

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Вере Церовић

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 1178/2 од 17.09.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Вере Церовић, дипл. маш.инж. под насловом

**ЗАМОРНО ПОНАШАЊЕ НОСЕЋЕ СТРУКТУРЕ ДОЊЕ ПОЛУГЕ
ТРАКТОРА ПРВЕ КАТЕГОРИЈЕ**

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Вера Церовић, дипл. маш. инж. уписала је прву годину докторских студија школске 2016/2017. године. Кандидат је поднела захтев за одобрење теме докторске дисертације број 1213/1 од 04.07.2019. на Катедри за шинска возила и Катедри за пољопривредно машинство Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат је за ментора предложила др Драгана Милковића, ванредног професора Машинског факултета у Београду.

Одлуком Наставно-научног већа број 1233/3 од 04.07.2019. прихваћена је тема докторске дисертације под насловом: „**Заморно понашање носеће структуре доње полуге трактора прве категорије**“ кандидата Вере Церовић, и за ментора је одлуком број 1233/4 од 04.07.2019. именован др Драган Милковић, ванредни професор Машинског факултета у Београду. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело је Одлуку број 61206-1050/2-18 од 26.03.2018. којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Вере Церовић, дипл. маш.инж. под насловом: „**Заморно понашање носеће структуре доње полуге трактора прве категорије**“. На основу обавештења др Драгана Милковића број 1184/1 од 26.08.2020. да је кандидат Вера Церовић, завршила докторску дисертацију под насловом: „**Заморно понашање носеће структуре доње полуге трактора прве категорије**“ Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је 17.09.2020. Одлуку број 1189/2 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

- др Александар Грбовић, редовни професор, Универзитет у Београду Машински факултет,

- др Војислав Симоновић, доцент, Универзитет у Београду Машински факултет,
- др Драган Петровић, редовни професор, Универзитет у Београду Пољопривредни факултет.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом: „**Заморно понашање носеће структуре доње полуге трактора прве категорије**“ припада области техничких наука – Пољопривредно машинство – замор, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

Израдом докторске дисертације је руководио др Драган Милковић, ванредни професор на Машинском факултету Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор до сада је публиковао 8 радова у часописима са SCI листе.

1.3. Биографски подаци

Кандидат Вера Церовић, рођена је 05.07.1965. у Чачку. Основну школу завршила је у Чачку 1980. године, а средњу математичко-техничку школу, смер програмер у Чачку 1984. године.

Школске 1984/85 уписала је Машински факултет у Београду и дипломирала 02.10.1991. године на Одсеку за термотехнику, са просечном оценом у току студија 8,00 одбравивши дипломски рад из предмета Техника мерења са оценом 10. Магистарске студије на Машинском факултету уписала је школске 2002/03 на Одсеку за механику флуида, на којима је положила 8 испита до преласка на докторске студије школске 2005/06. Све испите је положила до јуна 2007. године.

Поседује вишегодишње педагошко искуство, започето 1997. године у основној школи „Илија Бирчанин“ у Земуну (Земун Поље), у којој је предавала Техничко образовање шест месеци. Потом започиње рад на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду. У периоду од 20.11.1997. до 19.11.1999. године, радила је као сарадник Пољопривредног факултета (Институт за пољопривредну технику), а наредне две године је хонорарно била ангажована као асистент приправник за предмете Техничка механика и Техничко цртање.

У звање асистента приправника за предмете Техничка механика и Техничко цртање, у изабрана је 01.10.2001. године. У звање асистента је изабрана 2010. год. Држала је вежбе из четири предмета све до 2017. године.

Аутор је збирке задатака из Техничке механике и приручника из Инжењерског цртања.

Аутор и коаутор је следећих радова:

1. Радови у тематском зборнику међународног значаја (M14):

1.1. **Cerović V.**, Milković D., Grbović A., Radulović S., Tanasković J.: *Measurement of the Stress State in the Lower Link of the Three-Point Hitch Mechanism*, Experimental and Numerical Investigations in Materials Science and Engineering, pp 112-121, Springer, 2018, ISBN 978-3-319-99620-2

2. Радови у часопису међународног значаја (M23):

2.1. **Cerović V.**, Milković D., Grbović A., Petrović D., Simonović V.: *2D analytical model for evaluation of the forces in the three point hitch*

mechanism, Journal of Agricultural Sciences 26 (2020), 271-281, ISSN 1300-7580.

3. Радови у часопису међународног значаја (M24):

- 3.1. Tomantschger K., Petrović V. D., **Cerović V.**, Dimitrijević A., Radojević R.: *Prediction of a fertilizer particle motion along a vane of a centrifugal spreader disc assuming its pure rolling.*, - FME Transaction, Vol 46, No. 4, 2018, pp.544-551,
- 3.2. **Cerović V.**, Petrović V. D., Radojević R., Barać S., Vuković A.: *On the fertilizer particle motion along the vane of a centrifugal spreader disc assuming pure sliding of the particle*, - Journal of Agricultural Sciences, Vol. 63, No. 1, 2018, pp. 83-97.

4. Радови саопштени на скуповима међународног значаја, штампани у изводу (M34):

- 4.1. **Cerović V.**, Milković D., Grbović A., Radulović S., Tanasković J., *Experimental measurements of the stresses in the lower link of the three-point hitch mechanism*, International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, The book of Abstract, 04.-06. July 2018., Zlatibor-Serbia, page 33, ISBN: 978-86-7083-979-3
- 4.2. Petrović V. D., Mileusnić Z., Radojević R., **Cerović V.**: *Static stability of agricultural tractor*, The Third International Symposium on Agricultural Engineering, The book of Abstract, 20.-21. October, Belgrade, 2017, page 22.

5. Радови у часопису националног значаја (M52):

- 5.1. **Cerović V.**, Petrović V. D.: *Hidrostatički sistemi prenosa snage poljoprivrednih mašina: zapreminske pumpe*, - Poljoprivredna tehnika, br. 1, 2018, str. 12-24,
- 5.2. Mileusnić Z., Radojević R., Petrović V. D., **Cerović V.**: *Pristupi ispitivanju statičke stabilnosti traktora točkaša*, Poljoprivredna tehnika, br. 2, 2018, str. 1-10,
- 5.3. **Cerović V.**, Petrović V. D.: *Ventili kao upravljačke komponente hidrauličkih Sistema*, Poljoprivredna tehnika, br. 3, 2018. str. 11-25,
- 5.4. Petrović V. D., **Cerović V.**: *Hidraulički simboli - deo I: opšti simboli i oznake mernih instrumenata i indikatora*, Poljoprivredna tehnika, br. 1, 2019, str. 45-56,
- 5.5. Petrović V. D., **Cerović V.**: *Hidraulički simboli – deo II: pumpe i izvršni organi*, - Poljoprivredna tehnika, br. 2, 2019, str. 1-12,

Говори, чита и пише енглески језик.

Члан је Друштва за пољопривредну технику Србије.

Церовић пише програме у програмском језику FORTRAN. Завршила је курсеве Autodesk центра Института за нуклеарне науке „Винча“: AutoCAD цртање и AutoCAD моделовање. Поседује одговарајуће сертификате.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидат Вере Церовић, дипл. маш. инж. под насловом: „**Заморно понашање носеће структуре доње полуге трактора прве категорије**“ је документ формата А4, штампан једнострано, написан на српском језику, ћириличним писмом. Написана је на укупно 153 нумерисане стране укључујући и Литературу која садржи 230 референци. Илустрована је са 168 слика и дијаграма, садржи 135 нумерисаних израза и 19 табела.

Докторска дисертација садржи следећа Поглавља:

1. Увод,
2. Механика лома,
3. Испитивање завара са становишта животног века,
4. Теоријске основе проширене методе коначних елемената,
5. Експериментално одређивање силе на доњој полузи система за повезивање у три тачке,
6. Нумеричка симулација замора доње полуге трактора са експерименталном верификацијом,
7. Закључак.

Осим наведеног, докторска дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, списак литературе, садржај, биографију аутора, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу је дат опис значаја и применљивости трозглобног механизма код трактора. Мотив за израду дисертације је испитивање оптерећења доњих полуга у току експлоатације и одређивање животног века. Методе доступне за њихово одређивање су наведене као и литература која је релевантна.

У другом поглављу је праћен сложен процес развоја прслине са теоријом механике лома која математички описује факторе утицаја на њен ток развоја. Методе напон – животни век се такође користе за предвиђање животног века полуге па су и оне укратко теоријски и литературно обрађене.

У трећем поглављу су описане специфичности заварених спојева и њихов утицај на животни век. Конструктивно решење полуге подразумева спајање тела полуге са ушком заваривањем што представља изазов за одређивање животног века. Литературни преглед специфичности завара су приказане у трећем поглављу.

У четвртом поглављу је описана проширена метода коначних елемената која примењује једначине механике лома у чворовима поља и начин решавања проблема дисконтинуитета нумеричким путем.

У петом поглављу су анализиране силе и напони који делују у доњој полузи прикључно – подизног механизма за повезивање у три тачке трактора. Развијен је компјутерски програм за одређивање сила у полузи, а затим извршено упоређивање са измереним вредностима. Резултати су графички приказани и статистички обрађени.

У шестом поглављу је процењен животни век методом деформација – животни век који се користи за почетно, приближно предвиђање животног века. Реалније вредности животног века се добијају методама номиналног, структурног и напона зареза – животни век. Полуга је моделована у програму САТИА да би се испитивала у програму ANSYS на истезање и помоћу механике лома примењене у програму је

одређен животни век. За проверу животног века урађен је експеримент на кидалици за замор.

У закључку је указано на могућност примене развијеног компјутерског кода у програмском језику Fortran за приближно одређивање сила у полугама трозглобног механизма. Одређено је напонско стање у полузи за различита сценарија оптерећења и одређено дозвољено оптерећење ушке. На основу површинског притиска је одређено дозвољено оптерећење за 100 000 циклуса и степен сигурности два и оно износи 35,3 kN. Са почетним урезом од 2 mm на ушки и аксијалном оптерећењу од 30 kN, добијен је животни век реда 120 000 циклуса, док је у програму ANSYS добијено 115 000 циклуса до лома ушке. Испитивањем заварене полуге методама напон – животни век, механике лома и експериментом је установљен животни век полуге од $1,3 \cdot 10^6$ циклуса.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под насловом: „**Заморно понашање носеће структуре доње полуге трактора прве категорије**“ кандидата Вере Церовић, дипл. маш. инж. представља детаљну анализу сила које се јављају у доњој полузи трозглобног механизма трактора током експлоатације на основу којих је одређено напонско стање у полузи и дозвољено оптерећење ушке полуге. Животни век завареног споја тело полуге – ушка је одређено методама напон – животни век, механиком лома и експериментално. Детаљна анализа полуга до сада није рађена.

Развијен је оригинални компјутерски програм за предвиђање сила у полугама. Мерне траке су се показале као најтачнија мерна техника за реално мерење сила у полузи, па су примењене за верификацију аналитичких резултата. Модерним нумеричким методама (пре свих ПМКЕ) могуће је одредити приближне вредности силе раста прслине (енг. crack driving force) као мере оптерећења и геометрије, односно вредности фактора интензитета напона у тачкама фронта растуће прслине на основу којих се може дати процена заморног века завареног споја ушка-тело полуге. Методе процене животног века напон – животни век су упоредо примењене и вредности добијене методом напон зареза – животни век су унете у јединствени S-N дијаграм за који се очекује потврда применљивости на радне компоненте.

Претпоставка је да ће развијени програм бити применљив за различита земљишта и радна оруђа. Анализирану геометрију полуге је могуће упоредити са другим конструктивним решењима и унапредити је и оптимизовати.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији коришћена је обимна, релевантна литература из области пољопривредне технике, механике лома, замора заварених спојева. Наведена је обимна литература од 230 референци, која је омогућила преглед и анализу постојећег стања предмета изучавања, уочавање проблема и постављање циљева истраживања дисертације. Кратак извод из литературе по областима:

[1] Martinov M., Marković D.: *Mašine i oruđa za obradu zemljišta*. Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2002.

[2] Fröba N.: *Benötigte Traktor Motorleistung bei landwirtschaftlichen Arbeiten*. KTBL Arbeitsblatt Nr. 0255 in Landtechnik, Vol. 50(5), pp. 277÷282, 1995.

- [3] ASAE Standard D497.4, 2003: Agricultural Machinery Management Data, ASAE, St. Joseph, Michigan, USA, 2003.
- [4] Горячкин В. П.: Собрание сочинений, 2-е изд. Москва, Колос, т.2.-456 с, 1968.
- [5] Morling R.W.: Agricultural tractor hitches: analysis of design requirements. American Society of Agricultural Engineers, 1979.
- [6] Iida K. and Uemura T.: Stress concentration factor formulas widely used in Japan, IIW Doc. XIII-1530-94, 1994.
- [7] Anderson T.L.: Fracture Mechanics, Fundamentals and Applications, Third Edition, Taylor and Franis, 2005.
- [8] Hobbacher A, Jonsson B, Dobmann G, Kassner M, Marquis G.: IIW Guidelines on Weld Quality in Relationship to Fatigue Strength, International Institute of Welding, Springer, 2016.
- [9] Maddox S.J.: Fatigue strength of welded structures, Abington Pub, Cambridge, 1991.
- [10] Neuber H.: Theory of Notch Stresses: Principles for Exact Stress Calculation, JW Edwards, Ann Arbor, 1946.
- [11] Hobbacher A.: Recommendations for fatigue design of welded joints and components. IIW doc. IIW-1823-07. Welding Research Council Bulletin 520, New York, 2009.
- [12] Sonsino C.M.: Principles of Local Stress Concepts for the Assessment of Welded Joints, European Structural Integrity Society Newsletter, August 2009.
- [13] Belytschko T., Black T.: Elastic crack growth in finite elements with minimal remeshing, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 45, No. 5, pp. 601÷620, 1999.
- [14] Moës N., Dolbow J., Belytschko T.: A finite element method for crack growth without remeshing, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 46, No. 1, pp. 131÷150, 1999.
- [15] Sethian J.A : A marching level set method for monotonically advancing fronts, Proceeding of the National Academy of Sciences, Vol. 93, pp. 1591÷1595, 1996.

У првој фази истраживања прикупљени су релевантни подаци за одређивање оптерећења доње полуге трактора као саставног дела механизма за ношење у три тачке ТНР [1]. Како су оптерећења највећа током орања плугом [2], то је одабран дворедни плуг РТО 2/25 за обраду земљишта. Отпори при обради земљишта се најчешће одређују помоћу ASAE стандарда [3] и помоћу методе Горјачкина [4] што је и смерница за овај докторат. Отпори који се јављају током орања се преносе на ТНР механизам.

За мерење хоризонталне силе, која је и доминантна сила на доњој полузи, коришћене су мерне траке. Мерење на терену захтева претходну калибрацију динамометра. Очекиване вредности хоризонталне силе су променљивог (динамичког) карактера [5]. У оквиру овог истраживања успостављање везе између сила и напона у доњој полузи је извршено и на терену и у лабораторијским условима

Конструктивно решење усвојене доње полуге за трактор ИМТ 539 састоји се од две ушке заварене за тело полуге. Присуство завара као и сама геометрија полуге представља извор концентрације напона [6]. Динамичко оптерећење полуге указује на потребу испитивања животног века полуге помоћу механике лома [7]. Испитивање завареног споја има своје специфичности [8], [9], па су у раду

анализиране разне методе за одређивање животног века [10], [11], [12] и њихово међусобно поређење.

Спроведена су експериментална истраживања, као и нумеричка анализа применом методе коначних елемената [13], [14], [15] у софтверском програму ANSYS, ABAQUS на основу чега је одређен очекивани животни век полуге.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Резултати приказани у овој докторској дисертацији добијени су применом следећих научних метода познатих научној и стручној јавности:

- ПМКЕ,
- МКЕ,
- Matlab
- Fortran
- Мерења напонског стања применом технике мерних трака,
- Одређивање животног века методом деформација – животни век,
- Одређивање животног века методом напон – животни век,
- Експериментално одређивање животног века,

Мерењима на огледној парцели помоћу мерних трака и остале адекватне опреме утврђена је промена доминантне, хоризонталне силе доње полуге трозглобног механизма за различите дубине орања и брзине трактора. Развијен је програм у програмском језику Fortran за процену сила у доњим и горњој полуци механизма. Аналитичке и експерименталне вредности су статички обрађене.

Почетна, груба, провера животног века је извршена методом деформација – животни век и уз помоћ Matlab. Тачније вредности су добијене методама напон – животни век. Заварена полуга и ушка су моделовани у програму ANSYS да би се методама коначних елемената и проширеном методом коначних елемената одредио њихов животни век. На хидрауличкој кидалици на замор је верификована процењена вредност животног века полуге и ушке.

3.4. Применљивост остварених резултата

Развијени програм за процену вредности сила у полугама је могуће применити за земљишта различитог квалитета, тракторе различите снаге, заварене полуге различитих категорија. Уз мању модификацију може се, осим за плуг, применити и за друга оруђа за обраду земљишта. Методе за процену животног века, од којих су неке новије, су се показале поузданим у процени животног века компоненте структуре.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

За време израде докторске дисертације кандидат је показала смисао и знање неопходно да самостално препозна и решава инжењерске и научне проблеме, примењујући савремене истраживачке методе, како експерименталне тако и статистичке, као и да изналази и користи расположиву литературу. Учествовала је у постављању, организацији и изради свих експеримената. Резултати докторске дисертације показују да је кандидат способан за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Рад на овој дисертацији је довео до резултата који представљају научни допринос који се огледа у следећем:

- Оригинални аналитички модел за одређивање оптерећења доње полуге, имплементиран програмским језиком FORTRAN у компјутерски програм приказан у потпоглављу 5.1.2 Израчунавање отпора на полугама механизма за повезивање, приказан на странама 92÷100 дисертације и објављен је у раду: **Cerović V., Milković D., Grbović A., Petrović D., Simonović V., 2D analytical model for evaluation of the forces in the three point hitch mechanism**, Journal of Agricultural Sciences 26 (2020), pp 271-281, категорије **M23** са **IF: 0.572** тј. 49/58 у области Agriculture, Multidisciplinary и доступан је на е-адреси: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1262493> ;
- Прецизније методе процене заморног века завареног споја ушка-тело полуге, као и нови поступак верификације заморног века сложене носеће структуре изложене оптерећењима променљивих амплитуда (странице 122÷141), што ће тек бити објављено.

Поред тога у дисертацији је остварен и следећи инжењерски допринос:

- Оптималан избор мерних места за мерење релативних деформација доње полуге помоћу мерних трака, применом методе коначних елемената, који обезбеђује мерење уз издвајање утицаја различитих компоненти сила орања, као и експериментална верификација мерењем на њиви и на хидрауличкој кидалици. Допринос приказан на странама 84÷92 дисертације и објављено у раду: **Cerović V., Milković D., Grbović A., Radulović S., Tanasković J.: Measurement of the Stress State in the Lower Link of the Three-Point Hitch Mechanism**, Experimental and Numerical Investigations in Materials Science and Engineering, pp 112-121, Springer, 2018, категорије **M14** и доступан је на е-адреси: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-99620-2_9 .

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне научне литературе и сагледавања постојећих решења из области докторске дисертације, комисија констатује да су приказани резултати истраживања значајни и научно утемељени. Задати циљеви су остварени и решени сви проблеми којима се кандидат сусрео у току истраживања оптерећења која делују на полуге прикључно-подизног механизма за повезивање у три тачке. Препознати су фактори утицаја, начин одређивања сила на основу којих је и развијен програм. Добијене вредности су потврђене експериментом. Коришћено је више метода за процену животног века од којих су неке у фази потврђивања. Експериментална провера је показала поузданост примењених метода.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси наведени у тачки 4.1 су верификовани следећим радом:

1. **Cerović V., Milković D., Grbović A., Petrović D., Simonović V.: 2D analytical model for evaluation of the forces in the three point hitch mechanism**, Journal of Agricultural Sciences 26 (2020), pp 271-281. **M23** <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1262493>

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да се докторска дисертација под називом: „**Заморно понашање носеће структуре доње полуге трактора прве категорије**“ кандидата Вере Церовић, дипл. маш. инж., прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, Комисија констатује да је Вера Цереовић, успешно завршила докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања, а да докторска дисертација под називом: „**Заморно понашање носеће структуре доње полуге трактора прве категорије**“ представља оригиналан научни рад са научним доприносом у области машинства.

У Београду, 05.11.2020.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Александар Грбовић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др Војислав Симоновић, доцент
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др Драган Петровић, редовни професор
Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет