

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата
мр Горана М. Цвијовића, дипл. инж. маш.

Одлуком број 793/4 од 21.04. 2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације под насловом

**„ИСТРАЖИВАЊЕ УТИЦАЈА ЛОКАЛНОГ ОПТЕРЕЂЕЊА ТОЧКОВА КОЛИЦА
НА НАПОНСКА СТАЊА ЈЕДНОШИНСКИХ НОСАЧА МАШИНА ЗА
МЕХАНИЗАЦИЈУ“**

кандидата мр Горана М. Цвијовића, дипл. инж. маш.

Након прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, као и разговора са кандидатом, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

На основу захтева мр Горана Цвијовића, дипл. инж. маш., број 500/1 од 19.5. 2006. године, извештаја Комисије за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације, у саставу: проф. др Зоран Петковић, проф. др Слободан Тошић, проф. др Миломир Гашић, проф. др Слободан Ступар и проф. др Срђан Бошњак, и предлога Катедре за механизацију, број 500/2 од 06.12. 2006. године, Научно-наставно веће Машинског факултета у Београду донело је одлуку број 500/3 од 07.12 2006. године, којом се прихвата предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације „Истраживање утицаја локалног оптеређења точкова колица на напонска стања једноштинских носача машина за механизацију“ докторанда мр Горана М. Цвијовића, дипл. инж. маш. Истом одлуком за ментора је именован проф. др Зоран Петковић. Стручно веће за машинске, саобраћајне и организационе науке Универзитета у Београду донело је одлуку број 16/18 од 28.12. 2006. године којом је дата сагласност на предлог теме докторске дисертације мр Горана Цвијовића, дипл. инж. маш., под називом „Истраживање утицаја локалног оптеређења точкова колица на напонска стања једноштинских носача машина за механизацију“. Због одласка у пензију (01.10. 2013. године) ментора проф. др Зорана Петковића, на захтев кандидата и на основу предлога Катедре за механизацију, Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду донело је одлуку број 793/2 од 07.04. 2016. године којом је за ментора докторске дисертације именован проф. др Срђан Бошњак. Осим тога, на захтев кандидата, Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду донело је одлуку број 793/3 од 07.04. 2016. године којом је

одобрено продужење рока за израду докторске дисертације до 30.09. 2016. године. На основу обавештења ментора, проф. др Срђана Бошњака, да је докторанд мр Горана М. Цвијовића, дипл. инж. маш., завршио докторску дисертацију, наставно-научно веће Машинског факултета донело је одлуку број 793/4 од 21.04. 2016. године којом се за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације именују: проф. др Срђан Бошњак, проф. др Ненад Зрнић, проф. др Слободан Ступар, проф. др Миломир Гашић (Универзитет у Крагујевцу – Факултет за машинство и грађевинарство – Краљево) и доц. др Драган Милковић.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација мр Горана М. Цвијовића, дипл. инж. маш., под насловом **„Истраживање утицаја локалног оптерећења тачкова колица на напонска стања једношинских носача машина за механизацију“** припада области техничких наука – машинство, ужа научна област механизација, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

Ментор проф. др Срђан Бошњак је шеф Катедре за механизацију Машинског факултета Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор, публиковао је 26 радова у часописима са SCI листе (12 у категорији M21, 3 у категорији M22 и 8 у категорији M23) из области динамике и чврстоће машина за механизацију.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат мр Горан М. Цвијовић, дипл. инж. маш., рођен је 23. 06. 1969. године у Банатском Карловцу. Основну школу („Душан Јерковић“) завршио је у Банатском Карловцу, а средњу (Техничка школа „Петар Драпшин“) у Београду. На Машински факултет Универзитета у Београду уписао се 1989. а дипломирао је 1996. године. Исте године уписао је постдипломске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду. На Економском факултету Универзитета у Београду 1996. године уписао је постдипломске студије.

На Економском факултету Универзитета у Београду 07.11. 2002. године одбранио је магистарску тезу под називом „Управљање ризиком пласмана средстава осигуравајућих компанија на секундарном финансијском тржишту“.

На Машинском факултету Универзитета у Београду 28.02. 2005. године одбранио је магистарску тезу под називом „Утицај локалног савијања на напонска стања појаса носача једногредних транспортних система“.

У периоду од 1996. године до 1999. године радио је на Машинском факултету Универзитета у Београду у својству истраживача - сарадника.

Од 1999. године ради у Ваздухопловној академији у Београду прво као наставник, потом од 2001. године као помоћник директора и као директор од септембра 2006. године.

Говори руски језик, а служи се енглеским језиком.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација мр Горана Цвијовића, дипл. инж. маш., под називом: „Истраживање утицаја локалног оптерећења тачкова колица на напонска стања једношинских носача машина за механизацију“ написана је на српском језику, садржи 228 страна формата А4, 213 слика и дијаграма, 20 табела, 124 нумерисана израза и списак коришћене литературе на три стране.

Дисертација садржи следећа поглавља:

1. Уводна разматрања;
2. Експериментално истраживање локалног утицаја тачкова колица;
3. Коначноелементно истраживање локалног утицаја тачкова колица на опитни носач;
4. Упоредна анализа резултата мерења и коначноелементне анализе опитног носача;
5. Коначноелементно истраживање стандардних профила;
6. Упоредна анализа кривих напонских коефицијената;
7. Закључак.

Осим наведеног, дисертација садржи предговор, резиме на српском и енглеском језику, садржај, као и биографију аутора и изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

2.2. Кратки приказ појединих поглавља

У првом поглављу дат је критички осврт на релативно оскудну литературу из области прорачуна локалног напонског стања једношинских носача машина за механизацију. На основу упоредне анализе резултата прорачуна добијених применом презентираних поступака на носач изведен од широкопојасног профила HE-A 360, указано је на следеће чињенице: (а) значајно расипање резултата прорачуна применом поступака референтних аутора и актуелног стандарда EN 15011; (б) према свим референтним ауторима и изворима, подужни локални напони на доњој контури, у пресеку 0 (тачка фиктивног пресека контуре ребра и доње контуре доњег појаса), притискујућег су карактера, изузев код Хановера и Рајхвалда, односно, стандарда EN 15011; (в) сви аутори, извори и стандард EN 15011 наводе да су апсолутне вредности напона у кореспондентним тачкама једнаке, што је, како је у у првом поглављу дисертације доказано, неутемељена тврдња. Осим тога, дефинисани су предмет и циљеви истраживања, као и сама структура истраживања у оквиру докторске дисертације.

Друго поглавље посвећено је тензометријским истраживањима широкопојасног IPB профила HE-A 360, изведеним на испитном столу оригиналне конструкције. У току испитивања симулатор колица налазио се на средини распона носача, а мерење релативних деформација у централном попречном пресеку извршено је на 31 мерном месту. Извршена је серија мерења при чему је удаљеност тачкова од слободних ивица доњег појаса износила $i=5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 45, 50, 60$ и 70 mm. Идентификација напонског стања у референтним тачкама централног пресека опитног носача на основу измерених дилатација извршена је применом једначина за раванско (дводимензионално) стање напона. Због ограничења примењене тензометријске методе, приликом прорачуна напонских коефицијената у појединим зонама попречног пресека, коришћен је поступак линеарне интерполације. Формиране су линеаризоване криве напонских коефицијената у свим референтним пресецима носача и изложена детаљна анализа резултата тензометријских истраживања. На основу упоредне анализе презентираних резултата мерења и прорачуна, закључено је следеће: (а) мерно-аквизициони систем регистује „shear-leg” ефекат, што значи да његова осетљивост задовољава, односно да је тачност измерених вредности дилатација довољна за решавање постављеног проблема; (б) у зони транзиције доњи појас/ребро, на доњој контури доњег појаса у подужном правцу локално дејство тачкова изазива притискујуће напоне, што негира карактер одговарајућег локалног напона дефинисаног стандардом EN 15011; (в) у зони транзиције доњи појас/ребро вредности напонских коефицијената c_x на горњој контури доњег појаса веће су од апсолутних вредности посматраног напонског коефицијента на доњој контури; за случај који се најчешће јавља у инжењерској пракси, $i=20$ mm, вредност напонског коефицијента c_x на горњој површини већа је за $\approx 30\%$ од апсолутне вредности напонског коефицијента c_x на доњој површини; (г) у зони транзиције доњи појас/ребро вредности напонских коефицијената c_y на горњој контури доњег појаса веће су од вредности посматраног напонског коефицијента на доњој контури; за $i=20$ mm, вредност

напонског коефицијента c_y на горњој површини већа је за $\approx 11\%$ од апсолутне вредности напонског коефицијента c_y на доњој површини; (д) у референтним тачкама доње контуре доњег појаса које се налазе непосредно испод точка, вредности напонских коефицијената у подужном правцу (c_x) значајно су веће од апсолутних вредности напонских коефицијената у попречном правцу (c_y).

У трећем поглављу изложени су резултати анализе локалног утицаја тачкова колица на опитни носач применом методе коначних елемената. 3Д моделом обухваћене су геометријске имперфекције попречног пресека опитног носача, утврђене током његове димензионе контроле. Линеаризоване криве напонских коефицијената постављене су на два начина: (а) на основу прорачунских дилатација (ϵ МКЕ); (б) на основу прорачунских напона (σ МКЕ). Поступак σ МКЕ омогућава да се идентификација локалног напонског стања у посматраној тачки пресека одреди са тачношћу до реда величине нумеричке грешке, задржавајући при томе просторни (тродимензионални) карактер проблема. Са друге стране, на основу резултата тензометријског истраживања, бројне вредности напонских коефицијената одређене су применом једначина за раванско (дводимензионално) стање напона. Осим тога, ограничење примењеног поступка тензометрије представља и немогућност да се у истој тачки одреде дилатације у два међусобно управна правца. Управо због наведених чињеница, вредности напонских коефицијената одређене су и на основу прорачунских дилатација (ϵ МКЕ), уз примену поступка коришћеног током одређивања вредности напонских коефицијената на основу измерених дилатација. То је учињено са циљем да се процени ниво грешке који се нужно чини свођењем проблема одређивања напонских коефицијената на проблем дводимензионалног напонског стања. На основу подробне дискусије и упоредне анализе резултата коначноелементног истраживања, закључено је следеће: (а) облици и токови линеаризованих кривих напонских коефицијената одређених на основу ϵ МКЕ у доброј су сагласности са облицима и токовима одговарајућих линеаризованих кривих одређених применом σ МКЕ; (б) процентуална одступања резултата добијених применом ϵ МКЕ, односно, свођењем проблема одређивања напонских коефицијената на равански проблем, у прихватљивим су границама на целокупном испитном домену; важно је напоменути да поменута одступања имају изузетно ниске вредности када напонски коефицијенти имају највеће апсолутне вредности, односно, када су напони изазвани локалним утицајем точка највећи; највеће вредности одступања јављају се при најнижим вредностима напонских коефицијената; изложене чињенице у потпуности потврђују валидност поступка одређивања вредности напонских коефицијената свођењем тродимензионалног напонског стања на дводимензионално; (в) у зони транзиције доњи појас/ребро вредности напонског коефицијента c_x су негативне, што значи да су напони у подужном правцу на доњој контури доњег појаса, изазвани локалним дејством точка, притискујући; овај закључак негира карактер напона у посматраној зони дефинисан стандардом EN 15011; (г) вредности напонских коефицијената c_x у зони транзиције доњи појас/ребро на горњој контури доњег појаса знатно су веће од апсолутних вредности посматраног напонског коефицијента на доњој контури; (д) вредности напонских коефицијената c_y у зони транзиције доњи појас/ребро на горњој контури доњег појаса знатно су веће од вредности посматраног напонског коефицијента на доњој контури; (ђ) тачка („0“) фиктивног пресека контуре ребра и доње контуре доњег појаса, која је према стандарду EN 15011 [5] једна од тачака у којој се врши провера чврстоће носача изложеног локалном дејству точка, није меродавна за доказ чврстоће зато што је напонско стање у њој ниже од напонског стања на горњој контури доњег појаса у зони транзиције, тако да поступак провере локалне чврстоће носача прописан поменутиим стандардом даје резултате на страни несигурности.

Четврто поглавље дисертације обухвата детаљну упоредну анализу резултата мерења и резултата коначноелементног прорачуна опитног носача, као и анализу могућих узрока одступања резултата експериментално-нумеричких истраживања. На основу поменутих анализа, закључено је следеће: (а) облици и токови линеаризованих кривих зависности

напонских коефицијената од положаја точка у потпуности прате облике и токове линеаризованих кривих добијених применом методе коначних елемената; (б) експериментално одређене вредности напонских коефицијената у доброј су сагласности са вредностима одређеним на основу коначноелементне анализе; (в) одступања експериментално одређених вредности напонских коефицијената доминантно су последица: грешака у позиционирању мерних елемената и симулатора колица, као и грешака које се чине линеарном интерполацијом дилатација на суседним мерним местима; (г) процентуална одступања резултата експерименталних истраживања су у врло прихватљивим границама за све испитне положаје точка, посебно због чињенице да су њихове вредности најмање када разматрани напонски коефицијенти имају највеће апсолутне вредности, док се највеће вредности одступања јављају при најмањим апсолутним вредностима поменутих коефицијената, дакле, када је утицај одговарајућих напона изазваних локалним дејством точка најмањи; (д) напони изазвани локалним утицајем точка нису истих апсолутних вредности у кореспондентним тачкама горње и доње контуре доњег појаса, како се то наводи у референтној литератури; (ђ) у зони транзиције горње контуре доњег појаса у ребро јављају се већи локални напони у односу на кореспондентне тачке доње контуре; (е) локални напони у поменутој зони горње контуре већи су од локалних напона у фиктивној пресечној тачки контуре ребра и доње контуре појаса, која се у референтној литератури усваја као једна од тачака меродавних за идентификацију локалног утицаја точка; (ж) у зони транзиције, на доњој површини доњег појаса у подужном правцу јављају се притискујући напони, што у потпуности негира резултате изложене у раду Хановера и Рајхвалда, као и поступак идентификације локалног напонског стања прописан стандардом EN 15011.

У петом поглављу дисертације изложени су резултати коначноелементних истраживања низа стандардних профила. Анализом су обухваћени средње широки (IPE) стандардни профили (DIN 1025), висине 300 mm и 360 mm (IPE 300 и IPE 360), као и на широкопојасни IPB профил HE-A 360, без геометријских несавршености. Средње широки профили IPE 300 и IPE 360 одабрани су зато што су на њима извршена истраживања на основу којих је донет стандард EN 15011, док је широкопојасни профил HE-A 360 без геометријских имперфекција одабран због тога што је експериментално истраживање у оквиру дисертације (поглавље 2) обављено управо на том профилу, при чему су геометријском контролом попречног пресека уочена одступања референтних димензија у односу на стандард DIN 1025. На основу резултата истраживања постављене су оригиналне криве напонских коефицијената, у регресионој форми која се користи у стандарду EN 15011. На основу упоредне анализе, закључено је следеће: (а) у односу на профил IPE 300, процентуална одступања апсолутних вредности напонских коефицијената у референтним тачкама профила IPE 360 прихватљива су са инжењерског аспекта, осим за коефицијент c_x у тачки S (тачка доње контуре доњег појаса кореспондентна тачки В почетка транзиције појас/ребро на горњој контури) у којој максимална апсолутна вредност процентуалног одступања износи 21,4%; (б) процентуална одступања апсолутних вредности напонских коефицијената профила HE-A 360 у односу на апсолутне вредности напонских коефицијената профила IPE 300, знатно су већа. При томе су максималне апсолутне вредности одступања коефицијената c_x у свим референтним тачкама веће од 10%. У тачкама S и В достижу 34,8% и 14,1%, респективно. У истим тачкама максималне апсолутне вредности процентуалних одступања коефицијента c_y износе 4,9% и 4,1%, респективно. Највећа апсолутна вредност процентуалног одступања коефицијента c_y јавља се у тачки 1 и износи 33,0%. Изложене чињенице доводе у питање могућности поуздане примене истих израза за израчунавање напона изазваних локалним дејством точка код свих класа профила са паралелним контурама појаса. Ово је посебно важно због тога што постојећа литература и важећа техничка регулатива не пружају могућност оцене грешке која се чини током идентификације напонског стања изазваног локалним дејством точка. Осим тога, извршена је и анализа утицаја величине профила класе HE-A на вредности напонских коефицијената. При томе су разматрани профили HE-A 300, HE-A 360, HE-A 450, HE-A 550, HE-A 650, HE-A 800 и HE-A 1000, за вредност параметра положаја точка $\lambda=0,1$. Као основа за

упоређивање, односно идентификацију проценталних одступања апсолутних вредности напонских коефицијената усвојен је профил HE-A 360 на основу кога су претходно формиране криве напонских коефицијената поменуте класе профила. На основу резултата истраживања закључено је следеће: (а) минималне вредности процентуалних одступања вредности напонских коефицијената c_x у свим тачкама у зони транзиције врло су високе; њихове вредности у тачкама 0, S и B износе $-16,5\%$, $-52,7\%$ и $-21,4\%$, респективно; (б) максималне вредности процентуалних одступања вредности напонских коефицијената c_x у тачкама 0, S и B износе $6,5\%$, $12,1,7\%$ и $3,5\%$, респективно; екстремне вредности процентуалних одступања вредности напонских коефицијената c_y у тачки 0 ($-17,8\%$ и $29,8\%$), са инжењерског аспекта нису прихватљиве (апсолутна вредност већа од 10%); у тачкама S и B апсолутне вредности процентуалних одступања вредности напонског коефицијента c_y мање су од 10% ; (в) у тачки 1 (тачка на доњој контури доњег појаса, непосредно испод точка), минимална вредност процентуалног одступања напонског коефицијента c_x износи $-82,7\%$ и јавља се код профила HE-A 300; у свим осталим случајевима, апсолутна вредност разматраног процентуалног одступања мања је од 10% , што је са инжењерског аспекта прихватљив ниво грешке; (г) екстремне вредности процентуалних одступања напонског коефицијента c_y у тачки 1 монотонно опадају од $117,6\%$ до $-53,3\%$; (д) процентуална одступања апсолутних вредности напонског коефицијента c_x у тачки 2 (доња слободна ивица доњег појаса) занемарљиво су мала; дакле, вредности коефицијента c_x у тачки 2 инваријантне су у односу на величину разматране класе профила. У овом поглављу анализиран је и утицај геометријских имперфекција попречног пресека носача HE-A 360 (на коме су извршена тензометријска истраживања) на вредности напонских коефицијената, за интервал промене параметра положаја $0 \leq \lambda \leq 0,3$. При томе је утврђено следеће: (а) апсолутне вредности напонских коефицијената код лабораторијског профила HE-A 360 веће су него код стандардног профила HE-A 360, у свим референтним тачкама попречног пресека, осим апсолутне вредности напонског коефицијента c_y у тачки 1; (б) само у зони транзиције процентуална одступања апсолутних вредности напонских коефицијената c_x достижу значајније вредности: $10,7\%$ у тачки S, односно, $9,0\%$ у тачки B; у свим осталим случајевима апсолутне вредности процентуалних одступања мање су од 5% . Коначно, у петом поглављу изнет је врло значајан став: суперпонирање утицаја класе профила са паралелном контуром појасева, величине пресека и могућих геометријских имперфекција попречног пресека може да резултира релативно великом грешком током доказивања чврстоће носача.

Шесто поглавље обухвата упоредну анализу вредности напонских коефицијената добијених на основу оригиналних кривих постављених у петом поглављу и кривих дефинисаних стандардом EN 15011, на домену промене параметра положаја точка који је доминантан у реалним конструкцијама ($\lambda \leq 0,3$). На основу поменуте анализе утврђено је следеће: (а) зона транзиције доњи појас/ребро јесте једна од зона меродавних за доказ чврстоће носача изложеног дејству локалног оптерећења; као репрезентативну тачку у поменутој зони стандард EN 15011 усваја тачку фиктивног пресека доње контуре доњег појаса и контуре ребра (тачка 0); у поменутој тачки вредности стандардне криве напонског коефицијента у подужном правцу c_{x0} позитивне су, док су вредности добијене коначноелементном анализом негативне; дакле, напони у подужном правцу, изазвани локалним дејством точка нису затежући, већ притискујући, што представља озбиљну негативну реакцију поступка доказивања чврстоће прописаног стандардом EN 15011; (б) апсолутне вредности напонског коефицијента c_{x0} добијене коначноелементним истраживањем профила HE-A 360 знатно одступају (у границама од $\approx -10,8\%$ до $\approx 61,0\%$) од вредности које даје стандардна крива c_{x0} ; (в) коначноелементним истраживањем профила HE-A 360 утврђено је да су у тачки S на доњој контури доњег појаса, која је кореспондентна тачки B (тачка на горњој контури на почетку радијуса транзиције), апсолутне вредности напонског коефицијента c_x веће од апсолутних вредности одговарајућег напонског коефицијента у тачки 0, односно, $|c_{xS}| > |c_{x0}|$; (г) код свих истраживаних профила, процентуална одступања апсолутних вредности напонских коефицијената c_{xS} у односу на вредности стандардне криве

c_{x0} , врло су висока и крећу се у широким границама: код профила HE-A 360 од $\approx 20,4\%$ до $\approx 175,1\%$, код профила IPE 300 од $\approx -10,7\%$ до $\approx 126,0\%$, а код профила IPE 360 од $\approx -29,8\%$ до $\approx 123,0\%$; (д) вредности напонског коефицијента c_x у тачки В (c_{xB}) знатно су веће од апсолутних вредности напонског коефицијента у кореспондентној тачки доњег појаса (c_{xS}), при чему се вредности процентуалних разлика крећу у следећим границама: код профила IPE 300 од $\approx 65,3\%$ до $\approx 43,5\%$, код профила IPE 360 од $\approx 37,0\%$ до $\approx 87,8\%$, а код профила HE-A 360 од $\approx 22,9\%$ до $\approx 40,0\%$; у односу на вредности стандардне криве c_{x0} , проценуална одступања напонских кривих c_{xB} , добијених на основу коначноелементних истраживања, имају знатно веће вредности и крећу се у границама: код профила HE-A 360 од $\approx 31,9\%$ до $\approx 205,3\%$, код профила IPE 300 од $\approx 47,6\%$ до $\approx 224,7\%$, а код профила IPE 360 од $\approx 205,3\%$ до $\approx 31,9\%$; (ђ) апсолутне вредности напонског коефицијента c_y у тачки 0 (c_{y0}) код профила HE-A 360 мање су од одговарајућих вредности стандардне криве c_{y0} , при чему се процентуално одступање налази у границама од $-36,5\%$ до $-25,4\%$; (е) процентуална одступања апсолутне вредности напонског коефицијента c_y у тачки S (c_{yS}) у односу на одговарајуће вредности стандардне криве c_{y0} релативно су мала код свих испитиваних профила; код средње широких профила (IPE) апсолутне вредности проценуалног одступања мање су од $3,8\%$, док је код широкопојасног профила HE-A 360 максимална вредност поменутог одступања мања од $7,8\%$; (ж) вредности напонског коефицијента c_y у тачки В (c_{yB}) веће су од апсолутних вредности напонског коефицијента c_{yS} , при чему се процентуална одступања код свих разматраних профила налазе у релативно уским границама: код профила IPE 300 од $\approx 14,5\%$ до $\approx 15,0\%$, код профила IPE 360 од $\approx 12,5\%$ до $\approx 13,5\%$, а код профила HE-A 360 од $\approx 10,7\%$ до $\approx 13,6\%$; (з) код свих разматраних профила вредности напонског коефицијента c_{yB} веће су од одговарајућих вредности стандардне криве $-c_{y0}$, при чему се процентуалне разлике крећу у границама од $\approx 19,1\%$ до $\approx 22,0\%$ код профила HE-A 360, код профила IPE 300 од $\approx 17,2\%$ до $\approx 19,3\%$, а код профила IPE 360 од $\approx 11,8\%$ до $\approx 16,6\%$; (и) вредности напонских коефицијената c_x у тачки 1 (c_{x1}) значајно су веће од вредности које даје стандардна крива c_{x1} , при чему се код профила HE-A 360 проценуална одступања крећу у границама од $\approx 13,8\%$ до $\approx 24,1\%$, код профила IPE 300 од $\approx 3,2\%$ до $\approx 14,9\%$, а код профила IPE 360 од $\approx 3,9\%$ до $\approx 15,0\%$; (ј) вредности напонских коефицијената c_y у тачки 1 (c_{y1}) значајно су веће од вредности које даје стандардна крива c_{y1} , при чему се код профила HE-A 360 проценуална одступања крећу у границама од $\approx 26,2\%$ до $\approx 61,0\%$, код профила IPE 300 од $\approx 7,5\%$ до $\approx 34,7\%$, а код профила IPE 360 од $\approx 6,2\%$ до $\approx 47,4\%$; (к) проценуална одступања вредности напонског коефицијента c_x у тачки 2 (c_{x2}) у односу на вредности стандардне криве c_{x2} , крећу се у границама од $\approx 15,5\%$ до $\approx 55,3\%$ код профила HE-A 360, код профила IPE 300 у границама од $\approx 4,4\%$ до $\approx 54,7\%$, а код профила IPE 360 од $\approx 4,5\%$ до $\approx 56,0\%$.

У завршном, седмом поглављу дисертације изложен је кратки осврт на значај и методологију истраживања, наведени су кључни резултати истраживања – научни доприноси и наведени могући правци даљих истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Савременост истраживања потврђују три чињенице: (а) у системима унутрашњег транспорта широко се примењује концепт колица овешених о ваљани профил отвореног попречног пресека, који представља базну носећу конструкцију за транспорт терета; осим тога, често се примењују и конструкциона решења код којих се ваљани профил ојачава допунским кутијастим носачем, чиме се значајно повећава носивост дизалица; (б) европски стандард EN 15011 са анексом који третира проблем локалног утицаја точкава колица донет је 2014. године; (в) за израду главних носача једногредних дизалица и дизаличних стаза, данас се доминантно користе широкопојасни IPB (HE-A, HE-B) профили, који нису били обухваћени истраживањима на основу којих је донет стандард EN 15011.

Током истраживања у оквиру докторске дисертације пројектован је и израђен оригинални испитни сто за тензометријско истраживање локалног утицаја тачкова колица на напонско стање оптерећеног појаса, развијен поступак анализе експерименталних резултата применом оригиналног софтвера и формиране оригиналне криве за израчунавање напонских коефицијената.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Попис литературе која је коришћена приликом израде дисертације дат је у посебном поглављу. На основу анализе списка коришћене литературе закључује се да је кандидат имао на располагању и проучио сву релевантну литературу. На основу ње сачињен је преглед и критичка анализа постојећег стања у области истраживања утицаја локалног оптерећења тачкова колица на напонска стања једношинских носача машина за механизацију. Резултати упоредне анализе постојећих поступака идентификације локалних напонских стања појаса по коме се крећу колица са теретом послужили су као основа за одређивање научних циљева дисертације, структуре и методологије истраживања. У свим поглављима дисертације, кандидат се позива на референтне изворе и даје упоредне анализе резултата сопствених истраживања и резултата публикованих истраживања. Кандидат је коректно проучио и цитирао све релевантне литературне изворе.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Током реализације циљева истраживања коришћене су следеће методе и технике истраживања:

- методе систематизације и класификације, на основу којих је одређен правац и формирана структура истраживања;
- тензометријска метода за експериментално истраживање деформационог стања појасева носача оптерећених тачковима;
- метода 3D моделирања чијом су применом обликовани прорачунски модели;
- метода коначних елемената на основу које су одређена деформационо-напонска стања доњег појаса оптерећеног тачковима колица;
- методе анализе и синтезе.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати експериментално-нумеричких истраживања спроведених током израде докторске дисертације представљају значајан допринос у области чврстоће једношинских носача машина за механизацију због следећих чињеница: (а) у потпуности негирају поступак прорачуна локалних напонских стања у зони транзиције доњи појас/ребро који су публиковали Хановер и Рајхвалд, а који представља део стандарда EN 15011; (б) истраживањем су обухваћени широкопојани профили који се данас доминантно користе за израду једношинских носача машина за механизацију, што није случај са истраживањима релевантних аутора која су претходила доношењу стандарда EN 15011; (в) формиране су оригиналне криве напонских коефицијената за широкопојасне профиле; (д) указали су на проблем акумулације грешке коришћењем истих кривих напонских коефицијената за различите класе профила, као и за различите величине исте класе профила. Примена кривих напонских коефицијената омогућава поуздану идентификацију локалних напонских стања код широкопојасних профила, знатно тачнију од оне коју прописује стандард EN 15011, што је доказано успешном реализацијом пројекта два мосна крана.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Комисија сматра да је кандидат током израде докторске дисертације показао да поседује неопходно знање и смисао да самостално препозна и систематски решава инжењерске и научне проблеме, примењујући савремене методе експериментално-нумеричког карактера,

као и да на научно коректан начин користи резултате наведене у постојећој литератури. Резултати истраживања проистекли из докторске дисертације представљају доказ способности кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Резултати истраживања спроведих током израде дисертације значајно су проширили постојећа знања и представљају несумњиви научни допринос у области идентификације локалних напонских стања једношинских носача машина за механизацију. Он се огледа у следећем:

- реализовано је техничко решење оригиналне испитне станице за истраживање напонског стања изазваног локалним дејством точка;
- формиран је оригинални поступак и развијен софтвер за одређивање локалних напонских стања на основу резултата тензометријских истраживања;
- тачка фиктивног пресека доње контуре појаса и контуре ребра (тачка „0“ према [5]) није меродавна за доказ чврстоће носача изложеног дејству локалног утицаја точка, како је то прописано стандардом EN 15011; за доказ чврстоће у зони транзиције доњи појас/ребро меродавно је напонско стање у референтним тачкама пресека на почетку радијуса транзиције;
- у зони транзиције, на доњој контури доњег појаса у подужном правцу јављају се притискујући напони, што у потпуности негира поступак идентификације локалног напонског стања прописан стандардом EN 15011;
- напони у кореспондентним тачкама доње и горње контуре, изазвани локалним дејством точка, нису истих апсолутних вредности како се то наводи у стандарду EN 15011;
- апсолутне вредности напона изазваних локалним дејством точка на горњој и доњој контури доњег појаса нису једнаке ни у једној референтној тачки попречног пресека, што негира одредбу стандарда EN 15011 према којој су апсолутне вредности напонских коефицијената у кореспондентним тачкама горње и доње контуре једнаке;
- у зони транзиције и у тачки доње контуре која се налази непосредно испод точка, процентуална одступања апсолутних вредности напонских коефицијената различитих врста профила са паралелним контурама, са инжењерског аспекта недопустиво су висока; наведени резултат истраживања доводи у питање тачност примене истих израза (кривих) за идентификацију локалног напонског стања код свих профила са паралелним контурама појасева, посебно у светлу чињенице да ни стандард EN 15011, нити постојећа литература, не разматрају проблем грешке која се на тај начин чини;
- величина профила исте класе значајно утиче на вредности напонских коефицијената, осим на слободној ивици доњег појаса; процентуална одступања апсолутних вредности напонских коефицијената у зони транзиције и у тачки доње контуре која се налази непосредно испод точка, врло су висока;
- утицај геометријске имперфекције попречног пресека профила на вредности напонских коефицијената, изражен је у референтним тачкама у зони транзиције, док је у осталим референтним тачкама попречног пресека релативно низак;
- формиране су оригиналне криве напонских коефицијената за истраживане средње широке профиле (IPE) и широкопојасни профил (HE-A) и утврђено да вредности које дају криве дефинисане стандардом EN 15011 значајно одступају од вредности добијених на основу коначноелементних и тензометријских истраживања.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Проблем идентификације напонског стања изазваног локалним дејством точка на појас носача отвореног попречног пресека од изузетне је важности за доказ чврстоће структуре једношинских машина за механизацију. У оквиру докторске дисертације обављена су

тензометријска истраживања локалног напонског стања широкопојасног профила, на испитном столу оригиналне концепције и конструкције. Валидација резултата експерименталних истраживања извршена је на основу резултата коначноелементних истраживања. Резултати истраживања указали су на суштинске грешке у поступцима прорачуна локалних напона у зони транзиције доњи појас/ребро који се наводе у радовима Хановера и Рајхвалда, а који су ушли и у актуелну техничку регулативу Европске уније – стандард EN 15011. Дакле, резултати истраживања представљају важан искорак на научном плану и стручном плану, зато што омогућавају поуздану идентификацију локалних напонских стања носача отвореног попречног пресека, изложених локалном дејству тачкова колица. Осим тога, они отварају и питање валидности поступка прорачуна локалних напонских стања изазваних дејством тачова и код машина код којих су главни носачи кутијастог попречног пресека, што је, такође, од изузетног значаја.

4.3. Верификација научних доприноса

Део доприноса докторске дисертације верификован је у следећим радовима:

Категорија M24

1. **Цвијовић, Г.**, Вошњак, С.: *The impact of the transition radius lower flange-web on local stress of monorail crane girder*, FME Transactions, Vol. 45, No 1, pp. 39-44, 2017. (потврда)

Категорија M52

2. **Цвијовић, Г.**, Бошњак, С.: *Упоредна анализа метода прорачуна утицаја локалног савијања појаса једношинских носача дизалица*, Техника, Vol. 71, No 4, 2016. (потврда)

Стручно веће за машинске, саобраћајне и организационе науке Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације мр Горана Цвијовића пре 30.06. 2008. године, због чега кандидат може да приступи одбрани дисертације без објављивања рада у часопису са SCI листе.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и детаљне анализе докторске дисертације под називом **„Истраживање утицаја локалног оптерећења тачкова колица на напонска стања једношинских носача машина за механизацију“** кандидата мр Горана М. Цвијовића, дипл. инж. маш., Комисија за оцену и одбрану констатује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима у научно истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима и Статутом Машинског факултета у Београду.

На основу резултата и закључака истраживања приказаних у докторској дисертацији и чињенице да је анализирана проблематика значајна и актуелна у стручној и научној јавности, констатује се да је кандидат мр Горан М. Цвијовић, дипл. инж. маш., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања. Кандидат је остварио оригиналне резултате у области локалне чврстоће носача једношинских машина за механизацију, користећи при том релевантну литературу и резултате сопствених експериментално-нумеричких истраживања. Резултати истраживања систематично су обрађени и на основу њих изведени су вредни закључци о локалном напонском стању локално оптерећеног појаса носача, који су већ примењени за решавање конкретних инжењерских проблема

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључила је да дисертација представља оригинални научни рад са научним доприносом у области техничких наука, ужа научна област Механизација, па сагласно томе предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да прихвати Реферат Комисије и упути га Већу научних области техничких наука Универзитета и Београду на усвајање, а дисертацију **„Истраживање утицаја локалног оптерећења точкова колица на напонска стања једношинских носача машина за механизацију“** кандидата мр Горана М. Цвијовића, дипл. инж. маш., стави на увид јавности.

У Београду, 13.06. 2016. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

проф. др Срђан Бошњак
Универзитет у Београду – Машински факултет

проф. др Ненад Зрнић
Универзитет у Београду – Машински факултет

проф. др Слободан Ступар
Универзитет у Београду – Машински факултет

проф. др Миломир Гашић
Универзитет у Крагујевцу – Факултет за машинство и
грађевинарство – Краљево

доц. др Драган Милковић
Универзитет у Београду – Машински факултет