

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА У КРАЉЕВУ

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Славише Шалинића дипл. инж. маш.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Краљеву, одржаног 09.12.2008. године (Број одлуке: 1028/4), именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом **"Брахистохроно кретање механичких система са реалним везама и примене на техничке објекте"** кандидата мр Славише Шалинића дипл. инж. маш.

На основу увида у докторску дисертацију и докумената о до сада вођеној процедури, достављамо следећи

ИЗВЕШТАЈ

I УВОД

I.1 Хронологија одобравања и израде дисертације

Извештај бр. 250 о пријави докторске дисертације мр Славише Шалинића дипл. инж. маш. под насловом *"Брахистохроно кретање механичких система са реалним везама и примене на техничке објекте"* поднет је 10.04.2006. године. Извештај Комисије о подобности кандидата и теме докторске дисертације (бр.371) о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације усвојен је 08.06.2006. године на седници Наставно-научног већа Машинског факултета у Краљеву.

Стручно веће за техничке науке Универзитета у Крагујевцу дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације одлуком бр. 853/12 од 27.06.2006. године. Дана 09.12.2008. године на седници Наставно-научног већа Машинског факултета у Краљеву формирана је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације.

I.2 Научна област

Дисертација припада научној области Примењена механика.

I.3 Биографски подаци о кандидату

Славиша Шалинић рођен је 11.08.1973. године у Краљеву. Основну школу завршио је у ОШ "Вук Караџић" Рибница. Четврти степен стручне спреме за занимање "Електротехничар погона" стекао је у Електросаобраћајној школи "Никола Тесла" у Краљеву.

Студије на Машинском факултету у Краљеву уписао је школске 1992/93. године на групи за Производно машинство. Током студија, остварио је средњу оцену 8,79. Дипломски рад из предмета Теорија осцилација одбранио је 22.10.1997. године са оценом 10 (десет).

Последипломске студије уписао је школске 1997/98. године на Машинском факултету у Београду. Положио је све предвиђене испите са просечном оценом 10 (десет) на групи за Примењену механику крутог тела у машинству. Магистарску тезу под називом *"Динамика система крутих тела са реалним везама са применом на техничке објекте"* одбранио је 07.07.2003. године.

У периоду од 01.12.1997. године до 01.07.1998. године радио је као истраживач-приправник на Катедри за механику Машинског факултета у Краљеву. У звање асистента-приправника за ужу научну област Механика на Машинском факултету у

Краљеву изабран је 01.07.1998. године, а у звање асистента изабран је 2003. године. У том звању се и сада налази.

II. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

II.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Славише Шалинића, дипл. инж. маш., под насловом *"Брахистохроно кретање механичких система са реалним везама и примене на техничке објекте"* изложена је на 106 страна, са 9 цртежа, 7 табела и 77 референци.

Дисертација је изложена у 9 поглавља:

1. Увод
2. Проблем брахистохроне као задржавајуће везе са Кулоновим трењем у случају материјалне тачке
3. Проблем брахистохроне као незадржавајуће везе са Кулоновим трењем у случају материјалне тачке
4. О оптимизацији транспорта грануластих материјала
5. Брахистохроно кретање система крутих тела са Кулоновим трењем
6. Примена диференцијалне еволуције при решавању нелинеарних алгебарских једначина
7. Закључак
8. Правци даљег развоја
9. Додаци

II.2 Уводна запажања

У наведеној докторској дисертацији разматра се брахистохроно кретање механичких система са Кулоновим трењем. Посебно је размотрена брахистохрона са трењем при кретању материјалне тачке у хомогеном гравитационом пољу. За три варијанте контурних услова а под претпоставком да је почетна брзина различита од нуле, ови случајеви решени су до краја у аналитичком облику. Такође, истраживан је и проблем брахистохроног кретања система крутих тела у присуству трења, са посебним освртом на систем са два степена слободе при једној незадржавајућој вези. Техникама, које су на идејном плану сличне онима које су примењене за решавање предходно описаног проблема брахистохроне материјалне тачке, показано је да је брахистохрони проблем за поменути систем са два степена слободе, уз претпоставку да систем у почетном тренутку не мирује, такође решив аналитички до краја. Све проблеме у дисертацији аутор је решио до таквог нивоа који омогућује инжењерску примењивост. На крају овог поглавља, извршена је оптимизација облика профила канала за транспорт грануластог материјала под дејством силе тежине. При томе, коришћена су два критеријума оптимизације: време транспорта и укупна механичка енергија.

Свуда где постоји активно деловање човека, настаје и потреба за оптимизацијом. Оптимизација има велики значај и при решавању проблема у пројектовању техничких система и технолошких процеса. Најважнији и најчешће коришћени критеријуми оптимизације у проблемима пројектовања техничких система и технолошких процеса

су време, енергија и тачност позиционирања. При проучавању техничких објеката трење је један од важних фактора које треба укључити као параметар при формирању оптимизационих задатака.

II.3 Садржај поглавља

1. Увод. У уводу ове дисертације дат је пре свега историјат и дефиниција проблема брахистохроног кретања. Такође, детаљно су представљени главни постојећи резултати у области брахистохроног кретања механичких система. Детаљан приказ ових резултата даје јасну слику о тренутном нивоу истраживања о овом проблему и о могућим правцима даљег развоја.

За Бернулијев проблем брахистохроне везују се почеци варијационог рачуна. Из прегледа резултата интересантно је уочити, да су се скоро сва каснија уопштавања овог проблема базирала на примени варијационог рачуна. Аутор ове дисертације у својим истраживањима такође се определио за овај математички апарат. Као основ истраживања у докторској дисертацији послужили су радови који се односе на брахистохроно кретање механичких система са трењем.

2. Проблем брахистохроне као задржавајуће везе са Кулоновим трењем у случају материјалне тачке. Разматра се проблем брахистохроне као задржавајуће везе са трењем која лежи у вертикалној равни у случају материјалне тачке у хомогеном гравитационом пољу. Овај проблем је решен до краја аналитички за случај две варијанте контурних услова а под претпоставком да је интензитет почетне брзине различит од нуле. Задатак се решава варијационим рачуном.

2.1-2.4. У овом делу поглавља решава се описани проблем брахистохроне при чему су задати почетни и крајњи положај и интензитет почетне брзине. Поред закона о промени кинетичке енергије у диференцијалном облику и ограничења у облику једнакости, која су условљена захтевом да изабрани функционал зависи само од величина стања и њихових првих извода, уводи се и ограничење у облику неједнакости које се односи на идеалну компоненту реакције везе и којом се постиже услов да је брахистохрона задржавајућа веза. Аутор је увођењем нових величина стања успео да истовремено поменути неједнакост трансформише у једнакост а самим тим варијациони задатак, који је по својој суштини везан, трансформише у невязан варијациони задатак. На овај начин аутор се определио да екстремум функционала тражи, не у оквиру искључиво глатких функција у простору првобитно уведених величина стања, већ у простору једног ширег скупа функција чији изводи у појединим тачкама имају прекиде прве врсте, тзв. угаоне тачке. Сада свака екстремала представља функцију која задовољава Ојлер-Лагранжеве диференцијалне једначине у сваком подинтервалу на коме су оне глатке и сем тога задовољавају и тзв. Вајерштрас-Ердманове услове у угаоним тачкама. Наравно, оне задовољавају природне граничне услове и услове трансверзалности.

Једначине брахистохроне су добијене у аналитичком облику и параметарски су изражене, где је за параметар узет угао нагиба тангенте брахистохроне према хоризонтали. Брахистохрона је у општем случају двосегментна комбинација кривих. Почетна крива је парабола која се добија у проблему косог хица у хомогеном гравитационом пољу са почетном брзином чији је интензитет задат а правац се добија као решење описаног задатка о брахистохрони. Реакција везе дуж овог дела брахистохроне је једнака нули. Брахистохрона се завршава са храпавом линијом која се

своди на класичну циклоиду када је коефицијент трења једнак нули. Треба истаћи да је описани проблем био раније решен у (референца под бројем [43]) применом теорије оптималног управљања. Добијени резултати од стране аутора дисертације поклапају се са резултатима из наведене референце. Међутим, за разлику од аутора референце [43], аутор дисертације има могућност да за специјалне вредности параметара сведе добијене резултате на неке резултате у литератури до којих се дошло такође варијационим рачуном.

2.5. Описани проблем брахистохроне са трењем није решив за произвољан избор контурних услова. Услови за егзистенцију брахистохроне са трењем разматрани су у овом одељку.

2.6. У општем случају, како је то већ истакнуто, брахистохрона са трењем је двосегментна комбинација поменуте параболе и храпаве линије. При специјалном избору контурних услова, брахистохрона може бити само поменута парабола или само поменута храпава крива. У овом делу аутор је извео услове при којима је брахистохрона једносегментна крива у горе поменутом смислу.

2.7. У овом делу разматра се једна модификација брахистохроног проблема описаног у **2.1**. Модификација се састоји у томе што крајњи положај није фиксиран него се захтева да се налази на задатој вертикалној правој. Излагање је систематизовано на исти начин као у претходним одељцима. Брахистохроне криве имају сличну структуру као у случају када је крајњи положај фиксиран. Интересантно је истаћи да у овом случају угао нагиба брахистохроне у крајњем положају зависи само од коефицијента трења.

3. Проблем брахистохроне као незадржавајуће везе са Кулоновим трењем у случају материјалне тачке. Коришћењем методологије из поглавља 2, извршено је уопштавање резултата из референце [65], у којој се решава проблем брахистохроне као идеалне незадржавајуће везе, на случај брахистохроне као незадржавајуће везе са трењем. У овом случају, осим почетног и крајњег положаја задата је почетна брзина и правац брзине на крају. Проблем је решен до краја аналитички. Показано је да су брахистохроне у општем случају тросегментне криве са почетним и завршним линијским сегментом у облику параболе описане у поглављу 2. Специјалним избором параметара брахистохрона може бити двосегментна и једносегментна крива. У случају одсуства силе трења аналитички изрази добијени у дисертацији представљају аналитичку интерпретацију резултата из референце [65], до којих се у [65] дошло, не аналитичким путем, већ квалитативном анализом.

4. О оптимизацији транспорта грануластих материјала. Разматра се технички објект у виду инсталације за транспорт грануластог материјала. Излагања су концентрисана на оптимизацију једне компоненте овог објекта која представља канал за одвод грануластог материјала. Кретање материјала кроз канал моделира се као кретање тешке материјалне тачке дуж храпаве линије која лежи у вертикалној равни. Такав модел преузет је из референци означених у дисертацији под бројевима [57, 13].

У првом делу разматра се проблем оптимизације профила одводног канала тако да облик профила обезбеђује минимално време транспорта између две задате транспортне позиције. Оптимални облик профила представљају брахистохроне криве добијене у поглављима 2 и 3 аналитички до краја при почетној брзини различитој од

нуле, а што представља битно побољшање у односу на рефернцу означену у дисертацији под бројем [76], где је оптимални облик профила који обезбеђује минимално време транспорта добијен нумерички при почетној брзини која је једнака нули.

У другом делу разматра се проблем одређивања оптималног облика профила одводног канала из услова да су губици механичке енергије услед Кулоновог трења минимални. При решавању овог проблема користи се методологија из поглавља 2 и 3. Аналогно као у поглављима 2 и 3 у дисертацији је извршена дискусија у вези облика профила под претпоставком да је интензитет почетне брзине различит од нуле.

Јасно се види да се проблем у свим случајевима може решити аналитчки до краја. Аутор се определио да проблем потпуно реши у случају када материјал улази у канал без почетне брзине: у овом случају профил је двосегментни и почиње праволинијским храпавим делом, а завршава се параболом. Утврђено је да са порастом коефицијента трења расте удео праволинијског дела у профилу канала.

5. Брахистохроно кретање система крутих тела са Кулоновим трењем. У овом делу дисертације анализира се брахистохроно кретање система крутих тела у хомогеном гравитационом пољу који је подвргнут дејству склерономних холономних идеалних задржавајућих веза и холономних незадржавајућих са Кулоновим трењем. Претпоставља се да су силе трења концентрисане и да се остварују тачкастим контактом између тела система.

5.1 и 5.2. У овим одељцима израз за снагу од сила трења састоји од два члана при чему један представља функцију од генералисаних координата и генералисаних брзина а други члан се јавља у виду линеарне форме по генералисаним убрзањима чији су коефицијенти функције генералисаних координата и брзина. Овај модел снаге је довољно општи у свим случајевима у којима се не јавља статичка неодређеност у погледу одређивања сила Кулоновог трења. Такав модел снаге силе Кулоновог трења преузет је из референце означене у дисертацији под бројем [19]. Након формулације проблема брахистохроног кретања применом варијационог рачуна приступа се његовом решавању методологијама које су блиске оним које су примењене у референци [19] и у поглављима 2 и 3 ове дисертације. Формиране су Ојлер-Лагранжеве једначине проблема и остале неопходне релације чиме је створена база за даље нумеричко решавање. Из структуре Ојлер-Лагранжевих једначина произилази да се брахистохроно кретање може поделити у више фаза. У конфигурационом простору ова чињеница се може геометријски интерпретирати у том смислу да брахистохрона представља вишесегментну криву у конфигурационом простору.

5.3. Анализира се механички систем са два степена слободe и једном реалном незадржавајућом везом. Претпоставља се да кинетичка енергија овог система и снага силе Кулоновог трења не зависе од генералисаних координата и да је израз за потенцијалну енергију линеарна функција генералисаних координата. На тај начин постиже се да подинтегрална функција у функционалу не зависи од генералисаних координата. Ове претпоставке су аналогне оним у референци [19]. Специјалном трансформацијом генералисаних координата Ојлер-Лагранжеве једначине добијају форму која омогућава да се за решавање брахистохроног проблема примени аналогна процедура као и у поглављима 2 и 3. Показано је да је брахистохрона у општем случају тросегментна крива у конфигурационом простору.

6. Примена диференцијалне еволуције при решавању нелинеарних алгебарских једначина. На почетку овог поглавља су концизно и јасно истакнути проблеми везани за конвергенцију Њутн-Рапсонове методе приликом њене примене у решавању система нелинеарних алгебарских једначина и тиме објашњен разлог за коришћене диференцијалне еволуције, као оптимизационе методе, у наведеној проблематици. Даље се даје кратак опис ове оптимизационе методе као и неке њене модификације уз навођење референци у којима су ове модификације приказане. Карактеристично је да су у наведеним референцама разматрани појединачно утицаји ових модификација на побољшање перформанси диференцијалне еволуције. Из тог разлога аутор формира варијанту диференцијалне еволуције у којој су обједињене наведене модификације и примењује је у решавању система једначина из којих се одређују параметри који фигуришу у једначинама брахистохроних кривих.

7. Закључак. У овом делу докторске дисертације, по поглављима се излаже шта је урађено и до којих се резултата дошло почевши од поглавља **2** и закључно са поглављем **6**. Поређењем са постојећим резултатима у литератури указује се која уопштења доносе добијени резултати у дисертацији. На крају, у сажетом облику, аутор кроз пет ставки указује на научне доприносе који су остварени у дисертацији.

8. Правци даљег развоја. Аутор, на основу резултата до којих је дошао у оквиру дисертације, указује на нове проблеме који могу да послуже као основа за даља истраживања на пољу брахистохроног кретања механичких система. Наведена проблематика будућих истраживања покрива опсег од изналажења ефикасних нумеричких поступака за решавање брахистохроног проблема па све до примене резултата теоријских истраживања на техничке објекте.

9. Додаци. У оквиру додатка **A** дат је псеудо код модификоване варијанте диференцијалне еволуције која је формирана у поглављу **6**. Овај псеудо код даје могућност писања програма у било ком програмском језику. У оквиру додатка **B**, за коришћену модификацију диференцијалне еволуције написан је програм у програмском језику MATLAB.

III ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Славиша Шалинић, аутор дисертације **"Брахистохроно кретање механичких система са реалним везама и примене на техничке објекте"**, у сваком поглављу дисертације показао је да је способан да се самостално бави научно-истраживачким радом и да постиже резултате који представљају одређене доприносе постојећим научним сазнањима у области примењене и аналитичке механике. Аутор је користио у формирању своје дисертације опширну литературу у којој већина референци представља значајне радове у области оптималног управљања механичких система. Сви проблеми које је аутор решавао у дисертацији доведени су до таквог степена да их је могуће примењивати при решавању инжењерских проблема.

IV ОСТВАРЕН НАУЧНИ ДОПРИНОС

Поглавље дисертације **Проблем брахистохроне као задржавајуће везе са Кулоновим трењем у случају материјалне тачке** представља значајан научни допринос у области брахистохроног кретања материјалне тачке. Резултати овог поглавља представљени су у раду под насловом **"Contribution to the brachistochrone problem with Coulomb friction"** који је прихваћен за штампу у часопису **Acta Mechanica** (часопис са ISI-листе, импакт фактор 0.775). У дисертацији се налази још једна формулација проблема брахистохроне под насловом **Проблем брахистохроне као незадржавајуће везе са Кулоновим трењем у случају материјалне тачке**. У наведеном поглављу извршено је уопштавање резултата из референце [65], који се односе на глатку брахистохрону, на случај брахистохроне са трењем при контурним условима који су модификовани у односу на услове из претходног поглавља (задати су почетна брзина и правац брзине у крајњем положају). По научном доприносу ово поглавље не заостаје у односу на предходно.

Поглавље **О оптимизацији транспорта грануластог материјала** представља пример примене резултата из поглавља **2** и **3** на конкретном техничком објекту који представља инсталацију за транспорт грануластог материјала. Решења су дата у аналитичком облику до краја и представљају значајно побољшање у односу на резултате из референце [13], који се односе на исту проблематику. Такође, у оквиру овог поглавља решен је у аналитичком облику проблем одређивања оптималног облика профила канала за одвод грануластог материјала под условом да губици механичке енергије материјала услед дејства Кулонове силе трења буду минимални. Аргументовано је доказана предност ауторовог поступка у односу на поступак решавања овог проблема у референци [52].

Поглавље **Брахистохроно кретање система крутих тела са Кулоновим трењем** представља проширење резултата из референце [19] на случај брахистохроног кретања система крутих тела са реалним незадржавајућим везама. За специјалан систем крутих тела са два степена слободe и једном реалном незадржавајућом везом, аутор до краја решава проблем и даје одговарајуће аналитичке релације. Показује се да присуство реалне незадржавајуће везе има за последицу да брахистохрона, за разлику од референце [19], има сложенији облик при истим контурним условима.

У оквиру поглавља **Примена диференцијалне еволуције при решавању нелинеарних алгебарских једначина** аутор је изнео један ефикасан начин за превазилажење потешкоћа везаних за решавање система нелинеарних алгебарских једначина са одговарајућом програмском подршком.

V ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу изнетог Комисија закључује да је **мр Славиша Шалинић** у својој докторској дисертацији под насловом **"Брахистохроно кретање механичких система са реалним везама и примене на техничке објекте"** остварио самостално оригиналне научне доприносе од којих је део верификован и пријемом за објављивање у познатом међународном часопису **Acta Mechanica**.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Краљеву да дисертацију **мр Славише Шалинића** под насловом **"Брахистохроно кретање механичких система са реалним везама и примене на техничке објекте"** прихвати, стави на увид јавности и у складу са Законом закаже јавну одбрану пред Комисијом у истом саставу.

У Краљеву, 9. фебруара 2009. године

КОМИСИЈА:

Др Вукман Човић, редовни професор (у пензији)
Машински факултет у Београду
Научна област: Механика

Др Драгомир Зековић, редовни професор
Машински факултет у Београду
Научна област: Механика

Др Драган Милосављевић, редовни професор
Машински факултет у Крагујевцу
Научна област: Механика

Др Новак Недић, редовни професор
Машински факултет у Краљеву
Научна област: Системи аутоматског управљања и
флуидне управљачке компоненте и системи

Др Мирослав Весковић, редовни професор, ментор
Машински факултет у Краљеву
Научна област: Механика

Списак радова мр Славише Шалинића

[1] **Miroslav Vesković, Slaviša Šalinić**, ON THE INSTABILITY OF EQUILIBRIUM OF MECHANICAL SYSTEMS IN A NON-POTENTIAL FIELD,

Objavljeno u zborniku radova: **VII International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements**, Vrnjačka Banja,

26-28 Septembar 2001., str.51-55, (2001).

[2] **Slaviša Šalinić**, DYNAMICS OF ELASTIC-PROPERTIES-HAVING INTERCONNECTED BODIES SYSTEMS,

Objavljeno u zborniku radova: **Fourth International Conference Heavy Machinery-HM'02 Kraljevo**, 27-30 Jun 2002., str. F.53-F.56, (2002).

[3] **Slaviša Šalinić**, DINAMIKA SISTEMA KRUTIH TELA SA REALNIM VEZAMA SA PRIMENOM NA TEHNIČKE OBJEKTE: MAGISTARSKA TEZA, Mašinski fakultet, Beograd, (2003) -84 str.

[4] **Slaviša Šalinić**, Modelling of a light elastic beam by a system of rigid bodies,

Objavljeno u zborniku radova: **First International Conference on COMPUTATIONAL MECHANICS CM'04**, Beograd, 15-17 Novembar 2004., (elektronska verzija zbornika)

[5] **Slaviša Šalinić**, Modelling of a light elastic beam by a system of rigid bodies, **Theoretical and Applied Mechanics, Vol 31 (3-4) (2004), Beograd**, str.395-410

[6] **Slaviša Šalinić**, On the brachistochrone problem with Coulomb friction,

Objavljeno u zborniku radova: **1st International Congress of Serbian Society of Mechanics, 10-13th April, 2007, Kopaonik**, pp.981-986,

[7] **Slaviša Šalinić**, Contribution to the brachistochrone problem with Coulomb friction, **Acta Mechanica, DOI 10.1007/s00707-008-0134-3, (in press)**