

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију Декан Факултета техничких наука решењем број 012-72/40-07/2 од 08.05.2014. године</p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <p>Др Ливија Цветићанин, ред. проф., уно: Механика, 10.7.1995., ФТН - Нови Сад Др Зора Коњовић, ред. проф., уно: Рачунарске науке и информатика, 20.11.2003., ФТН - Нови Сад Др Лазар Савин, ван. проф., уно: Пољопривредна техника, 15.3.2012., Пољопривредни факултет Нови Сад Др Драган Ружић, доцент, уно: Моторна возила, 31.3.2014., ФТН - Нови Сад Др Ференц Часњи, ред. проф., уно: Моторна возила, 19.11.1996., ФТН - Нови Сад</p>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Борис, Мирко, Стојић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 21.04.1972. Нови Сад, Нови Сад, Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив -</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија -</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: ФТН Нови Сад, Примена неуронских мрежа за моделирање динамичког понашања амортизера моторних возила, 14.12.2005.</p> <p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: Машинство, уно Моторна возила</p>
<b>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>
Моделирање осцилаторног понашања тракторских пнеуматика вештачким неуронским мрежама

#### **IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Докторска дисертација кандидата мр Бориса Стојића, дипл. маш. инж., под насловом „Моделирање осцилаторног понашања тракторских пнеуматика вештачким неуронским мрежама“ садржи укупно 212 страна, од тога 205 нумерисаних страница основног текста дисертације, са 108 илустрација у виду слика и дијаграма, 28 табела са нумеричким подацима и 102 цитирана литературна наслова. Испред основног дела текста, у раду су дати: наслов рада, кључна документацијска информација и садржај рада. Списак коришћене и цитиране литературе и прилог са приказом и кратком дискусијом резултата експерименталних мерења, налазе се на крају рада. Као прилози у формату рачунарских датотека дати су табеларни прорачуни, листинзи програма за обраду података и апликацију развијеног модела и графикони обуке неуронских мрежа. Докторска дисертација се састоји из следећих поглавља:

1. Увод
2. Преглед стања у релевантним областима
3. Приказ релевантних својстава пнеуматског точка
4. Примена вештачких неуронских мрежа за емпиријско моделирање
5. Опис мерног постројења
6. Утврђивање основних механичких параметара испитног пнеуматика
7. Експериментална истраживања квазистатичке енvelope кретања тракторског пнеуматика
8. Развој и апликација модела
9. Закључак
10. Литература
11. Прилози

#### **V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Наслов докторске дисертације је јасно и коректно формулисан и прецизно описује дефинисани предмет истраживања.

У уводном делу дефинисано је подручје рада и образложена мотивација и потреба за предметним истраживањем. Детаљно је изложена формулација проблема моделирања осцилаторног понашања тракторских пнеуматика и њен значај. У овом делу рада усвојени су основни принципи на основу којих је спроведено истраживање. Након тога прецизно су дефинисани циљ и садржај истраживања. Такође је дато образложење избора вештачких неуронских мрежа за моделирање нелинеарног понашања пнеуматика у смислу геометријског филтрирања стварног профила подлоге.

У другом делу, "Преглед стања у релевантним областима", кандидат даје преглед литературе и стања развоја из неколико области релевантних за подручје истраживања: геометријско-филтрирајућа својства пнеуматског точка, остали релевантни аспекти понашања тракторских пнеуматика, динамика и осцилаторне карактеристике трактора и ванпутних возила, истраживање и моделирање параметара неравних подлога и употреба вештачких неуронских мрежа за моделирање разних аспеката понашања пнеуматског точка. Прегледом литературе констатовано је да постоји мали број радова који се баве сличним истраживањима упркос томе што је у оквиру уводног дела образложена потреба за унапређењем резултата експерименталног и теоријског рада на овом подручју.

Треће и четврто поглавље, "Приказ релевантних својстава пнеуматског точка" и "Примена вештачких неуронских мрежа за емпиријско моделирање" представљају поглавља у којима су дефинисане теоријске основе истраживања. У овом делу постављене су теоријске основе за анализу резултата експерименталних истраживања, увођењем појма квазистатичке енvelope кретања пнеуматика и дефинисањем њених геометријских параметара за случај сингуларне неравнине у форми препреке правоугаоног попречног пресека. Уочен је значај наведене форме профила подлоге као специјалног случаја релевантног за праксу. Овакав профил омогућава добру упоредивост и лакшу интерпретацију резултата испитивања, при чему је такође посебно прикладан за практичну примену у лабораторијским испитивањима. Дефинисано је 6 геометријских параметара квазистатичке енvelope који су у експерименталном делу рада коришћени за анализу и међусобно поређење експерименталних резултата. Такође је дат преглед теоријских подлога за развој емпиријских модела заснованих

на вештачким неуронским мрежама са посебним освртом на специфичности теме овог истраживања. Ова поглавља показују да је кандидат изучавао и обрадио савремене литературне изворе из области које су обрађене у овој дисертацији. Увођење геометријских параметара квазистатичке енвелопе на начин утврђен у раду представља сопствени допринос унапређењу метода за анализу експерименталних резултата.

У петом поглављу, "Опис мерног постројења", дат је опис мерног постројења и дискутовани његови капацитети у погледу вршења експерименталних мерења у функцији реализације постављених циљева.

Шесто поглавље, "Утврђивање основних механичких параметара испитног пнеуматика", бави се мерењима и прорачуном основних геометријских и механичких параметара испитног пнеуматика. Резултати овог дела истраживања коришћени су у раду за параметризацију модела еластичне структуре и успостављање повратне спреге између тог модела и модела квазистатичке енвелопе (веза између вертикалне реакције и дефлексије односно контактне дужине пнеуматика).

У седмом поглављу, "Експериментална истраживања квазистатичке енвелопе кретања тракторског пнеуматика", описана су експериментална истраживања вршена у функцији прикупљања емпиријских података за развој емпиријског модела квазистатичке енвелопе кретања заснованог на вештачкој неуронској мрежи. У првом делу поглавља описана су прелиминарна истраживања вршена у функцији добијања фундаменталних квалитативних информација везаних за посматрани феномен. У овом делу истраживања такође је извршена квантификација релевантних величина (међусобни односи сила и деформација и сл.). Резултати прелиминарних истраживања коришћени су у функцији планирања главног дела експерименталних испитивања. У главном делу, вршено је утврђивање облика криве квазистатичке енвелопе односно мерена је зависност висине ефективног профила подлоге од уздужног положаја точка у односу на препреку правоугаоног попречног пресека. Коришћено је 7 препрека које су се међусобно разликовале по дужини и висини поречног пресека. За сваку препреку вршена су мерења за 3 нивоа контактне дужине пнеуматика као показатеља његовог експлоатационог режима. Због расипања мерних резултата узрокованих првенствено физичким и геометријским својствима самог пнеуматика, мерења су вршена по 10 пута за сваку коришћену комбинацију препрека и вредности контактне дужине. Квалитет и поновљивост мерења квантификовани су израчунавањем стандардне девијације и мерне несигурности. У оквиру овог поглавља такође је развијен аналитички модел квазистатичке енвелопе пнеуматика који је коришћен да би се проширио сет емпиријских података за обуку неуронске мреже. Модел је имплементиран помоћу програмског језика Matlab® а валидација модела је извршена на основу експерименталних резултата. Кандидат је са потребним нивоом детаљности, на јасан и прецизан начин дискутовао резултате овог дела рада и њихове импликације на кључни део рада односно сам развој емпиријског модела квазистатичке енвелопе.

Осмо поглавље, "Развој и апликација модела", представља кључни део дисертације. У уводном делу овог поглавља кандидат је изложио основне принципе развоја модела у складу са раније изнетим теоријским поставкама као и резултатима експерименталних истраживања. Дефинисана је структура модела и разматрани начини саопштавања улазних података као и принципи обраде емпиријских података у функцији развоја модела. Дискутовани су проблеми који могу настати у случају одступања предвиђања модела у нултој тачки квазистатичке енвелопе односно у тренутку успостављања иницијалног контакта између точка и препреке. Кандидат је за решење овог проблема предложио оригинални концепт према коме се решење овог проблема тражи увођењем емпиријског корекционог фактора у раду означеног са  $\lambda_{NET}$ . У наредном делу разјашњен је концепт валидације који код емпиријских модела заснованих на вештачким неуронским мрежама представља интегрални део развоја модела. Након тога објашњен је начин употребе резултата обучене неуронске мреже односно дискутовани основни принципи апликације модела. Апликација је реализована путем програма у програмском језику Matlab®. Након ових излагања кандидат је приступио опису самог поступка развоја модела. У функцији изналажења оптималног приступа моделирању кандидат је истражио комбинације следећих случајева развоја модела:

- развој на бази емпиријских података прикупљених физичким односно виртуелним експериментом (помоћу аналитичког модела са радијалним и међурадијалним опругама);
- случај када се на излазу модела даје експлицитна вредност висине ефективног

- профила подлоге, односно емпиријски корективни фактор;
- случај развоја модела за променљиву односно непроменљиву геометрију стварног профила подлоге.

У оквиру поступка избора оптималне структуре неуронске мреже за сваки од истражених случајева дат је приказ одступања модела од референтних експериментално утврђених резултата, као и вредности средњег квадратног одступања предвиђања модела од референтних вредности, за неколико различитих конфигурација неуронских мрежа. Упоредивањем добијених резултата утврђене су оптималне конфигурације у појединим случајевима.

Након анализе и упоређивања резултата добијених у појединим случајевима, констатовано је да изабрани приступ омогућава моделирање посматраног феномена са високим степеном тачности, при чему је брзина извршавања модела значајно већа у односу на аналитичке моделе истог феномена за чије извршавање се по правилу користе итеративни поступци. Једну од основних претпоставки за високу тачност модела представља одговарајући избор скупа емпиријских података за обуку неуронских мрежа.

У завршном делу рада извршена је апликација емпиријског модела квазистатичке енvelope његовом интеграцијом са моделом еластичне структуре. Тиме је добијен глобални динамички (осцилаторни) модел пнеуматика способан да репрезентује основне аспекте динамичког понашања пнеуматика при осцилаторној побуди услед краткоталасних неравнина профила подлоге.

Начин примене теоријских основа и закључака проистеклих из експерименталних истраживања, коришћен у овом поглављу, показује да кандидат влада како предметном материјом тако и научним и истраживачким методима.

У закључку, који представља девето поглавље рада, концизно су изнети најбитнији закључци проистекли из истраживања и утврђени могући правци даљег рада. Истакнут је допринос науци као и елементи резултата истраживања који представљају оригинална решења кандидата.

## VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

M33

1. **Stojić B.**, Poznić A., Časnji F.: Test Facility for Investigations of Tractor Tire Dynamic Behavior on Hard Surfaces, 39th International Symposium: „Actual Tasks on Agricultural Engineering“, Opatija, 2011., 119-127
2. **Stojić B.**, Poznanović N., Poznić A.: Study of Tractor Tire Vertical Dynamics When Rolling Over Short-Wavelength Road Undulations and Impact Obstacles, International Congress Motor Vehicles & Motors 2012, Kragujevac, 2012., 417-425
3. **Stojić B.**, Poznić A., Časnji F.: Preliminary Testing of Tractor Tire Vibration Characteristics on New Test Facility, 40th International Symposium: „Actual Tasks on Agricultural Engineering“, Opatija, 2012., 195-203
4. **Stojić B.**, Poznić A., Poznanović N.: Considerations on Ground Profile Shape for Tractor Tire Test Facility, 7th International Symposium Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, Balatonfüred, 2012., 425-430
5. **Stojić B.**, Poznanović N., Poznić A.: Tire Enveloping Behavior on 3D Surfaces as Basis for Excitation of Simple Vertical Dynamics Tire Model, 41th International Symposium: „Actual Tasks on Agricultural Engineering“, Opatija, 2013., 131-140

## VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Главни циљ овог рада је био развој нумерички ефикасног модела енvelope кретања заснованог на неуронској мрежи и интеграција истог у глобални осцилаторни модел пнеуматика који, поред модела енvelope, обухвата и неки од одраније познатих и уобичајено коришћених модела еластичне структуре. Овај циљ је испуњен што је показано наведеним резултатима истраживања. Основне карактеристике развијеног модела су:

- једноставност структуре и велика брзина извршавања у односу на аналитичке моделе;

- могућност апликације помоћу универзалних рачунарских програма;
- параметризација модела није потребна јер се параметри модела одређују аутоматски у фази обуке неуронских мрежа;
- модел захтева интензивна експериментална мерења у функцији прикупљања емпиријских података, која се морају понављати у случају измене физичких параметара моделираног пнеуматика.

### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

Резултати истраживања у потпуности одговарају постављеним циљевима докторске дисертације. Представљени су јасно и прегледно, систематски су обрађени и детаљно и критички продискутовани. Уверљиви су и садрже све битне елементе који омогућавају њихово потпуно сагледавање. Тумачење резултата се заснива на релевантним научним сазнањима. Табеле и графички прикази доприносе прегледности резултата. Изабрани начин приказа резултата истраживања, као и целокупно тумачење резултата спроведеног истраживања су примерени, добро одабрани, као и прегледно и разложно предочени. Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата и мишљења је да представљају добру подлогу за даљи развој и практичну примену модела развијеног у оквиру истраживања.

### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

Дисертација под називом "Моделирање осцилаторног понашања тракторских пнеуматика вештачким неуронским мрежама" написана је у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Дисертација садржи све битне елементе који се захтевају по Статуту Факултета техничких наука и Универзитета у Новом Саду, као и Закона о високом образовању.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Кандидат је у току израде дисертације, као и на основу резултата приказаних у раду, коришћењем научних метода и алата, показао да влада предметном материјом и поседује искуство како у сфери експерименталних истраживања, тако и у интерпретацији, обради и употреби њихових резултата. Резултат рада представља нов концепт емпиријског моделирања својстава пнеуматика као геометријског нископојасног филтера заснован на примени вештачких неуронских мрежа. Оригинални допринос кандидата представља идеја за коришћење неуронске мреже за решење наведеног проблема, као и утврђивање практичног поступка развоја и имплементације модела. Приступ није био обухваћен досадашњим истраживањима и публикацијама из ове области, што је утврђено прегледом литературе. У раду су коришћени резултати сопствених експерименталних истраживања и развијене теоријске основе за решавање проблема. С обзиром на оригиналност у приступу и решењу проблема, реализација наведеног циља се може сматрати доприносом науци. Поред тога, спроведена су општија експериментална истраживања понашања тракторског пнеуматика при котрљању преко краткоталасних неравнина. Ова истраживања односно њихови резултати такође представљају допринос научном изучавању посматраног феномена, с обзиром на то да су досадашњи публиковани радови из ове области малобројни. Увођење геометријских параметара квазистатичке енvelope на начин утврђен у раду представља сопствени допринос унапређењу метода за анализу резултата експерименталних мерења и рачунарских симулација.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања
Комисија сматра да ова дисертација нема битних недостатака који би утицали на резултате истраживања.
<b>X ПРЕДЛОГ:</b>
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
- да се докторска дисертација под називом "Моделирање осцилаторног понашања тракторских пнеуматика вештачким неуронским мрежама" прихвати, а кандидату одобри одбрана.

У Новом Саду, 16.7.2014. год.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

\_\_\_\_\_  
Проф. др Ливија Цветићанин

\_\_\_\_\_  
Проф. др Зора Коњовић

\_\_\_\_\_  
Проф. др Лазар Савин

\_\_\_\_\_  
Доц. др Драган Ружић

\_\_\_\_\_  
Проф. др Ференц Часњи

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.