

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

### ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

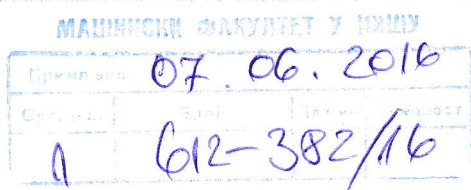
Презиме, име једног родитеља и име	Данило Зоран Карличић
Датум и место рођења	31.10.1986. године, Ниш
<b>Основне студије</b>	
Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Машински факултет у Нишу
Студијски програм	Машинско инжењерство
Звање	Дипломирани инжењер машинства (десет семестара)
Година уписа	2005. год.
Година завршетка	2010. год.
Просечна оцена	9.00 (девет)
<b>Магистарске студије, магистарске студије</b>	
Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Машински факултет у Нишу
Студијски програм	Машинско инжењерство
Звање	Дипломирани инжењер машинства (десет семестра)
Година уписа	2005. год.
Година завршетка	2010. год.
Просечна оцена	9.00 (девет)
Научна област	Мехатроника и управљање
Наслов завршног рада	Моделирање динамике машинских система
<b>Докторске студије</b>	
Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Машински факултет у Нишу
Студијски програм	Машинско инжењерство
Година уписа	2010
Остварен број ЕСПБ бодова	150
Просечна оцена	10

### НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов теме докторске дисертације	Примена нелокалне теорије континуума у анализи динамичког понашања и стабилности система спрегнутих нано-структура
Име и презиме ментора, звање	Предраг Козић, редовни професор
Број и датум добијања сагласности за тему докторске дисертације	НСВ број 8/20-01-008/15-023 , У Нишу, 16. 09. 2015. године

### ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Број страна	180
Број поглавља	7
Број слика (шема, графикона)	49
Број табела	16
Број прилога	0



**ПРИКАЗ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КАНДИДАТА  
који садрже резултате истраживања у оквиру докторске дисертације**

Р. бр.	Аутор-и, наслов, часопис, година, број волумена, странице	Категорија
1.	<p><b>Karličić, D.,</b> Kozić, P., &amp; Pavlović, R. (2014). Free transverse vibration of nonlocal viscoelastic orthotropic multi-nanoplate system (MNPS) embedded in a viscoelastic medium. <i>Composite Structures</i>, 115, 89-99.</p> <p>Примена нелокалне теорије виско-еластичности у анализи динамичког понашања система графенских нано-листића спрегнутих у полимерној матрици, дата је у овом раду. Графенски нано-листићи су моделирани као систем просто ослоњених Kirchhoff-ових нано-плоча које су повезане у конзолни ланац. Парцијалне диференцијалне једначине кретања система изведене су применом D'Alembert-овог принципа, а затим методом раздвајања променљивих сведена систем хомогених алгебарских једначина. Тако добијен систем једначина решен је тригонометријском методом и добијене су комплексне сопствене вредности система. Пригушене сопствене фреквенције система и односи пригушења добијени су у аналитичком облику. На основу нумеричких резултата може се уочити утицај различитих геометријских и материјалних параметара на динамичко понашање система.</p>	M21
2.	<p><b>Karličić, D.,</b> Murmu, T., Cajić, M., Kozić, P., &amp; Adhikari, S. (2014). Dynamics of multiple viscoelastic carbon nanotube based nanocomposites with axial magnetic field. <i>Journal of Applied Physics</i>, 115(23), 234303.</p> <p>На основу нелокалне теорије виско-еластичности и Maxwell-ових једначина изведен је систем парцијалних диференцијалних једначина који описује осциловање система спрегнутих угљеничних нано-цеви са виско-еластичним својствима, под дејством лонгитудиналног магнетног поља. Решавањем тако добијеног система парцијалних једначина, добијају се аналитичке релације за пригушене сопствене фреквенције система као и односи пригушења. На крају рада дати су нумерички примери који приказују утицај лонгитудиналног магнетног поља и материјалних параметара виско-еластичног система на пригушене сопствене фреквенције и односе пригушења система.</p>	M21
3.	<p><b>Karličić, D.,</b> Adhikari, S., Murmu, T., &amp; Cajić, M. (2014). Exact closed-form solution for non-local vibration and biaxial buckling of bonded multi-nanoplate system. <i>Composites Part B: Engineering</i>, 66, 328-339.</p> <p>У овом раду, разматране су осцилације и стабилност система еластично повезаних нано-плоча, на основу Eringen-ове нелокалне теорије еластичности. Препостављено је да су нано-плоче просто-ослоњене и да су међусобно повезане еластичним слојевима једнаких крутости. Изведени су аналитички изрази за сопствене фреквенције и критичну силу извијања система, као и асимптотске вредности за сопствене фреквенције и критичну силу извијања коришћењем тригонометријске методе. Анализиран је утицај крутости еластичног слоја као и броја нано-плоча на динамичко понашање система.</p>	M21
4.	<p><b>Karličić, D.,</b> Cajić, M., Murmu, T., &amp; Adhikari, S. (2015). Nonlocal longitudinal vibration of viscoelastic coupled double-nanorod systems. <i>European Journal of Mechanics-A/Solids</i>, 49, 183-196.</p> <p>Анализа слободних лонгитудиналних осцилација система од два спрегнута виско-еластична нано-штапа, приказана је у овом раду. Изведена је парцијалне диференцијалне једначине кретања система применом D'Alembert-овог принципа. Након тога, систем парцијалних диференцијалних једначина је решен применом Bernoulli-Fourier-ове методе раздвајања променљивих, одакле су добијене сопствене фреквенције и однос пригушења система. Такође приказан је утицај параметра нелокалности и пригушења на слободне лонгитудиналне осцилације система.</p>	M21
5.	<p><b>Karličić, D.,</b> Cajić, M., Murmu, T., Kozić, P., &amp; Adhikari, S. (2015). Nonlocal effects on the longitudinal vibration of a complex multi-nanorod system subjected to the transverse magnetic field. <i>Meccanica</i>, 50(6), 1605-1621.</p> <p>Утицај параметара нелокалности и трансверзалног магнетног поља на лонгитудиналне осцилације система еластично повезаних нано-штапова је анализиран у овом раду. Применом нелокалне теорије еластичности, Maxwell-ових релација и D'Alembert-овог принципа изведен је систем парцијалних диференцијалних једначина које описују кретање система. Коришћењем тригонометријске методе добијени су аналитички изрази за сопствене фреквенције система као и асимптотске вредности сопствених фреквенција система. На крају рада су дати нумерички примери који показују утицај различитих геометријских и материјалних параметара на динамику система.</p>	M21
6.	<p>Kozić, P., Pavlović, R., &amp; <b>Karličić, D.</b> (2014). The flexural vibration and buckling of the elastically connected parallel-beams with a Kerr-type layer in between. <i>Mechanics Research Communications</i>, 56, 83-89.</p> <p>У овом раду извршена је анализа осцилаторног понашања и извијања система од две греде повезане еластичним Kerr-овим слојем. Применом другог Newton-овог закона добијене су парцијалне диференцијалне једначине кретања система греда, а затим решене применом методе раздвајања променљивих. Сопствене фреквенције система и критична сила извијања су добијене у аналитичком облику. Такође, дати су нумерички примери који приказују утицај различитих геометријских и материјалних карактеристика система на сопствене фреквенције и критичну силу извијања система.</p>	M22
7.	<p><b>Karličić, D.,</b> Jovanović, D., Kozić, P., &amp; Cajić, M. (2015). Thermal and magnetic effects on the vibration of a cracked nanobeam embedded in an elastic medium. <i>Journal of Mechanics of Materials and Structures</i>, 10(1), 43-62.</p> <p>У датом раду, разматране су трансверзалне осцилације једне угљеничне нано-цеви са оштећењем уметнуте у еластични медијум под дејством спољашњег магнетног поља и промене температуре. Механички модел угљеничне нано-цеви са оштећењем је представљен у облику нано-греде сачињене од два сегмента повезана торзионом опругом. Парцијалне диференцијалне једначине изведене су на основу другог Newton-овог закона и нелокалне теорије еластичности. Разматрана су два типа граничних услова нано-греде, са просто-ослоњеним и обострано уклештеним крајевима. Сопствене фреквенције система су добијене нумеричким путем, за оба типа граничних услова. На крају рада, дато је неколико нумеричких примера, где је показан утицај параметра нелокалности, промене температуре, спољашњег магнетног поља и броја модова на динамичко понашање система.</p>	M23
8.	<p><b>Karličić, D.,</b> Kozić, P., &amp; Pavlović, R. (2015). Flexural vibration and buckling analysis of single-walled carbon nanotubes using different gradient elasticity theories based on Reddy and Huu-Tai formulations. <i>Journal of Theoretical and Applied Mechanics</i>, 53.</p> <p>Анализа трансверзалних осцилација и стабилности угљеничне нано-цеви моделиране применом Reddy-јеве и Huu-Thai-јеве теорије греде за различите градијентне теорије еластичности, приказана је у овом раду. На основу Hamilton-овог принципа изведене су парцијалне диференцијалне једначине кретања нано-цеви за обе теорије греде са одговарајућим граничним условима. Сопствене фреквенције и критична сила извијања добијене су у аналитичком</p>	M23

	облику. Датаје упоредна анализаса резултатима добијеним коришћењем молекуларно динамичких симулација. У нумеричким примерима је показан утицај нелокалног параметра и односа дужине и ширине греде на сопствене фреквенције и силе извијања нано-цеви.	
9.	<b>Karličić, D.,</b> Kozić, P., Murmu, T., & Adhikari, S. (2015). Vibration insight of a nonlocal viscoelastic coupled multi-nanorod system. <i>European Journal of Mechanics-A/Solids</i> , 54, 132-145. Применом нелокалне теорије виско-еластичности анализирани су слободне осцилације система више спрегнутих нано-штапова који су међусобно повезани виско-еластичним слојевима. На основу принципа динамичке равнотеже, изведене су парцијалне диференцијалне једначине кретања, а затим решене применом методе раздвајања променљивих. Треба истаћи, да су добијене вредности за пригушене фреквенције и односа пригушења у аналитичкој форми. Извршена је асимптотска анализа, када број нано-штапова и број модова тежи бесконачности. На крају рада приказан је утицај различитих физичких параметара на динамику система.	M21
10.	<b>Karličić, D.,</b> Kozić, P., & Pavlović, R. (2016). Nonlocal vibration and stability of a multiple-nanobeam system coupled by the Winkler elastic medium. <i>Applied Mathematical Modelling</i> , 40(2), 1599-1614. У овом раду истражене су слободне осцилације и стабилност система еластично повезаних нано-греда применом нелокалне теорије еластичности. На основу принципа динамичке равнотеже изведене су основне једначине кретања система где је узет у обзир и утицај на нано-скали. Применом тригонометријске методе и методе коначних разлика одређене су вредности за сопствене фреквенције и критичну силу извијања. Такође, одређене су асимптотске вредности за сопствене фреквенције и критичну силу извијања када број нано-греда тежи бесконачном. У нумеричким примерима приказан је утицај нелокалности и крутости еластичног слоја на сопствене фреквенције и критичну силу извијања.	M21

**НАПОМЕНА:** уколико је кандидат објавио више од 3 рада, додати нове редове у овај део документа

### ИСПУЊЕНОСТ УСЛОВА ЗА ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат испуњава услове за оцену и одбрану докторске дисертације који су предвиђени Законом о високом образовању, Статутом Универзитета и Статутом Факултета.

ДА НЕ

Образложење

Кандидат је положио све испите предвиђене наставним планом и програмом докторских студија, објавио укупно 15 радова у међународним часописима са СЦИ листе, четири рада у часописима националног значаја и изложио већи број радова на међународним конференцијама. Такође, предао је радну верзију докторске дисертације одговарајуће садржине и квалитета у складу са одобреном темом докторске дисертације.

### ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кратак опис појединих делова дисертације (до 500 речи)

Докторски рад садржи седам глава чији је садржај публикован у међународним часописима са СЦИ листе. У оквиру првог поглавља дат је преглед литературе и уводна разматрања о нелокалној теорији континуума. Такође, дата је математичка формулација конститутивних релација за нелокално еластично и виско-еластично тело. Треба истаћи да се у поглављима 2 - 6 разматрају, линеарне трансверзалне и лонгитудиналне осцилације система нано-греда и нано-плоча, док је у седмој глави разматран нелинеаран случај параметарских осцилација и динамичке стабилности једне нано-греде.

У другој глави докторске дисертације изведене су основне једначине кретања лонгитудиналних и трансверзалних осцилација нано-греда и трансверзалне осцилације нано-плоча применом D'Alembert-овог принципа и нелокалне еластичне конститутивне релације. Као модел греде коришћена је Euler-Bernoulli-јева теорија док је за модел нано-плоче коришћена Kirchhoff-ова теорија. Добијени су аналитички изрази за сопствене фреквенције и критичну силу извијања методом раздвајања променљивих.

Примена виших теорија греде, као што су Reddy-јева и Huu-Thai-јева, у анализи динамичког понашања и стабилности једнозидне угљеничне нано-цеви, разматрано је у трећој глави. Применом Hamilton-овог принципа и градијентних конститутивних релација изведене су основне једначине кретања модела нано-греде са простим ослонцима. Градијентне теорије еластичности које су анализирани у овом поглављу су напонско градијентна или Eringen-ова нелокална теорија и два типа деформационо градијентних теорија еластичности. Методом раздвајања променљивих добијена су аналитичка решења за сопствене фреквенције и критичну силу извијања за оба модела нано-греде. Верификација тако добијених аналитичких резултата, урађена је поређењем са резултатима молекуларно динамичких симулација из литературе и показано је одлично слагање. Детаљном параметарском анализом утврђен је утицај различитих параметарских система на сопствене фреквенције и критичну силу извијања нано-греде.

Утицај лонгитудиналног магнетног поља и промене температуре на осцилације једнозидне нано-греде са оштећењем уметнуте у еластичну средину разматрано је у четвртој глави. Механички модел оштећене угљеничне нано-цеви састоји се од дво-сегментне нано-греде чији су сегменти повезани торзионом опругом на месту оштећења, која је уметнута у Winkler-ов еластични слој. Парцијалне диференцијалне једначине кретања дво-сегментне нано-греде добијене су применом D'Alembert-овог принципа, нелокалне термо-еластичне конститутивне релације и класичних Maxwell-ових релација. У нумеричким примерима приказан је утицај

оштећења на осцилације у прва четири мода осциловања оштећене нано-греде. Такође, анализиран је утицај крутости торзионе опруге као и нелокалног, магнетног и температурног параметра на динамику система.

У петој глави анализирано је осцилаторно понашање и стабилност еластично повезаних нано-штапова, греда и плоча применом нелокалне теорије еластичности. Анализиранасу три случаја, у првом случају су разматране лонгитудиналне осцилације система спрегнутих нано-штапова, други случај је посвећен анализи трансверзалних осцилација система спрегнутих нано-греда док се у трећем случају разматрају трансверзалне осцилације система спрегнутих нано-плоча. Системи парцијалних диференцијалних једначина су добијени применом D'Alembert-овог принципа и нелокалне еластичне конститутивне релације. Аналитичка решења за сопствене фреквенције и критичну силу извијања су добијена применом методе раздвајања променљивих и тригонометријске методе, а за случајеве када су нано-елементи спрегнути у уклештени и слободни ланац. У нумеричким примерима на крају поглавља дата је детаљна анализа утицаја нелокалног параметра, крутости еластичног слоја и броја нано елемената на сопствене фреквенције и критичну силу извијања система.

У шестој глави разматрано је динамичко понашање виско-еластичних система који су сачињени од већег броја једнаких нано-елемената, као што су виско-еластични нано-штапови, греде и плоче између којих се налазе виско-еластични слојеви. Применом D'Alembert-овог принципа и нелокалне виско-еластичне конститутивне релације изведене су основне парцијалне диференцијалне једначине кретања које узимају у обзир утицај мале скале и унутрашње пригушење. Добијена су аналитичка решења за кружне фреквенције и коефицијент пригушења система методом раздвајања променљивих и тригонометријском методом, а за случајеве када су нано-елементи спрегнути у уклештени и слободни ланац. Детаљна параметарска анализа је урађена и показан је утицај различитих параметара система на кружну фреквенцију и коефицијент пригушења система.

У последњој глави дисертације разматран је модел једнозидне угљеничне нано-цеви где је узет у обзир утицај геометријске нелинеарности и лонгитудиналног магнетног поља на слободне осцилације и динамичку стабилност, коришћењем нелокалне теорије еластичности и Rayleigh-јеве теорије греде. Потребно је напоменути да се угљенична нано-цев налази у виско-еластичном слоју Kelvin-Voigt-овог типа и да је под дејством временски променљивог аксијалног оптерећења и лонгитудиналног магнетног поља. Применом методе више временских скала добијена су апроксимативна аналитичка решења за нелинеарне фреквенције, амплитудно-фреквентне криве и области стабилности, односно нестабилности. Треба истаћи да је анализиран случај устаљеног стања (steady-state response) када је фреквенција аксијалног оптерећења два пута већа од сопствене фреквенције система. На крају поглавља дато је неколико нумеричких примера који приказују утицај лонгитудиналног магнетног поља, коефицијената виско-еластичног слоја и нелокалног параметра на динамичко понашање уметнуте угљеничне нано-цеви.

У завршном поглављу дата су закључна разматрања сваког сегмента докторске дисертације и наведени могући даљи правци истраживања у овој области.

## ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације (до 200 речи)

Постављени циљеви у пријави докторске дисертације су у потпуности остварени.

Применом аналитичких метода, добијени су резултати који имају научни и практични значај у пројектовању и анализи нано-електромеханичких система и уређаја. Такође, добијени аналитички резултати могу послужити и као почетна тачка у истраживањима динамичког понашања сложенијих нано-комполитних система заснованих на угљеничним нано-цевима и графенским листићима, који су под дејством различитих физичких поља. За све проучаване моделе спрегнутих угљеничних нано-цеви односно графенских нано-листића, добијени су одговарајући математички модели помоћу којих су разматрани утицаји различитих физичких и геометријских параметара на динамичко понашање и стабилност таквих система. Сходно томе добијени су потпуно нови аналитички изрази за сопствене природне фреквенције и критична сила извијања за еластичне системе, као и пригушена фреквенција и коефицијент пригушења за виско-еластичан систем. Такође, показан је начин за добијање асимптотских сопствених вредности система када број модова и/или број нано-штапова, греда, плоча тежи бесконачно. Треба истаћи да су добијени аналитички резултати упоређени са резултатима из литературе и показано је добро слагање. Што се тиче нелинеарних осцилаторних појава, као и динамичке стабилности усред временски променљиве аксијалне силе и спољашњег магнетног поља, показана је могућност избегавања резонантних подручја, као и промена ширине области стабилности односно нестабилности нано-структурног система.

Вредновање значаја и научног доприноса резултата дисертације (до 200 речи)

Тема истраживања предложене докторске дисертације је веома значајна и актуелна, како са свог научног значаја тако и у практичним применама као почетна тачка у пројектовању нано-структурних система и уређаја. Поднета

докторска дисертација представља оригиналан и вредан научни и стручни допринос кандидата. Научни допринос разматраног рада и објављених научно-истраживачких радова се пре свега огледа у следећем:

- Применом нелокалне теорије континуума представљени судинамички модели еластичних и виско-еластичних система више спрегнутих нано-штапова, греда и плоча који су међусобно повезани еластичним вискоеластичним слојевима.
- Применом аналитичких метода добијене су вредности сопствене фреквенције и критична сила извијања за еластичне системе као и вредности пригушене фреквенције и коефицијента пригушења за виско-еластичне системе.
- Добијене су асимптотске вредности сопствене фреквенције и критична сила извијања за еластичне системе као и вредности пригушене фреквенције и коефицијента пригушења за виско-еластичне системе када број модова или број нано-елемената тежи бесконачно.
- Представљен је и анализиран модел оштећене нано-греде која се налази под дејством лонгитудиналног магнетног поља и промене температуре на динамичко понашање система.
- Представљен је и анализиран динамички модел нано-греде са геометријском нелинеарношћу која се налази под дејством лонгитудиналног магнетног поља, где су апроксимативним методама одређене границе стабилности и нестабилности система.

Оцена самосталности научног рада кандидата (до 100 речи)

Кандидат је показао изузетно висок ниво самосталности, креативности и систематичности у истраживањима из области нелокалне механике и примене у анализи динамичког понашања и стабилности сложених нано-структура, што је резултирало објављивањем 15 научно-истраживачких радова у међународним часописима са СЦИ листе.

### ЗАКЉУЧАК (до 100 речи)

На основу изложене анализе докторске дисертације и увидом у публиковане научне радове чланови Комисије за оцену и одбрану закључују да:

- садржај поднете докторске дисертације у потпуности одговара теми прихваћеној од стране Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Нишу и Научно-стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу,
- кандидат је овладао потребним знањима из структурне динамике и нелокалне механике у примени на анализу динамичког понашања и стабилности нано-структура, потребним за израду докторске дисертације,
- кандидат је испољио потребну самосталност и инвентивност у научно-истраживачком раду,
- кандидат је дошао до оригиналних резултата који су публиковани у високорангираним међународним часописима и саопштени на конференцијама из уже научне области којој припада тема докторске дисертације,
- добијени резултати пружају могућност за даља нумеричка и теоријска истраживања у овој области,
- рад је одговарајуће конципиран, технички квалитетно урађен и омогућава прегледно праћење изложеног садржаја и добијених резултата истраживања.

На основу свега изложеног чланови Комисије константују да поднета докторска дисертација представља вредан допринос изучавању проблематике нелокалне механике и анализе динамичког понашања и стабилности нано-структура. Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Нишу да рад кандидата **Данила Карличића**, дипл. маш. инж. под називом

**“Примена нелокалне теорије континуума у анализи динамичког понашања и стабилности система спрегнутих нано-структура”**

прихвати као докторску дисертацију и кандидата позове на усмену јавну одбрану.





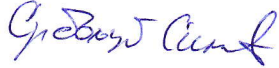
## КОМИСИЈА

Број одлуке ННВ о именовану Комисије

8/20-01-003-16-031

Датум именовања Комисије

18.04.2016.

Р. бр.	Име и презиме, звање		Потпис
	Др Предраг Козић, редовни професор	Председник, ментор	
1.	Теоријска и примењена механика (Научна област)	Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
	Др Ратко Павловић, редовни професор	члан	
2.	Теоријска и примењена механика (Научна област)	Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
	Др Драган Јовановић, ванредни професор	члан	
3.	Теоријска и примењена механика (Научна област)	Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
	Др Горан Јаневски, ванредни професор	члан	
4.	Теоријска и примењена механика (Научна област)	Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
	Др Србољуб Симић, редовни професор	члан	
5.	Механика (Научна област)	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука (Установа у којој је запослен)	

Датум и место:

6. јун 2016. год.

Ниш, Нови Сад