

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

991/5
(Број захтева)

Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)

19.09.2013. године
(Датум)

З А Х Т Е В
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

МЕТОДОЛОГИЈА ОДРЖАВАЊА ПОГОНСКИХ АГРЕГАТА СПЕЦИЈАЛНИХ ВОЈНИХ ВОЗИЛА

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Машинство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: СЛАВКО (Никола) РАКИЋ

2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Војнотехничка Академија Војске
Југославије

3. Годina дипломирања: 2000.

4. Назив магистарске тезе кандидата: Истраживање радног процеса у клипнорadiјалној дистрибутор
пумпи високог притиска за убризгавање горива код дизел мотора

5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: Машински факултет Београд

6. Годina odbrane magistarske teze: 2006.

7. Назив Факултета на коме је кандидат завршио докторске студије: _____ / _____

Одсек, смер или група: _____ / _____

Година завршетка докторских студија: _____ / _____

Обавештавамо Вас да је _____
 Наставно-научно веће Факултета
 (назив надлежног тела Факултета)

на седници одржanoј 19.09.2013.
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Прилог:

1. Предлог теме докторске disertacije sa obrazloženjem.
2. Akt nadležnog tela fakulteta o podobnosti teme za izradu doktorске disertacije.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 991/5
Датум: 19.09.2013. године
Београд, Краљице Марије 16

На захтев мр Славка Ракића, дипл.инж.маш., бр. 991/1 од 09.05.2013. године, извештаја Комисије у саставу: проф.др Угљеша Бугарић, проф.др Весна Спасојевић-Бркић, проф.др Душан Петровић, проф.др Драган Александрић и проф.др Предраг Јованчић, РГФ Београд, бр. 991/4 од 12.09.2013. године, а на основу чл. 128. Закона о високом образовању, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду на седници од 19.09.2013. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације **«МЕТОДОЛОГИЈА ОДРЖАВАЊА ПОГОНСКИХ АГРЕГАТА СПЕЦИЈАЛНИХ ВОЈНИХ ВОЗИЛА»** докторанта **МР СЛАВКА РАКИЋА**, дипл.инж.маш.

За ментора докторанту **Мр Славку Ракићу**, именује се **проф.др Угљеша Бугарић**.

Одлуку доставити: Већу Научних области техничких наука Универзитета у Београду на сагласност, ментору и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Предмет: Извештај Комисије за подношење извештаја о прихватању теме докторске дисертације **мр Славка Ракића, дипл. инж. маш.** по одлуци Наставно-научног већа број 991/3 од 27.06.2013. године.

На основу поднете пријаве за израду докторске дисертације мр Славка Ракића, дипл.инж.маш. број 991/1 од 09.05.2013. године, дате сагласности Катедре за Индустријско инжењерство број 991/2 од 19.06.2013. године и Одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 991/3 од 27.06.2013. године именовани смо за чланове Комисије за подношење извештаја о прихватању теме докторске дисертације кандидата мр Славка Ракића. Увидом у документацију, коју је кандидат мр Славко Ракић приложио уз свој захтев за израду докторске дисертације, после разматрања Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

о прихватању теме докторске дисертације
под насловом

Методологија одржавања погонских агрегата специјалних војних возила

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1.1. Општи биографски подаци

Кандидат Ракић Николе Славко, рођен је 31.01.1976. године у Бихаћу, СР Босна и Херцеговина. Ожењен је, има двоје деце, живи у Београду у улици Петра Коњовића 12³, општина Раковица.

Школовање

Основно образовање: Основну школу „Здравко Чечар“ завршио је у Босанском Петровцу, СР Босна и Херцеговина, општина Босански Петровац, са одличним успехом.

Средње образовање: Средњу машинску школу „Радивој Родић“ завршио је у Босанском Петровцу са одличним успехом.

Високо образовање: Војнотехничку Академију Војске Југославије, смер Мотори и моторна возила, студирао је у периоду од 1995. до 2000. године. Просечна оцена у току студија била је 8.59. Дипломски рад на тему „Оптимизација пнеуматика теренског моторног возила формуле бхб теренске носивости 30 kN са аспекта проходности и економичности“ одбранио је 2000. године са оценом 10 (десет). Последипломске студије на Машинском

факултету у Београду, смер мотори СУС, уписао је 2001/2002. године. Магистарску тезу под називом „Истраживање радног процеса у клипнорадијалној дистрибутор пумпи високог притиска за убризгавање горива код дизел мотора“, одбранио је 24.05.2006. године.

Кретање у послу

У активној војној служби је од 30.09.2000. године. Од 2000. до 2005. године радио је на Војнотехничкој академији, на месту начелника класе студената и уједно асистент на катедри Мотора и моторних возила из предмета "Мотори СУС". Од 2006. до 2010. године радио је као наставник сарадник на катедри Мотора и моторних возила Војне академије, где је реализовао наставу студентима Војне академије из предмета "Мотори и моторна возила", "Борбена возила" и вежбе из предмета "Мотори СУС".

Од јула 2010. године до данас ради у Министарству одбране Сектор за материјалне ресурсе Управа за одбрамбене технологије на месту референта за борбена возила Војске Србије. На радном месту укључен је у пројекат освајања генералног ремонта тенка М-84, сертификавање домаћих произвођача за производњу резервних делова за борбена возила на коришћењу у Војсци Србије, писање стандарда у области оптимизације животног циклуса средстава наоружања и војне опреме и др.

Познавање страних језика

- Енглески језик течно чита, говори и пише (има сертификат STANAG 6001).
- Немачким језиком се служи на средњем нивоу.

Познавање рада на рачунару

- Напредно коришћење: софтверских пакета: AutoCad, Matlab, Pro engineer, Corel Draw. Има сертификат ECDL.

Истраживачке области

- Одржавање, мотори СУС.

Остало

- Завршен дидактичко-методички курс за оспособљавање наставника.

1.2 Сечено научноистраживачко искуство

Магистарски рад:

Тема: Истраживање радног процеса у клипнорадијалној дистрибутор пумпи високог притиска за убризгавање горива код дизел мотора

Област: Мотори СУС

Ментор: доцент др Милош Цветић, дипл.инж.маш.

Факултет – универзитет: Машински факултет Универзитета у Београду

Одбрана: 24.05.2006. године.

У магистарском раду је представљен прилог истраживања радног процеса система за убризгавање горива типа "пумпа – цев- бризгач" код дизел мотора СУС. Основу система убризгавања чинила је клипно-радијална пумпа високог притиска за убризгавање горива код дизел мотора. Циљ је био да се створи поуздан поступак за рачунско симулирање радног процеса у систему убризгавања и да се избегну сви или бар већина уочених недостатака експерименталног поступка. У раду је усвојен математички модел који се заснива на теоријским поставкама о механичким и хидродинамичким процесима система.

Усвојени математички модел је представљен системом једначина које се формулишу уз одређене претпоставке и омогућавају анализу одвијања процеса. Систем једначина се састоји

од обичних нехомогених диференцијалних једначина и хиперболичких диференцијалних једначина другог реда. Гранични услови у пумпи и бризгачу су дефинисани обичним нехомогеним диференцијалним једначинама, док су хидродинамички процеси струјања у цевоводу високог притиска описани са хиперболичким парцијалним диференцијалним једначинама. За нумеричку интеграцију диференцијалних једначина коришћена је метода Рунге-Кутта, док је за решавање парцијалних диференцијалних једначина коришћена метода раздвајања флуks вектора. За обе методе је детаљно описан алгоритам, на основу кога је направљен програм који омогућује симултану интеграцију парцијалних диференцијалних једначина струјања у цевоводу високог притиска и обичних нелинеарних диференцијалних једначина граничних услова.

Експериментални део рада садржи резултате мерења притиска горива на крају цевовода, односно на уласку у бризгач, ход игле бризгача и закон убризгавања, при различитим режимима рада. Експериментом је верификован усвојени модел, што је потврђено поређењем резултата експеримента и резултата примене математичког модела.

Као резултат свега претходног, кандидат је објавио следеће радове:

Радови у међународном часопису:

1. **Ракић, S.**, Cvetic, M.: Calculation of flow parameters inside the high pressure line of fuel injection system in diesel engines, FME Transactions, Vol. 36, No. 3, Faculty of Mechanical Engineering Belgrade, Belgrade, 2008.

Радови у часописима националног значаја:

1. **Ракић, С.:** Анализа примене течног нафтног гаса као погонског енергента мотора СУС, Војнотехнички гласник, Вол. 56, бр. 1, Београд, 2008, пп. 74-90.

Радови саопштени на конференцијама, штампани у целини:

1. **Ракић, С.**, Цветић, М.: Проблематика моделирања радног процеса система за убризгавање горива са клипно-радијалном дистрибутор пумпом код дизел мотора, XXI међународни научно-стручни скуп "Наука и моторна возила 2007", Београд, 2007.
2. Перић, С., Пешић, З., **Ракић, С.**, Гркић, А: Промене физичко хемијских карактеристика мењачког уља као параметар идентификације стања и дијагностике мењачког преносника, XXI међународни научно-стручни скуп "Наука и моторна возила 2007", Београд, 2007.
3. Поповић, З., Лазаревић, Д., Милидраг, С., **Ракић, С.:** Аналитичко планирање губитака радног флуида у ХСТ у функцији оптимизације система трансформације, Научно-стручни скуп "Истраживање и развој машинских елемената и система ИРМЕС 2002", Јахорина, 2002.
4. Поповић, З., **Ракић, С.**, Милидраг, С.: Оптималан избор пнеуматика за моторна возила - ТАМ 110 Т7, VI Међународни научно-стручни скуп "Извор и пренос снаге - ИПС 2001", Подгорица - Бечићи, 2001.

1.3 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат мр Славко Ракић, дипл. инж. маш., је својим досадашњим истраживачким активностима показао посебну заинтересованост, квалитет и способност за научноистраживачки рад.

Биографски подаци, објављени научни радови, и други набројани резултати Славка Ракића, дипл.инж.маш., суштински су повезани са научном облашћу којој припада предложена тема, што кандидата, према мишљењу Комисије, квалификује за самосталан, успешан и ефикасан теоријски и експериментални научноистраживачки рад на предложеној докторској дисертацији.

На основу претходног комисија је закључила да мр Славко Ракић, дипл.инж.маш. поседује све потребне квалификације и испуњава услове за одобравање израде докторске дисертације. Кандидат има научно-стручну усмереност за области које покрива предложена тема, што се огледа у научном и стручном ангажману, те се сматра подобним за успешан и

ефикасан теоријски и експериментални научноистраживачки рад на предложеној докторској дисертацији.

2. ОБЛАСТ, ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

2.1. Област истраживања

Најзначајнију категорију специјалних војних возила Војске Србије чине тенкови, који представљају основна борбена возила велике проходности, снажног наоружања, заштите и покретљивости, уз могућност извршавања борбених задатака дејством из места и из покрета. За подршку тенковима у извршењу борбених задатака развијена је посебна категорија специјалних војних возила намењена за превоз пешадије непосредно до места извршења борбених задатака или подршку у извршењу задатака (и самостално дејство) – борбена возила пешадије.

Због специфичне намене, елементи структуре специјалних војних возила се, у одређеној мери, разликују од структуре комерцијалних возила точкаша. Основна разлика је у томе што борбено возило нема класичну каросерију и што је основа носећег система оклопно тело које обједињује све елементе возила. Остале разлике односе се на специјалне системе који су у вези са наменом возила и врстом покретача (точкови, гусенице). Поред специјалних система возила, због смештаја унутар оклопног тела, помоћни системи погонског агрегата су специфичне конструкције.

У тактичкој покретљивости борбених возила једну од важнијих улога има погонски агрегат, који је дефинисан својим перформансама, поузданошћу, те погодношћу за експлоатацију и одржавање. Имајући у виду специфичне услове рада борбених возила, то условљава и специфичну конструкцију њихових погонских агрегата. Специфични услови рада борбених возила огледају се у кретању борбених возила током радног века по тешко проходној подлози (испресецањем земљишту, савладавању природних и вештачких препрека), могућности брзе промене положаја после испаљеног пројектила, раду при неповољним временским условима (екстремно ниска температура, обилне падавине), отежаним условима одржавања у теренским условима итд.

Врло различити режими експлоатације у погледу оптерећења и броја обртаја погонског агрегата, различити климатски услови и окружења у којима се користе погонски агрегати, различите индивидуалне способности појединаца при коришћењу и основном одржавању истог, сугеришу врло широку скалу могућих неисправности, као и последице које оне могу проузроковати. Зато су погонски агрегати у експлоатацији изложени сталним утицајима околине и поремећајима који се јављају у процесима промена стања, што резултира отказима различитих врста. Таква промена стања изазива потребу одржавања погонског агрегата као система, у којем треба да постоји захтевани однос дозвољеног одступања од његових прописаних техничких и експлоатационих могућности. У том смислу, сви елементи погонског агрегата који стварају стања његовог отказа морају се, након такве појаве, враћати у радно стање. Експлоатација погонских агрегата, ма како она била правилно и пажљиво спроведена, може да се врши само до одређеног економски оправданог периода, чија дужина зависи од физичког стања, тј. истрошења елемената који раде у међусобном додиру и њихових застаревања.

Приликом пројектовања најчешће се не могу узети у обзир сви могући утицаји на ниво и карактер оптерећења погонског агрегата, с обзиром на стохастички карактер како радних процеса у њима тако и на стохастички карактер услова околине. Узроци отказа погонских агрегата могу бити веома разноврсни, а најчешћи су: уграђени недостаци (сопствене слабости) као последица неадекватне конструкције или грешке при изради и избору материјала, неправилна употреба, дејство монотонно растућих утицаја (хабање, замор, старење и корозија), негативни утицаји горива, мазива и других погонских течности, као и неправилно одржавање. Интензитет узрочника отказа зависи од услова у којима се одвијају а у већини случајева манифестују се разним видовима оштећења површина, чиме се мењају почетне димензије, облици, чврстоћа и друге карактеристике компоненти, подсистема и система погонских агрегата, што доводи до неподешености или лома делова и отказа елемената односно

погонског агрегата. Познавање искустава из експлоатације погонског агрегата, је значајно за пројектанте и конструкторе мотора, како би се његови параметри одредили у складу са тим условима. Међутим, квалитет, радни век и успешност извршавања функције циља погонског агрегата, не постиже се само квалитетном конструкцијом и изградом, већ и правилним одржавањем, из разлога што карактеристике погонског агрегата опадају током његовог коришћења. Правовремено и правилно извођење поступака одржавања је важан предуслов за одлагање појаве отказа, а самим тим и побољшање квалитета мотора и продужетка века њиховог трајања.

Утврђивање узрока могућих неисправности расклапањем погонског агрегата и његових склопова и уређаја повезано је са знатним трошковима, а такође се и погоршава првобитна спрега појединих елемената, што се одражава и на смањење поузданости и века трајања мотора у целини. Из напред наведеног разлога долази се до закључка да техничка дијагностика погонског агрегата може имати допринос у правовременој детекцији могућег отказа. Међутим, поставља се питање да ли је набавка данас веома софистициране и скупе опреме за дијагностику средстава оправдана, односно да ли се дијагностиком могу открити и спречити откази који носе највеће трошкове одржавања имајући у виду да постојећи погонски агрегати специјалних војних возила нису опремљени са електронско управљачком јединицом као ни сетом сензора за праћење режима рада агрегата и стања околине.

Време за које погонски агрегат може поуздано да ради, са задовољавајућим карактеристикама се дефинише као његов радни век. Поузданост рада погонског агрегата и век његовог трајања, у првом реду зависе од конструкције, примењених материјала и технологије израде као и од начина одржавања и услова његовог коришћења. За утврђивање поузданости и трајности рада погонског агрегата неопходно је пре свега постојање података о његовом раду током фазе животног циклуса агрегата која се односи на период експлоатације. Зато је потребан велики број података, тако да је за њихову обраду неопходна примена одговарајућих статистичких метода, које за основу имају теорију вероватноће и статистике. На основу прикупљених података о истим или сличним погонским агрегатима током животног циклуса у експлоатацији, анализираних применом одговарајућих метода, могу се утврдити тзв. слаба места у погонском агрегату и констатовати узрок њихове појаве (конструкција, материјал, израда, одржавање, примењено гориво и мазиво, услови коришћења...).

Код одржавања погонских агрегата специјалних војних возила у капацитетима Војске Србије посебно је изражен проблем обезбеђења критичних резервних делова, због недостатка истих на тржишту и рестриктивних финансијских средстава за њихову набавку. Додатни проблем представља недовољни кадровски и материјални капацитети за прва два нивоа одржавања (*основно и техничко одржавање*) погонских агрегата, у рејону коришћења специјалних војних возила, као и преоптерећеност ремонтног завода за реализацију генералног ремонта агрегата по утрошку њиховог фиксног временског или експлоатационог ресурса. На основу напред изнетог потреба за преиспитивањем постојеће методологије одржавања погонских агрегата се јавља као императив у циљу одржавања потребног степена поузданости и расположивости предметних агрегата специјалних војних возила у границама расположивих средстава за одржавање истих.

У нашој Војсци, до сада се у одржавању техничких средстава копнене војске користила методологија одржавања углавном заснована на две основне концепције а то су превентивно и корективно одржавање. У новим нормативно правним документима, који регулишу предметну област, као концепцијска могућност одржавања егзистира и комбинација превентивног и корективног одржавања, али њена адекватна примена није методолошки још разрађена.

Ако се анализира концептуални приступ систему одржавања специјалних војних возила наше Војске до распада СФРЈ, може се уочити да се исти одликовао са превентивним и корективним одржавањем, с тим да је посебно било наглашено превентивно одржавање по утрошеном експлоатационом или временском ресурсу, што се из угла гледања данашњице сматра превазиђеним, због вишка одржавања и због чињенице да сви системи и склопови возила немају исти карактеристику интензитета отказа, па је често био случај да се после превентивне замене неких од склопова и компоненти учестаније дешавали откази него пре њихове замене. Поред превентивног одржавања, примењивало се и корективно одржавање након појаве отказа, а у циљу довођења система у функционално и технички исправно стање. Због недостатка средстава за одржавање, период након распада СФРЈ се карактерише непридржавањем претходно наведеног концепта који је карактеристичан за период до распада

СФРЈ, што је довело у неким сегментима до знатног нарушавања основних начела одржавања, па је карактеристично по мањку одржавања.

За оба наведена периода се може дати заједнички закључак: примена превентивног и корективног одржавања, не праћење нових научних сазнања и метода у откривању потенцијалног отказа а самим тим и примене адекватног одржавања, нерешен модел прикупљања података у базу података који би се могли на ваљан начин искористити у циљу побољшања постојећег система одржавања, не успостављање везе између носиоца развоја средстава, јединице која се бави одржавањем дотичног средства и корисника средстава у циљу праћења средства у раду и евентуално благовременог покретања поступка редизајна или реинжењеринга уколико је учестаност отказа неке од компоненте или система средства већа од пројектоване (отклањање слабих места), итд. С тим у вези, систем одржавања има данас додатни задатак да, користећи сазнања стечена у процесу одржавања, утиче на развој нових технологија и тако оствари повратну везу између развоја, производње и експлоатације техничких система.

2.2. Предмет истраживања

Предмет истраживања докторског рада је развој нове методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила у односу на достигнути технолошки ниво система одржавања, обезбеђујући на тај начин потребан степен поузданости и расположивости агрегата уз економски оправдан процес њиховог одржавања. Развој нове методологије одржавања ће се разматрати на погонским агрегатима уграђеним у специјална војна возила Војске Србије, користећи репрезентативне погонске агрегате и то:

- **дизел мотор ознаке V-46-6, снаге 574 kW** (уграђен у тенк М-84) и
- **дизел мотор ознаке OM403, снаге 234 kW** (уграђен у борбено возило пешадије БВП М80А)

Предметни погонски агрегати су произведени пре око тридесетак година на територији бивше СФРЈ а њихова употреба за потребе Војске Србије се очекује у наредних двадесетак година.

Поступак пројектовања система одржавања подразумева дефинисање система одржавања са свим битним елементима и детаљима, а посебно са становишта методологије односно прецизно дефинисане концепције одржавања, организације и технологије, укључујући и све елементе логистичке подршке.

Избор одговарајуће методологије одржавања са разрађеном концепцијом треба да буде први корак у циљу постизања ефективног и економски оправданог система одржавања, потом дефинисање технологије одржавања средства па тек онда дефинисање организације одржавања, којом би се дефинисали потребни кадровски и материјални ресурси за успешно функционисање система одржавања.

Побољшање постојећег система одржавања је нужно, из разлога што се само тако може изнаћи даљи пут да се у границама расположивих финансијских средстава остваре максимална ефективност и ефикасност система одржавања. Да би се приступило избору адекватне методологије односно концепције одржавања, потребно је анализирати поједине методологије одржавања као што су нпр.:

- *одржавање према поузданости (Reliability Centered Maintenance или RCM),*
- *тотално продуктивно одржавање (Total Productive Maintenance или TPM),*
- *одржавање према раду (Operation Oriented Maintenance или OOM) и*
- *Lean одржавање.*

Имајући у виду да горе поменуте методологије одржавања нису заступљене у довољној мери на одржавању техничких средстава у Војсци Србије, намеће се потреба да се испита могућност њихове примене кроз сагледавање ефективности и ефикасности система одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, следећи на тај начин савремена достигнућа са једне стране и са друге стране наше услове да се такве методологије примене.

Методологије одржавања са детаљно разрађеном концепцијом одржавања и јасно дефинисаним циљем, појединих светских држава, је нешто што није доступно за конкретну

употребу. Оно што је познато јесу ефекти који се постижу у смањењу трошкова одржавања, повећању поузданости и сигурности у експлоатацији система, продужење корисног животног века система, стварању добре подлоге за израду рачунарског система за управљање одржавањем, бољим познавањем система који је у употреби и др.

2.2.1. Сазнања о предмету истраживања

Предмет истраживања произилази из основног питања разматраног у процесу анализе области истраживања, односно теоријским дефинисањем предмета истраживања извршиће се анализа о могућности развоја и примене нове методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила.

У теорији одржавања техничких система, до сада је развијен велики број превентивних модела одржавања за различите концепције одржавања и различите критеријуме оптимизације. Сви модели одржавања се углавном заснивају на показатељима поузданости, што непосредно значи да је битан предуслов за анализу и оптимизацију система одржавања познавање функције поузданости техничких система. Такође, оно што је уочљиво је то да се предложени модели односе на цело разматрано средство а да при томе се не разматрају детаљно системи односно склопови који чине тако сложен систем, обзиром да је просто немогуће да за један сложен систем се може применити јединствена концепција одржавања пошто су поједини системи састављени од подсистема и компоненти чија је карактеристика интензитета отказа углавном различита.

У више независних истраживања која су вршена у другој половини XX века на комплексним системима у авијацији, индустрији и морнарици, доказано је да они у већој мери отказују случајно, пре него што се дође до потенцијалног отказа на кривој поузданости (*Stanley, N. F. Heap H. F.: "Reliability-Centered Maintenance", Allen, T. M.: "U.S. Navy Analysis of Submarine Maintenance Data and the Development of Age and Reliability Profiles"*). Према наведеним истраживањима проценат случајних отказа износи од 71% до 92%. Тако је доказано да за неке од сложених система, ремонт има само супротан ефекат, односно што се њиме уноси период раних отказа. Након периода раних отказа, већина система отказује с константним интензитетом отказа, за шта се раније углавном мислило да је то карактеристика само електронских компоненти.

Савремени трендови (као што је RCM- методологија која се заснива на одржавању према поузданости) преферирају анализу засновану на ефективности система, због тога што се одржавање дефинише као очување функције коју систем испуњава у одређеном оперативном контексту. Добро дефинисан систем одржавања има задатак да очува ефективност система, а не само функционисање компоненти система.

У досадашњим активностима на усавршавању система одржавања, управо недостаје методологија избора појединих програма превентивног и корективног одржавања. Логична је и као таква позната тенденција да се корективно одржавање спречи где је то могуће. Такође, одржавање према стању, уз употребу савремених система техничке дијагностике може бити веома ефикасно и са друге стране економски оправдано.

Познато је да различите методологије избора концепције одржавања постоје у страним армијама, неке од њих су чак и стандардизоване. Важно је напоменути да конкретан алгоритам избора концепције одржавања није стандардизован, јер се претежно штити као интелектуално власништво.

У свету постоје развијени и у употреби рачунарски системи за управљање одржавањем, који између осталог имају задатак прикупљања великог броја података. Постоје многи радови који указују на то да чак и до 40% тих података је непотребно или статистички непоуздано (*Wireman, T.: "Optimizing Asset Management"*).

Радници у одржавању по правилу немају потребна знања из статистике и математике, те су склонији ка њима јасним и једноставнијим методологијама. У одржавању средстава Копнене војске (Ков) постоје значајна искуства у експлоатацији и одржавању специјалних војних возила а самим тим и погонских агрегата возила.

Познато је да у нашим условима у последњој деценији није било иницијативе да се изради методологија одржавања која би побољшала досадашњи систем одржавања у складу са савремено развијеним технологијама које омогућују раније откривање отказа.

У одржавању средстава KoB, постоје техничка упутства која дефинишу активности које је неопходно предузети на средствима током њиховог радног века, са посебним акцентом на предузимању одређених превентивних активности након истека одређеног временског или експлоатационог ресурса.

У нашој Војсци није извршена детаљна анализа могућности примене појединих модела превентивног одржавања осим модела који се односе на замене истрошених склопова и подсклопова по истеку временског или експлоатационог ресурса.

Другим речима, не постоји развијена јасна методологија одржавања на основу које се може вршити одлучивање о избору концепције одржавања. Методологија би требала бити изводљива, ефикасна, ефективна и мора пружити јасне податке о анализи и донесеној одлуци о концепцији одржавања, како би се могла поредити са претходним системом.

2.3. Циљ истраживања

Истраживање је усмерено на научни развој нове методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, у циљу ефективног и ефикасног одржавања тактичко-техничких карактеристика погонских агрегата у границама жељених карактеристика током радног века. Главни циљ нове методологије је очување сигурности функционисања и расположивости погонских агрегата специјалних војних возила уз економски оправдане трошкове одржавања.

Може се рећи да је циљ побољшања процеса одржавања погонских агрегата материјална уштеда, не на штету ефективности одржавања, већ на елиминацији узрока трошкова, побољшању ефективности радних процедура и управљања материјалом (сировине у производњи, резервни делови, радни флуиди, енергенти, помоћни материјали у процесу одржавања) и задржавање и повећање поузданости и расположивости, односно постизање максималног ефекта у оквиру додељеног буџета.

За дате погонске агрегате и дате услове њиховог коришћења и одржавања као посебног система специјалних војних возила, који омогућавају да преференције буду унапред познате, само једно решење примењене методологије одржавања је економски оправдано. У овом случају постижу се најповољније вредности поузданости, расположивости, трошкова коришћења и одржавања и смањују укупни трошкови животног циклуса.

2.3.1. Научни циљеви истраживања

Обзиром да је предмет истраживања врло сложен и обиман за једно комплетно специјално војно возило, чију структуру чини погонска група, ходни систем, систем наоружања, систем управљања ватром, систем активне и пасивне заштите, систем за осматрање и нишањење и др., предмет истраживања биће усмерен само на погонске агрегате специјалних војних возила који представљају виталне системе за обезбеђење одговарајуће покретљивости возила.

Основни научни циљ је дефинисање нове методологије у циљу постизања ефективног и ефикасног система одржавања погонских агрегата специјалних војних возила. Научни циљеви у овом раду се односе на:

1. Анализа и систематизација постојећих методологија одржавања и стратешких приступа систему одржавања код нас и у свету;
2. Дефинисање нове методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила;
3. Сагледавање могућности примене нове методологије одржавања како на постојеће предметне погонске агрегате тако и на остале системе специјалних војних возила тежећи ка коначном циљу мониторинга и смањења трошкова животног циклуса средства током фазе експлоатације у делу који се односи на одржавање;
4. Могући правци даљег развоја методологија одржавања погонских агрегата.

2.3.2. Практични циљеви истраживања

Потреба за усавршавањем постојећег система одржавања у делу који се односи на развој нове методологије одржавања погонских агрегата, настала је као последица научних достигнућа из области инжењерства одржавања, технолошког развоја објекта одржавања, развоја дијагностичке опреме примењене у одржавању, као и интереса за повећање расположивости и смањења укупних трошкова одржавања. У ширем смислу, практични циљ представља усавршавање постојећег система одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, док у ужем смислу практични циљеви истраживању су:

1. Практична разрада и опис методологија одржавања које су примењиве у нашим условима на предметним агрегатима возила, са наглашавањем савремених техника одржавања у свету;
2. Сагледавање могућности проналаска начина, којом се превазилази недостатак материјалних, техничких и кадровских могућности за спровођење статистичких анализа и прорачуна поузданости, као основе у избору методологије односно концепције одржавања (комбинација статистичких показатеља и фази логики);
3. Примена нове методологије одржавања узимајући у обзир досадашња искуства у одржавању и ремонту техничких средстава код нас тако да се одржи предвиђена поузданост и расположивост погонских агрегата специјалних војних возила уз минималне трошкове одржавања.

2.4. Приказ литературних извора који су коришћени при дефинисању предмета истраживања

Научно подручје истраживања је из области одржавања техничких средстава, а у ужем смислу третира проблематику развоја и имплементације нове методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила. Значај истраживања се огледа у томе што се очекује да ће се развојем нове методологије одржавања погонских агрегата побољшати постојећа методологија са становишта ефективнијег и ефикаснијег одржавања погонских агрегата предметних возила. У наставку је дат преглед неких од важних радова и књига, које са различитих аспеката третирају предметну проблематику:

- [1] С. Минић, Ж. Арсенић **„Модели одржавања техничких система“**, Војноиздавачки завод Београд, 1998.
- [2] K.K. Lai, Francis K.N. Leung, B. Tao, S.Y. Wang Хонг Конгу, Кина **„Practices of preventive maintenance and replacement for engines: A case study“**, European Journal of Operational Research 124 (2000) str. 294-306.
- [3] C.M. Milkie and Dr. A. N. Perakis **„Statistical Methods for Planning Diesel Engine Overhauls in the U. S. Coast Guard“**, Naval Engineers Journal, Spring 2004.
- [4] М. Алексић **„Методологија избора концепција одржавања комплексних бродских система“**, Докторска дисертација, Војна академија, Београд, 2006.
- [5] Б. Крстић, **„Техничка експлоатација моторних возила и мотора“**, универзитетски уџбеник, Универзитет у Крагујевцу, Машински факултет, Крагујевац, 2009.
- [6] Крстић Б., Деспотовић М., Крстић И., Крстић В., **„Одређивање оптималне периодичности превентивног одржавања погонског мотора применом вишекритеријумске оптимизације“**, Трактори и погонске машине, 2009.
- [7] Г. Петровић, З. Маринковић, П. Милосављевић, **„Одређивање оптималног термина превентивног одржавања применом теорије Марковљевих процеса“**, Конференција одржавања „КОД-2009“ Бар, 2009.
- [8] P.S. Rajpal, K.S. Shishodia, G.S. Sekhon **„An artificial neural network for modeling reliability, availability and maintainability of a repairable system“**, Reliability Engineering and System Safety 91 (2006) str. 809–819.

- [9] Rodrigo J.P. Ferreira, Adiel Teixeira de Almeida, Cristiano A.V.Cavalcante "**A multi-criteria decision model to determine inspection intervals of condition monitoring based on delay time analysis**" Reliability Engineering and System Safety 94 (2009) str. 905–912.
- [10] Sharareh Taghipour, Dragan Banjevic, Andrew K. S. Jardine „**Periodic inspection optimization model for a complex repairable system**", Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto, Toronto, Ont., Canada M5S 3G8, Reliability Engineering and System Safety 95 (2010) str. 944–952.
- [11] Kamran S. Moghaddam, John S. Usher "**Preventive maintenance and replacement scheduling for repairable and maintainable systems using dynamic programming**", Department of Industrial Engineering University of Louisville Louisville, KY 40292, USA, Computers & Industrial Engineering 60 (2011) str. 654–665.
- [12] Hongzhou Wang "**A survey of maintenance policies of deteriorating systems**" European Journal of Operational Research 139 (2002) str. 469–489, Bell Laboratories, Lucent Technologies, Room 2M-538, 101 Crawfords Corner Road, Holmdel NJ 07733, USA.
- [13] Kamran S. Moghaddam, John S. Usher „**Preventive maintenance and replacement scheduling for repairable and maintainable systems using dynamic programming**", Department of Industrial Engineering University of Louisville Louisville, KY 40292, USA, Computers & Industrial Engineering 60 (2011) str. 654–665.
- [14] Cher Ming Tan, Nagarajan Raghavan "**A framework to practical predictive maintenance modeling for multi-state systems**", School of EEE, Nanyang Technological University, Block S2, Nanyang Avenue, Singapore 639798, Singapore, Reliability Engineering and System Safety 93 (2008) str. 1138–1150.
- [15] A. Grall, C. Berenguer, L. Dieulle „**A condition-based maintenance policy for stochastically deteriorating systems**", Reliability Engineering and System Safety 76 (2002) str. 167–180.
- [16] Zhen Zhao, Fu-li Wang, Ming-xing Jia, Shu Wang „**Predictive maintenance policy based on process data**", Northeast University, Shenyang, 110819, China, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 103 (2010) str. 137–143.
- [17] Chaichan Chareonsuk, Nagen Nagarur, Mario T. Tabucanon „**A multicriteria approach to the selection of preventive maintenance intervals**" Industrial Systems Engineering, Asian Institute of Technology, G.P.O. 2754, Bangkok, Thailand
- [18] Jan A. M. Hontelez, Helen H. Burger & Diederik J. D. Wijnmalen „**Optimum condition-based maintenance policies for deteriorating systems with partial information**", Reliability Engineering and System Safety 51 (1996) str. 267–274.
- [19] Dongyan Chen, Kishor S. Trivedi "**Optimization for condition-based maintenance with semi-Markov decision process**", Reliability Engineering and System Safety 90 (2005) str. 25–29.
- [20] Maxstaley L. Neves, Leonardo P. Santiago, Carlos A. Maia "**A condition-based maintenance policy and input parameters estimation for deteriorating systems under periodic inspection**", Computers & Industrial Engineering 61 (2011) str. 503–511.
- [21] M.C. Eti, S.O.T. Ogaji, S.D. Probert "**Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture**", Applied Energy 83 (2006) str. 1235–1248.
- [22] Tzong-Ru Tsai, Pang-Hsu Liu, Y.L. Lio „**Optimal maintenance time for imperfect maintenance actions on repairable product**", Computers & Industrial Engineering 60 (2011) str. 744–749.

3. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ

Основна хипотеза докторске дисертације је да се за дате услове реалног система и утицаје околине може дефинисати нова методологија одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, која ће по аналогiji моћи да се примени и на осталим склоповима специјалних војних возила која су по природи структурног решења слична.

Полазећи од основне хипотезе, од предмета и циља истраживања, основна хипотеза је исказана посредством неколико додатних хипотеза које треба да послуже као смернице у току истраживања и то:

- Постојећа методологија одржавања која предвиђа превентивну и корективну концепцију одржавања погонских агрегата специјалних возила Војске Србије може се адекватно побољшати у циљу постизања ефективнијег и ефикаснијег система одржавања предметних агрегата;
- Постоје методе које могу бити користан алат за превазилажење евентуалног недостатка статистичких информација о отказима погонских агрегата (FMEA, FMECA, FTA);
- Могуће је извршити анализу отказа и ефеката отказа погонских агрегата специјалних војних возила, уз помоћ квалитативних искустава и података из одржавања;
- Методологије одржавања према поузданости (OPP или RCM-Reliability Centered Maintenance) и тотално продуктивно одржавање (Total Productive Maintenance или TPM) могу бити основа за развој нове методологије у циљу постизања ефективнијег и ефикаснијег одржавања погонских агрегата;
- У поступку дефинисања модела система одржавања значајан утицај имају потребни ресурси за одржавање (кадар, опрема, документација, резервни делови и простор-радионице);
- Постојећи критеријуми за одређивање методологије одржавања представљају једноставан и погодан инструмент за компаративне анализе различитих методологија одржавања техничких средстава;
- Моделирањем, као делом поступка пројектовања, могуће је доћи до закључка која концепција одржавања је најповољнија и истражити осетљивост излазних карактеристика на промену утицаја релевантних параметара;
- Решавање проблема развоја нове методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила уз примену најновијих технолошких достигнућа и информација у предметној области а који обухватају: уштеду енергије и дефицитарних материјала, повећање нивоа поузданости и продужење века експлоатације представља најповољнији пут при решавању таквих проблема.

4. НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Полазећи од предмета истраживања, дефинисаних циљева и хипотеза, истраживање је базирано на методама и техникама које се примењују у области индустријског инжењерства.

Проблем истраживања је у вези са реалним системом одржавања, динамиком и проблемима процеса одржавања који су свакодневно присутни и доступни. Таква веза проблема истраживања и стварне ситуације, као и развој појединих научних дисциплина са могућношћу примене у теорији одржавања, пружа реалне могућности за изналажење најповољнијег решења.

Имајући у виду целину истраживања, а ради достизања постављених циљева и верификацији појединих хипотеза, истраживање је теоријско-емпиријског карактера, при чему се у пројектовању и реализацији користе различите научне методе, као што су:

- емпиријске методе,
- статистичке методе,
- метода моделирања,
- симулација,
- дефиниција и класификација,
- анализа и синтеза,
- апстракција и конкретизација,
- индукција и дедукција;
- метода логичке анализе,
- метода компарације,
- оцењивање и одлучивање, и
- техника приказивања.

5. ОЧЕКИВАНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Према постављеним хипотезама, очекивани научни доприноси предложених истраживања у оквиру предметне докторске дисертације су следећи:

- Оригинална нова методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, у циљу ефективног и ефикасног одржавања тактичко-техничких карактеристика погонских агрегата у границама жељених карактеристика током радног века, са циљем очувања сигурности функционисања и расположивости погонских агрегата специјалних војних возила уз економски оправдане трошкове одржавања.
- Метода за прикупљање релевантних података за развој нове методологије одржавања погонских агрегата;
- Метода за избор најповољније концепције одржавања на основу утицаја релевантних параметара на осетљивост излазних карактеристика;
- Метода за одређивање потребних ресурса за одржавање (кадар, опрема, документација, резервни делови, простор итд.);
- Метода за тражење и отклањање слабих места погонских агрегата борбених возила.

Докторска дисертација има за главни циљ развој и сагледавање могућности имплементирања нове методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, чијом применом се реално очекује побољшање ефективности и ефикасности система одржавања и уједно повећање поузданости и расположивости предметних погонских агрегата.

Суштина развијене нове методологије одржавања је да може бити примењена не само у процесу одржавања погонских агрегата већ и на осталим техничким средствима сличне структуре у пракси, за различите критеријуме и ограничења, што треба да буде посебан допринос рада на овој докторској дисертацији.

6. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА РАДА

План истраживања састоји се од следећих фаза:

- Разматрање проблематике у одржавању погонских агрегата специјалних војних возила;
- Проучавање релевантне литературе и анализа досадашњих истраживања у предметној области;
- Дефинисање начина за прикупљање релевантних података за развој нове методологије одржавања погонских агрегата;
- Прикупљање података и обрада истих;
- Развој методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила и критичка анализа могућности њене примене.

Оквирна структура предложене докторске дисертације обухвата следеће целине:

1. Уводна разматрања
1. Проблем и предмет истраживања
2. Преглед и анализа досадашњих истраживања у предметној области
3. Специфичности у употреби и одржавању погонских агрегата специјалних војних возила
4. Дефинисање методологије истраживања
5. Резултати истраживања
6. Развој нове методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила
7. Анализа могућности примене нове методологије
8. Закључак
9. Литература

7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу анализе пријаве теме докторске дисертације мр Славка Ракића, дипл.инж.маш., архивираних под бројем 991/1 од 09.05.2013. године, а сходно сагласности Катедре за Индустријско инжењерство број 991/2 од 19.06.2013. године, као и одлуци Наставно-научног већа број 991/3 донетој 27.06.2013. године, Комисија за подношење Извештаја о прихватању теме и оцену научне заснованости докторске дисертације закључује да је предложена тема научно утемељена и адекватна за израду докторске дисертације, као и да кандидат испуњава законске и друге услове за рад на предметној докторској дисертацији, тако да предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да се

мр Славку Ракићу, дипл.инж.маш.

одобри израду докторске дисертације са темом

Методологија одржавања погонских агрегата специјалних војних возила

научна област: **машинство (индустријско инжењерство).**

За **ментора** кандидата током рада на предметној докторској дисертацији предлаже се **др Угљеша Бугарић**, редовни професор Машинског факултета у Београду.

С поштовањем,

Београд, 10.09.2013. год.

Чланови Комисије:

Др Угљеша Бугарић, редовни професор
Машински факултет Универзитета у Београду

Др Весна Спасојевић-Бркић, ванр. професор
Машински факултет Универзитета у Београду

Др Душан Петровић, ванр. професор
Машински факултет Универзитета у Београду

Др Драган Александрић, ванр. професор
Машински факултет Универзитета у Београду

Др Предраг Јованчић, ванр. професор
Рударско геолошки факултет
Универзитета у Београду

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата мр Славка Ракића, дипл. инж. маш.

Име и презиме ментора: др Угљеша Бугарић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Bugarić, U., Petrović, Dušan, Jeli, Z., Petrović, Dragan: Optimal utilization of the terminal for bulk cargo unloading, Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International (ISSN: 0037-5497), Vol. 88, Iss. 12, 2012. pp. 1508 - 1521. (Science Citation Index-Web of Science® – IF=0,692 (2012))
2. Bugarić, U., Tanasijević, M., Polovina, D., Ignjatović, D., Jovančić, P.: Lost production costs of the overburden excavation system caused by rubber belt failure, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability (ISSN: 1507-2711), Vol. 14, No. 4, 2012. pp. 333-341. (Science Citation Index-Web of Science® – IF=0,293 (2012))
3. Bugarić, U., Petrović, D., Petrovic, Z., Pajcin, M., Markovic-Petrovic, G.: Determining the Capacity of Unloading Bulk Cargo Terminal Using Queuing Theory, Journal of Mechanical Engineering - Strojniški Vestnik (ISSN: 0039-2480), University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Ljubljana, Vol. 57, No. 5, 2011. pp. 405-416. (Science Citation Index-Web of Science® – IF=0,398 (2011))
4. Bugaric, U., Vukovic, J., Petrovic, D., Jeli, Z., Petrovic, Z.: Optimization of the unloading bridge working cycle, Journal of Mechanical Engineering - Strojniški Vestnik (ISSN: 0039-2480), University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Ljubljana, Vol. 55, No. 1, 2009. pp. 55-63. (Science Citation Index-Web of Science® – IF=0,533(2009))
5. Bugaric, U., Petrovic, D.: Increasing the capacity of terminal for bulk cargo unloading, Simulation Modelling Practice and Theory (ISSN: 1569-190X), Elsevier, Vol. 15, 2007, pp. 1366-1381. (Science Citation Index-Web of Science® – IF=0,375 (2007))

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум 12.09.2013.

М.П.
