од изузетног значаја при пројектовању нових и анализи постојећих теорија макромеханике композитних ламината. С обзиром на све чешћу употребу композитних ламината са циљем да се, где год је то могуће, конвенционални материјали замене новим материјалима који ће имати жељене механичке карактеристике а мању тежину, унапређење теоријских поставки ових материјала може у многоме утицати на проширење поља употребе ламината. Тако, на пример, вишеслојни композитни материјали - ламинати се све више употребљавају у авио индустрији, машинству, грађевинарству, аутомобилској индустрији итд.

Сазнања везана за пропагацију таласа кроз ламинате, могу помоћи и у сеизмичким проблемима јер сама земљина кора има слојевиту структуру налик ламинатној.

## **7. Начин презентовања резултата научној јавности**

Део резултата произашлих из ове дисертације је презентован објављивањем радова у међународним научним часописима као и на међународним научним конференцијама.

Практични аспекти реализованог научно-истраживачког рада представљени су домаћој и стручној јавности и кроз реализацију два пројекта Министарства просвете, науке, технолошког развоја Републике Србије „Примена композита и ламината”, Министарство науке, ТР-23042, „Нове информационе технологије за аналитичко одлучивање базиране на организацији експеримента и њихова примена у биолошким, економским и социолошким системима“, МНТР Србије ИИИ4400.

Комисија сматра да истраживања и резултати докторске дисертације пружају обиман и користан материјал за даље публикавање у високо ранжираним међународним часописима и научним скуповима, који се баве проблемима статичке и динамичке макромеханичке анализе композитних ламината.

На основу свега изложеног, комисија доноси следећи:

## **ЗАКЉУЧАК**

Докторска дисертација кандидата Радаковић Александра, дипломираног машинског инжењера, у потпуности, како по обиму тако и по квалитету, одговара одобреној теми дисертације, одлуком бр. 01-1/1855-5 од 19.06.2014. године од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу.

Кандидат је у приказу истраживања користио уобичајену и стандардизовану терминологију, а структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу са универзитетским нормама.

У току израде докторске дисертације, кандидат Радаковић Александар је дошао до оригиналних научних резултата, приказаних у дисертацији, која представља значајан допринос области развоја композитних ламината, приступом заснованим на континуалности деформација. Део резултата је публикован у више радова у међународним часописима и на међународним конференцијама.

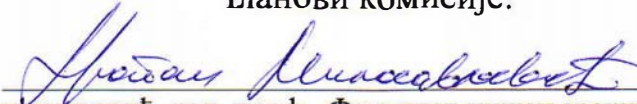
Кандидат је показао да влада методологијом научно-истраживачког рада и поседује способност систематског приступа и коришћења литературе. При томе је користећи своје професионално образовање и лично искуство показао способност да сложеној проблематици приступи свеобухватно, у циљу дефинисања суштинских закључака и добијању конкретних и примењивих резултата.

На основу свега наведеног, Комисија за оцену писаног дела и усмену јавну одбрану докторске дисертације кандидата **Радаковић Александра, дипломираног машинског инжењера**, једногласно је закључила да докторска дисертација, под насловом

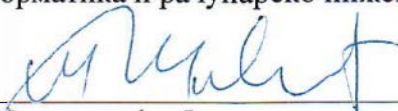
## **ПРИМЕНА СМИЦАЈНИХ ДЕФОРМАЦИОНИХ ТЕОРИЈА ВИШЕГ РЕДА У МАКРОМЕХАНИЧКОЈ АНАЛИЗИ КОМПОЗИТНИХ ЛАМИНАТА**

по квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске критеријуме за израду докторске дисертације. Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, да на основу овог Извештаја, докторску дисертацију прихвати као успешну и да кандидата позове на јавну, усмену одбрану.

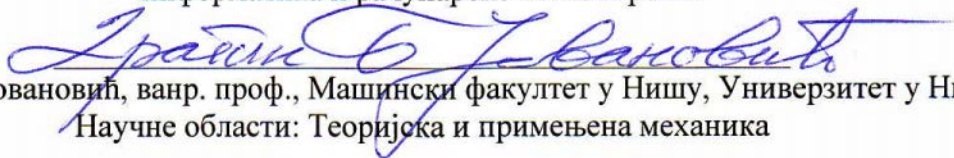
Чланови комисије:



Др Драган Милосављевић, ред. проф., Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Универзитет у Крагујевцу. Научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство



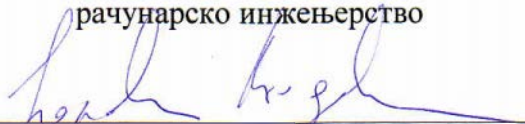
Др Мирослав Живковић, ред. проф., Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Универзитет у Крагујевцу. Научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство



Др Драган Јовановић, ванр. проф., Машински факултет у Нишу, Универзитет у Нишу. Научне области: Теоријска и примењена механика



Др Љиљана Вељовић, доцент, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Универзитет у Крагујевцу. Научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство



Др Гордана Богдановић, доцент, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Универзитет у Крагујевцу. Научне области: Примењена механика, Примењена информатика и рачунарско инжењерство

У Крагујевцу и Нишу,

24.06.2015. године