

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Славко Н. Ракић

**МЕТОДОЛОГИЈА ОДРЖАВАЊА
ПОГОНСКИХ АГРЕГАТА
СПЕЦИЈАЛНИХ ВОЈНИХ ВОЗИЛА**

Докторска дисертација

Београд, 2018. године

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Slavko N. Rakić

**METHODOLOGY OF MAINTENANCE OF
SPECIAL MILITARY VEHICLES
ENGINES**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2018

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ И ЧЛАНОВИМА КОМИСИЈЕ

Ментор:

проф. др Угљеша Бугарић
Машински факултет у Београду

Чланови Комисије:

проф. др Угљеша Бугарић
Машински факултет у Београду

проф. др Весна Спасојевић-Бркић
Машински факултет у Београду

проф. др Душан Петровић
Машински факултет у Београду

проф. др Драган Александрић
Машински факултет у Београду

проф. др Предраг Јованчић
Рударско-геолошки факултет у Београду

Датум одбране:

Пре свега, захваљујем се ментору проф. др Угљеши Бугарићу на усмеравању и стручној помоћи при изради дисертације.

Захваљујем се члановима комисије за корисне сугестије које су ми давали при изради дисертације.

Посебно се захваљујем супрузи Звездани, сину Алекси и ћерки Нини на преузетом делу мојих породичних обавеза док сам радио на изради дисертације и непрекидно ме бодрили за време напорног рада.

Дисертацију посвећујем оцу Николи, мајци Ковиљки, тетци Стоји и покојном стрицу Славку.

Преглед коришћених скраћеница у дисертацији

АЕ	-	Анализа података из експлоатације (енгл. Age Exploration)
АПО	-	Анализа превентивног одржавања (енгл. Preventive maintenance analysis),
АНР	-	Аналитички хијерархијски процес (енгл. Analytic Hierarchy Process)
ЕА	-	Расположивост опреме (енгл. Equipment Availability)
ЕLORA	-	Економична анализа нивоа оправки (енгл. Economical LORA)
IEC	-	Интернационална електротехничка комисија (енгл. International Electrotechnical Commission)
LSA	-	Анализа логистичке подршке (енгл. Logistic Support Analysis)
ILS	-	Интегрална логистичка подршка (енгл. Integrated Logistic Support)
КоВ	-	Копнена Војска
LORA	-	Анализа нивоа оправки (енгл. Level of Repair Analysis),
MDEs	-	енгл. Main propulsion diesel engines (Главна погонска група дизел мотора)
MSG	-	Група за управљање одржавањем (енгл. Maintenance Steering Group)
MTA	-	Анализа задатака одржавања (енгл. Maintenance Task Analysis),
OEE	-	Укупна ефективност опреме (енгл. Overall Equipment Effectiveness)
OOM	-	Одржавање према раду (енгл. Operation Oriented Maintenance)
ПВП	-	Пумпа високог притиска
ПНП	-	Пумпа ниског притиска
PE	-	Искоришћење перформанси (енгл. Performance Efficiency)
ПНП	-	Пумпа ниског притиска
ПОПС	-	Превентивно одржавање према стању (енгл. On condition Based Maintenance)
„P-F“	-	Временски интервал између потенцијалног и стварног отказа (енгл. Potential-to-functional failure interval)

RAM	-	Поузданост, расположивост и погодност одржавања (енгл. Reliability, Availability, Maintainability)
RCA	-	Анализа изворног узрока (енгл. Root Cause Analysis)
RCM	-	Одржавање према поузданости (енгл. Reliability Centered Maintenance)
RCFA	-	Анализа изворног узрока отказа (енгл. Root Cause Failure Analysis)
ROI	-	Повраћај инвестиција (енгл. Return on investment)
ROM	-	Одржавање засновано на резултатима (енгл. Results Oriented Maintenance)
RQ	-	Коефицијент квалитета (енгл. Rate of Quality)
SAE	-	Аутомобилско удружење инжењера (енгл. Society of Automotive Engineers)
TPM	-	Тотално продуктивно одржавање (енгл. Total Productive Maintenance)
USCG	-	Обалска стража САД (енгл. The United States Coast Guard)
FAA	-	Америчка ваздухопловна администрација (енгл. Federal Aviation Administration)
FEA	-	Анализа коначних елемената (енгл. Finite element Analysis)
FMEA	-	Анализе начина и ефеката отказа (енгл. Failure Modes and Effects Analysis)
FMECA	-	Анализе начина, ефеката и критичности отказа (енгл. Failure Modes, Effects and Criticality Analysis)
FTA	-	Анализа стабла отказа (енгл. Fault Tree Analysis)
HAZOPS	-	Студија ризика и операбилности (енгл. Hazard and Operability Study)
CIMM	-	Компјутерско управљање одржавањем (енгл. Computer Integrated Maintenance Management)
CMMS	-	Информациони система за управљање одржавањем (енгл. Computerised Maintenance Management System)

Појмовна одређења

Појмови коришћени у дисертацији, преузети из техничке документације и прописа [1] који ближе дефинишу одржавање техничких система специјалне намене у Министарству одбране и Војсци Србије:

Под *методологијом* се подразумева свеукупност методских поступака које примењује одређена наука или група сродних наука с циљем да се дође до објективног и систематског научног сазнања.

Технички систем чини интегрисани скуп елемената међусобно повезаних, који представљају целину са јединственом радном функцијом. Пример техничког система је мотор са унутрашњим сагоревањем (погонски агрегат).

Подсклоп је скуп машинских елемената који обављају одређену функцију.

Склоп обично чини два или више подсклопова и они представљају машинску конструкцију.

Сложени технички системи представљају скуп већег броја модуларних целина (техничких система, подсистема, склопова) повезаних у целину, где су сви елементи у међусобној интеракцији, ради извршавања одређених функција. Пример сложеног техничког система је специјално војно возило (борбено возило - тенк)

Одржавање техничких система обухвата поступке, методе и технике којима се спречава појава стања „у отказу“, односно којим се обезбеђује враћање система по појави стања „у отказу“ у стање „у раду“, у датом времену и условима околине.

Погодност одржавања представља вероватноћу, да ће се потребни поступци одржавања обавити до одређеног времена, под одређеним условима.

Програмска шема одржавања представља приказ тока техничког система кроз различите нивое одржавања на којима се изводе одговарајући радови, у различитим временским периодима и на различитим локацијама, због различитих потреба за одржавањем.

Организациони облици у систему одржавања су појединачни, проточни и модуларни.

Појединачни облик одржавања подразумева да једно лице или група лица реализује све активности одређеног поступка одржавања. Радна места нису специјализована тако да се на истом радном месту врши целокупан технолошки поступак одржавања, а опрема, алат, прибор и инструменти најчешће су универзалног карактера.

Проточни облик одржавања подразумева да се сваки поступак одржавања дели на активности које се реализују на специјализованим радним местима подељеним по линијском систему са рационалним технолошким током.

Модуларни облик одржавања заснива се на замени неисправног или оштећеног модула (агрегата, склопа, подсклопа или резервног дела) новим, ремонтваним или регенерисаним ради бржег оспособљавања наоружања и војне опреме, при чему се изграђени модули упућују на специјализована радна места оспособљена за оправку коришћењем саставних делова.

Поузданост је вероватноћа да ће технички систем успешно обавити функцију циља за коју је намењен, без отказа и унутар пројектованих граница техничких карактеристика у току предвиђеног рока рада и века употребе на прописани начин.

Расположивост је вероватноћа да ће технички систем бити у стању да у било ком датом тренутку обавља своју функцију или да се укључи у рад на прописани начин, у датим условима експлоатације уз спровођење свих предвиђених поступака одржавања.

Систем одржавања обухвата концепцију, организацију, капацитете, видове и технологију одржавања, којим се обезбеђује одговарајући ниво исправности и поузданости техничког система. Систем одржавања је организован преко органа који управљају у систему одржавања и органа који извршавају задатке у систему одржавања по нивоима командовања од нивоа организационих јединица у Министарству одбране и Војске Србије до непосредног корисника. Под појмом пројектовање система одржавања подразумева се дефинисање система одржавања у свим битним елементима и детаљима, а посебно са становишта концепције, организације и технологије, укључујући и све елементе логистичке подршке (капацитети, снабдевање, радна снага, финансијски потенцијали, информациони систем, систем управљања и друго).

Под *концепцијом одржавања* подразумевају се начела по којима се доносе одлуке о свим битним елементима за спровођење поступака одржавања, у односу на њихов садржај и време („шта и кад се ради“). У пракси се користи и термин методологија одржавања, што је у ствари детаљно разрађена концепција са дефинисаним циљем. Велики број могућих концепција процеса одржавања своди се у суштини на две основне концепције одржавања, као и на концепцију претходне две:

1. Концепција превентивног одржавања,
2. Концепција корективног одржавања и
3. Концепција комбинованог одржавања (корективно-превентивног одржавања).

Концепција превентивног одржавања подразумева да се поступци одржавања спроводе пре него што дође до појаве отказа, док је систем у стању у раду, док концепција корективног одржавања подразумева да се поступци одржавања спроводе само ако до отказа дође.

Ниво одржавања подразумева једну или више организационих јединица које извршавају технолошки заокружени скуп категорија радова, који се по сложености, учестаности, месту извођења и потребним ресурсима значајно разликује од других категорија или скупова категорија. Одржавање техничких система у Министарству одбране и Војсци Србије се организује и реализује на три нивоа:

- 1) тактички ниво – I ниво;
- 2) оперативни ниво – II ниво;
- 3) стратегијски ниво – III ниво.

На сваком од нивоа одржавања дефинисани су задаци, органи управљања у систему одржавања и органи који извршавају дефинисане задатке.

Органи који извршавају задатке у систему одржавања, у складу са организационом структуром Министарства одбране и Војске Србије јесу:

- 1) на I нивоу - корисник, посада - послуга, јединица за одржавање;
- 2) на II нивоу - јединица за одржавање у ВС;
- 3) на III нивоу - ремонтни заводи.

Организација одржавања подразумева линијску или сложену хијерархијску структуру - сваки виши ниво опслужује један или више нижих нивоа. Користи се за техничке системе који се производе у већим серијама или групама.

Технологија одржавања дефинише садржајно и временско спровођење поступака одржавања, тј. технологија одређује:

- како и ко обавља одређени поступак (активност) одржавања,
- опрему, алат, где (место) и када, којим редоследом и за које време се обавља одређени поступак одржавања.

Технологија одржавања се прописује за сваки ниво одржавања и за све предвиђене радове (активности) одржавања. Технологија одржавања се описује технолошком документацијом.

Капацитети система одржавања (кадар, алат и опрема, инсталације, објекти за одржавање, резервни делови и документација), процеси (планирање, организовање, реализација, координација, анализа, контрола и извештавање) и технолошки поступци у интеракцији обезбеђују одговарајући ниво техничке исправности и поузданости техничких система.

На склоповима, подсистемима или на техничком систему у целини спроводе се следећи *поступци одржавања*:

- 1) прегледи;
- 2) испитивања;
- 3) оправке;
- 4) адаптација;
- 5) модификација;
- 6) модернизација,
- 7) ремонт.

Преглед је скуп најједноставнијих активности периодичне или повремене контроле рада техничког система од стране стручног лица, као што су функционални надзор, визуелни надзор и акустични надзор над стањем система, тиме што са њиме управља и контролише рад различитих показних инструмената и индикатора.

Испитивање је провера техничких карактеристика елемената или техничког система у целини.

Оправка је технолошки поступак на отклањању неисправности и механичких оштећења делова, склопова, подсклопова, агрегата или техничког система у целини на појединим нивоима одржавања. Има за циљ враћање техничког система из стања „у отказу“ у стање „у раду“.

Адаптација је прилагођавање неке конструкционе целине измењеним условима употребе или уградње ради побољшања карактеристика техничког система у погледу безбедности, употребе, ефикасности, поузданости, погодности за одржавање и слично.

Модификација је измена једне или више карактеристика техничког система.

Модернизација је вршење реконструкције или адаптације техничког система којом се обезбеђује значајније побољшање појединих карактеристика техничког система у погледу ефикасности, његове поузданости, технолошко-производних могућности, погодности за одржавање и слично.

Ремонт је вид одржавања техничког система односно вршење системских радова ради обезбеђења исправности и обнове ресурса до наредног ремонта. У зависности од примењених технологија, структуре и обиму радова одржавања разликујемо средњи и генерални ремонт техничког система.

Методологија одржавања погонских агрегата специјалних војних возила

Резиме

У дисертацији је дефинисана оригинална методологија за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система. Код ново дефинисане методологије базиране на методологији „Одржавање према поузданости (RCM)“, кораци при избору концепције одржавања су јасно дефинисани одговарајућим оригиналним алгоритмом, што на крају резултује усаглашавањем интервала извођења изабраних концепција одржавања. Резултати „Анализе логистичке подршке (LSA)“ се користе као основа за избор одговарајућих концепција одржавања за поједине елементе, склопове и подсистеме техничког система или њихове модернизације, уколико није могуће дефинисати одговарајућу концепцију одржавања у складу са дефинисаним захтевима за расположивост, поузданост и безбедност датог техничког система. Код „Анализе начина и ефеката отказа (FMEA)“ која се ради у оквиру LSA, по први пут уводи се формирање матрице ризика отказа склопова и подсистема, на основу последица отказа и интензитета отказа, ради избора концепција одржавања. Методологија предвиђа да се концепција одржавања разматра још током развоја техничког система тако да се пројектант техничког система суочава са знатно већим бројем захтевних параметара него што је то раније био случај а у циљу стварања одређених предуслова за ефективније и ефикасније одржавања предметних техничких система. Адекватна примена подразумева да се током фазе употребе техничког система, врши ажурирање LSA и по потреби ревизија постојећих концепција одржавања појединих склопова и подсистема техничког система а након тога и редефинисање програмске шеме одржавања. Дефинисаном оригиналном методологијом за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система могу се адекватно изабрати концепције одржавања и без података из експлоатације, на начин да се користе експертска знања од стране корисника и одржавалаца техничких система што ову методологију чини квалитативном.

У другом делу дисертације представљена је методологија за ревизију постојеће концепције одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, која у себи

садржи методологију за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система. Примена ове методологије је показана на подсистему погонског агрегата за довод горива, који се након спроведене Парето анализе показао као најкритичнији са становишта броја евидентираних отказа у посматраном осмогодишњем периоду експлоатације, као и на клипњачи погонског агрегата, као покретном елементу погонског агрегата чији је отказ проузроковао највећу штету на погонском агрегату. Након извршених одређених анализа у оквиру LSA и проласка кроз оригинални алгоритам методологије, одређене су концепције одржавања за елементе и склопове подсистема за довод горива погонског агрегата. Интервали за извођење активности одржавања у оквиру изабраних концепција одржавања су одређени применом методе вишекритеријумског одлучивања, уз претходно дефинисани услов да критеријум захтеване расположивости има коефицијент значајности 0,9 а критеријум економичности коефицијент значајности 0,1. У поређењу са постојећом концепцијом превентивног одржавања подсистема за довод горива погонског агрегата, новом концепцијом превентивног одржавања се предлажу додатне активности у виду одржавања према стању критичних елемената и склопова подсистема погонског агрегата које нису обухваћене постојећом концепцијом превентивног одржавања. У циљу оптимизације интервала одржавања, предлог је да се предложене додатне активности одржавања обухвате већ постојећим I и II техничким прегледом погонског агрегата уз незнатно продужење временског интервала за њихово извршење.

Поред наведеног, дефинисан је и оригинални поступак за откривање узрока отказа клипњаче погонских агрегата специјалних војних возила, као специјалног догађаја, чија анализа се предвиђа у оквиру LSA код Анализе задатка одржавања (MTA). Анализом узрока отказа је закључено да су неадекватна машинска обрада, изостанак полирања и највише напонско стање у делу клипњаче где се десио лом клипњаче главни узроци насталог лома. Предложене су одређене активности на усавршавању израде клипњаче како се овакав догађај не би више поновио у будуће. На основу наведених резултата анализе узрока отказа клипњаче може се извести општи закључак да је дефинисани поступак примењив не само код клипњаче, већ и код осталих машинских елемената изложених променљивим динамичким

оптерећењима. Дефинисани поступак омогућује форензичким инжењерима да утврде тачан узрок отказа и на основу тога предложи адекватне превентивне и корективне активности.

Спроведеном анализом лома клипњаче погонског агрегата је утврђено да није оправдано мењати одређене елементе и склопове погонског агрегата по истеку дефинисаног експлоатационог ресурса погонског агрегата од 500 мч, а да се претходно не изврши анализа карактеристика отказа таквог елемента и склопа и њиховог тренутног техничког стања. Обзиром да интензитет криве отказа клипњаче не одговара облику за које одговара превентивна замена, превремена замена постојеће клипњаче са новом клипњачом лошијег квалитета је имала за последицу хаварију погонског агрегата. Ово је један од разлога који је утицао на дефинисање предлога да се генерални ремонт погонског агрегата не врши стриктно након 500 мч рада, већ да се током II Техничког прегледа (након 400 мч) изврши снимање спољне брзинске карактеристике погонског агрегата на пробном столу у лабораторији. Уколико би одступање спољно-брзинске карактеристике било веће од дозвољеног предлог је да се приступи демонтажи погонског агрегата до склопова или елемената, ради њихове дефектације и евентуалне оправке или замене у складу са прописаним активностима генералног ремонта. На овај начин, погонски агрегат би се растављао тек кад би се за то указала стварна потреба.

Закључак је да би се применом ново дефинисане оригиналне методологије за избор одговарајућих концепција одржавања склопова и подсистема погонског агрегата и оптимизацијом интервала њиховог извођења створили услови за знатно побољшање ефективности система одржавања а самим тим и поузданости и расположивости предметних погонских агрегата специјалних војних возила.

Кључне речи: Погонски агрегат, одржавање, концепција одржавања, поузданост, расположивост

Научна област: Машинство

Ужа научна област: Индустијско инжењерство

УДК: 658.58 : 62-192 : 623.437/.438(043.3)

Methodology of maintenance of special military vehicles engines

Abstract

The dissertation describes the original methodology developed for the selection of the assemblies and subsystems maintenance concepts. Newly defined methodology, based on "Reliability Centered Maintenance (RCM)", has the steps in selection of maintenance concept clearly defined by the appropriate original algorithm, which ultimately results in harmonization of the execution intervals of chosen maintenance concepts. The results of the "Logistics Support Analysis (LSA)" are used as a basis for appropriate maintenance concepts selection for certain elements, assemblies and subsystems of the technical system or their modernization, if there is no possibility to define the appropriate maintenance concept in accordance with the defined technical system's availability, reliability and safety requirements. In the "Failure mode and effects analysis (FMEA)", which is done within the framework of the LSA, the formation of a risk matrix for failures of assemblies and subsystems is introduced for the first time, based on the consequences of the failures and their intensity, in order to select the maintenance concepts. The methodology envisages that the maintenance concept is considered during the technical system development so that the system designer faces a significantly larger number of requested parameters than it was practice before, in order to create certain preconditions for more effective and more efficient maintenance of the subjected technical systems. Adequate application implies that during the phase of the technical system usage, the LSA is updated and, if necessary, the existing maintenance concepts of individual assemblies and subsystems of the technical system are revised, and finally, the program maintenance schemes are to be redefined. Defined original methodology for the assemblies and subsystems of technical systems maintenance concepts selection enables adequate maintenance concept selection without exploitation data by using of users and maintainers of technical systems experts' knowledge, which is a characteristic of the qualitative methodology.

In the second part of the dissertation, it is presented a methodology for the revision of the existing maintenance concept of special military vehicles engines, which includes a methodology for the selection maintenance concepts of assemblies and subsystems of technical systems. The application of this methodology has been represented on the fuel

supply subsystem, which, according to conducted Pareto analysis, proved to be the most critical in terms of the number of registered failures in the observed eight-year exploitation period, as well as on the engine connecting rod, as a moving element whose failure caused the largest damage to the engine. After carrying out certain analyses within the LSA and passing through the original algorithm of the methodology, maintenance concepts for the elements and assemblies of the engine fuel supply subsystem have been defined. Intervals for carrying out of maintenance activities within selected maintenance concepts are determined by using the multi-criteria decision method, with a predefined condition that the required availability criterion has a significance coefficient of 0.9 and the criterion of economy has a significance coefficient of 0.1. Compared to the existing preventive maintenance concept of the engine fuel supply subsystem, the new preventive maintenance concept proposes additional maintenance activities according to the condition of the critical elements and the assemblies which are not covered by the current preventive maintenance concept. In order to optimize the maintenance intervals, it is proposed that the additional maintenance activities include existing I and II Technical Inspection of the engine with a slight extension of the time interval for their execution.

In addition, the original procedure for detecting the cause of the special military vehicle engine's connecting rod failure is defined as a special event, whose analysis is foreseen within the LSA in the Maintenance Task Analysis (MTA). The analysis of the failure cause concluded that inadequate machining, the absence of polishing and the highest stress in the part of the connecting rod where fracture occurred, were the main causes of the resulting fracture. Certain activities have been proposed in order to improve the construction of the connecting rod so that this event does not repeat in the future. Based on the results of the connecting rod failure cause analysis, a general conclusion is that the defined procedure is applicable not only to the connecting rod, but also to other mechanical elements exposed to variable dynamic loads. The defined procedure allows forensic engineers to determine the exact cause of failure and accordingly to propose adequate preventive and corrective actions.

The analysis of the engine connecting rod failure found that it is not justified to change certain elements and assemblies of the engine after the defined exploitation resource of 500 Hours of Engine Operations (HEO) expiration, without previous analyzing of the failure characteristics and the current technical state of that element and its assembly.

Since the intensity of the connecting rod failure curve does not correspond to the shape for which the preventive replacement corresponds, the premature replacement of an existing connecting rod with a new poor quality connecting rod caused the failure of engine with catastrophic consequences. This is one of the reasons that led to definition of proposal that the overhaul of the engine should not be carried out strictly after 500 HEO, but the recording of the engine's external speed characteristics on the test bench during the II Technical Inspection (after 400 HEO) is rather to be performed. If the deviation of the external-speed characteristics of engine is greater than allowed, it is necessary to start with disassembling of the engine to the assemblies or elements, for the purpose of their defectation and eventual repair or replacement in accordance with the prescribed activities of the overhaul. In this way, the engine would be disassembled only if the actual need for that has been shown.

The conclusion is that by using the newly defined original methodology for selection of the appropriate maintenance concepts of assemblies and subsystems of engines and their execution interval optimizing, the conditions to significantly improve the effectiveness of the maintenance system would be created and, therefore, the reliability and availability of the relevant engines of special military vehicles would also improve.

Key words: Engine, Maintenance, Maintenance Concept, Reliability, Availability

Scientific field: Mechanical engineering

Scientific subfield: Industrial engineering

UDC number: 658.58 : 62-192 : 623.437/.438(043.3)

САДРЖАЈ

Преглед коришћених скраћеница у дисертацији.....	v
Појмовна одређења.....	vii
Резиме.....	xii
Abstract.....	xv
САДРЖАЈ.....	xviii
1. УВОД.....	1
1.1. Проблем истраживања.....	1
1.2. Предмет истраживања.....	5
1.2.1. Прелиминарно-одређење предмета истраживања.....	5
1.2.2. Сазнања о предмету истраживања.....	6
1.3. Циљеви истраживања.....	8
1.4. Хипотезе.....	9
1.5. Методе истраживања.....	10
2. ЗНАЧАЈ ИСТРАЖИВАЊА И ОСВРТ НА РЕЛЕВАНТНЕ БИБЛИОГРАФСКЕ ИЗВОРЕ И ОСТВАРЕНЕ РЕЗУЛТАТЕ.....	12
3. ПОЗНАТЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ ОДРЖАВАЊА.....	22
3.1. Одржавање према поузданости.....	22
3.1.1. Циљ RCM.....	26
3.1.2. Резултати примене RCM.....	29
3.1.3. Кораци RCM методологије.....	30
3.1.4. Предности и недостаци RCM.....	33
3.1.5. Имплементација RCM.....	34
3.2. Тотално продуктивно одржавање.....	34
3.3. Одржавање према раду.....	36
4. КОНЦЕПЦИЈЕ ОДРЖАВАЊА.....	39
4.1. Превентивно одржавање.....	40
4.1.1. Превентивно одржавање по времену.....	42
4.1.2. Превентивно одржавање према стању.....	43

4.2. Корективно одржавање	47
4.3. Проактивно одржавање	48
4.3.1. Анализа начина, ефеката и критичности отказа	49
4.3.2. Анализа стабла отказа	50
4.3.3. Анализа изворних узрока отказа	53
4.3.4. Остале методе	54
5. ДИЈАГНОСТИКА СТАЊА ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА	55
5.1. Дијагностика возила	55
5.1.1. Дијагностика клипно-цилиндарских склопова погонског агрегата	59
5.1.2. Субјективне методе дијагностике	60
5.1.3. Објективни поступци дијагностике	63
6. СИСТЕМСКО ИНЖЕЊЕРСТВО	65
6.1. Побољшање методологије развојем метода и алата	66
6.2. Методологија системског инжењерства	66
6.2.1. Системска анализа	66
6.2.2. Синтеза система - пројектовање система	66
6.2.3. Имплементација	67
6.2.4. Рад система	67
6.3. Анализа логистичке подршке	68
7. СПЕЦИФИЧНОСТИ ПОГОНСКИХ АГРЕГАТА СПЕЦИЈАЛНИХ ВОЈНИХ ВОЗИЛА	73
7.1. Увод	73
7.2. Погонски агрегати специјалних војних возила	74
7.3. Одржавања специјалних војних возила у Војсци Србије	76
7.3.1. Основно одржавање	77
7.3.2. Техничко одржавање	78
7.3.3. Средњи ремонт	80
7.3.4. Генерални ремонт	80
7.3.5. Ревизија	81
7.3.6. Контролни прегледи	81
7.4. Основна запажања о одржавању специјалних војних возила Војске Србије	81

8. МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ИЗБОР КОНЦЕПЦИЈА ОДРЖАВАЊА СКЛОПОВА И ПОДСИСТЕМА ТЕХНИЧКОГ СИСТЕМА	83
8.1. Предуслови за примену методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничког система	83
8.2. Кораци примене методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничког система у току животног циклуса	86
8.2.1. Улазни подаци - Анализа логистичке подршке (LSA)	89
8.2.2. Кораци (алгоритам) за избор концепција одржавања	120
8.2.3. Рационализација интервала	126
9. МЕТОДОЛОГИЈА ЗА РЕВИЗИЈУ ПОСТОЈЕЋЕ КОНЦЕПЦИЈЕ ОДРЖАВАЊА СКЛОПОВА И ПОДСИСТЕМА ПОГОНСКИХ АГРЕГАТА СПЕЦИЈАЛНИХ ВОЈНИХ ВОЗИЛА	130
9.1. Анализа понашања погонског агрегата током експлоатације	135
9.1.1. Одређивање закона расподеле времена рада до отказа погонског агрегата	135
9.1.2. Избор критичних подсистема погонског агрегата	140
9.2. Идентификација досадашњих активности одржавања погонског агрегата специјалног војног возила	148
9.3. Примена методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема погонског агрегата специјалног војног возила	150
9.3.1. Анализа начина, последица и ризика отказа (FMEA и FMECA)	150
9.3.2. Анализа задатка одржавања (MTA)	155
9.3.3. Анализа превентивног одржавања	176
9.3.4. Анализа конфигурације погонског агрегата	177
9.3.5. Анализа погодности за одржавање и праћења стања (дијагностике) погонског агрегата	179
9.3.6. Избор концепција одржавања склопова и подсистема погонског агрегата специјалног војног возила	180
9.4. Образложење оправданости изабраних концепција одржавања	194
10. НЕОПХОДНИ УСЛОВИ ЗА ПРИМЕНУ НОВЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ	196
10.1. Способности лидера тима	196
10.2. Састав и обука чланова тима	197
10.3. Висок ниво техничких знања и техничке библиотеке	197

10.4. Контрола резултата анализе	198
10.5. Могући разлози неуспеха примене нове методологије	199
11. ПРОЦЕНА ЕФЕКТА МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА ИЗБОР КОНЦЕПЦИЈА ОДРЖАВАЊА СКЛОПОВА И ПОДСИСТЕМА ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА.....	201
12. МОГУЋНОСТИ ЗА ШИРУ УПОТРЕБУ МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА ИЗБОР КОНЦЕПЦИЈА ОДРЖАВАЊА СКЛОПОВА И ПОДСИСТЕМА ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА	203
13. ЗАКЉУЧАК	205
14. ЛИТЕРАТУРА	217
Преглед коришћених ознака.....	223
Списак слика.....	226
Списак табела.....	229
ПРИЛОГ 1.....	231

1. УВОД

1.1. Проблем 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.

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 кретања (точкови, гусенице). Поред специјалних система возила, због смештаја унутар оклопног тела, подсистеми 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 (испресецима земљишту, савладавању природних и вештачких препрека), могућности брзе промене положаја после испаљеног пројектила, раду при неповољним временским условима (екстремно ниска температура, обилне падавине) 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 техничког 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. истрошености 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 монотono 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 елемената, подсистема 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 погонског агрегата, 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 израдом, 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 погонског агрегата и продужетка његовог радног века.

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 радног века погонског агрегата 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 техничког система 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 његовог радни век, у првом реду зависе од конструкције, примењених материјала и технологије израде као и од начина одржавања и услова његовог коришћења. За утврђивање поузданости и радног века погонског агрегата, неопходни су пре свега подаци о његовом понашању током фазе животног циклуса који се односи на његово коришћење. Зато је потребан велики број података, за чију обраду је 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 фази коришћења погонских агрегата, 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 вида одржавања (*основно и техничко одржавање*) погонских агрегата, на месту 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 захтеване поузданости и расположивости предметних агрегата специјалних војних возила.

У нашој Војсци, до сада се у одржавању техничких система Копнене Војске (КОВ) 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 варијанта одржавања егзистира и комбинација превентивног и корективног одржавања, али њена адекватна примена није методолошки још разрађена.

Ако се анализира 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 данашњег гледања сматра превазиђеним, због вишка одржавања и због чињенице да сви технички системи и склопови возила немају исти карактеристику интензитета отказа, па је често био случај да се после превентивне замене неких од склопова и елемената 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 углавном недовољно расположивих финансијских средстава као и критичних резервних делова за одржавање, период након распада СФРЈ се карактерише мањком одржавања.

За тренутну ситуацију, кад је у питању одржавање техничких система у Војсци, може се дати следећи закључак: примена превентивног и корективног одржавања, не праћење нових научних сазнања и метода у откривању потенцијалних отказа а самим тим и примене адекватне концепције одржавања, нерешен начин прикупљања података о понашању техничких система током њихове експлоатације а који би се могли на ваљан начин искористити у циљу побољшања постојећег система одржавања, не успостављање везе између носиоца развоја техничких система, јединице Војске која се бави одржавањем дотичног техничког система и корисника техничког система у циљу праћења система у раду и евентуално благовременог покретања поступка реконструкције или реинжењеринга уколико је поузданост неког од елемената или подсистема техничког система мања 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.

1.2. Предмет истраживања

1.2.1. Прелиминарно-одређење предмета истраживања

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 одржавања. У овој дисертацији истраживање ће бити усмерено на сагледавање могућности побољшања система одржавања техничких система у делу који се односи на методологију одржавања.

Прецизније речено, предмет истраживања докторске дисертације је развој нове методологије одржавања техничких система на употреби у КоВ и потом сагледавање могућности примене ново развијене методологије код ревизије постојеће методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила. Обзиром да би истраживање било обимно за један сложени технички систем као што је специјално војно возило (нпр. тенк), 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 на конкретан технички систем - погонски агрегат специјалних војних возила. На избор погонских агрегата за предмет истраживања највише је имало утицаја то што представљају виталне и кључне системе за обезбеђење одговарајуће покретљивости специјалних војних возила, као једне од три кључне карактеристике специјалних војних возила.

Ново развијена методологија ће се применити на ревизији методологије одржавања погонских агрегата (дизел мотора СУС ознаке V46-ТК, снаге 735 kW) уграђених у специјална војна возила Војске Србије - тенк М-84А.

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

Пре дефинисања методологије одржавања техничких система на употреби у КоВ и њеној примени код ревизије постојеће методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, приказаће се основне карактеристике неких од методологија одржавања, као што су:

- Одржавање према поузданости (RCM);
- Тотално продуктивно одржавање (TPM);
- Одржавање према раду (OOM).

Имајући у виду да горе поменуте методологије одржавања нису заступљене у довољној мери на одржавању техничких система 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.

1.2.2. Сазнања о предмету истраживања

1.2.2.1. Научно познато и проверено

У теорији одржавања техничких система, до сада је развијен велики број модела превентивног одржавања за различите концепције одржавања и различите критеријуме оптимизације (расположивост, економичност трошкова одржавања и др.). 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 цели технички систем а да при томе се не разматрају детаљно елементи, склопови и подсистеми који чине такав технички систем, обзиром да су сазнања из експлоатације техничких система показала да се за један технички систем не може применити јединствена концепција одржавања пошто су поједини технички системи састављени од

елемената, склопова и подсистема чије су карактеристике интензитета отказа углавном различите.

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 [2]. Према наведеним истраживањима проценат случајних отказа пре истека периода за који је одређивана поузданост износи од 71% до 92%. Тако је доказано да за неке од сложених система, ремонт има само супротан ефекат, јер 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 методологија одржавања (као што је RCM методологија) 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 елемената система.

1.2.2.2. Научно познато и неверификовано

У досадашњим активностима на усавршавању система одржавања, управо недостаје методологија за избор одговарајућих концепција 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.

Познато је да различите методологије за избор 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 компјутерски системи за управљање одржавањем, који између осталог имају задатак прикупљања великог броја података.

1.2.2.3. Искусствено познато

Стручна лица надлежна за извршење активности из домена одржавања по правилу немају потребна знања из статистике и математике, те су склонији ка њима јасним и једноставнијим методологијама. У одржавању техничких система КоВ постоје значајна искуства у експлоатацији и одржавању специјалних војних возила а самим тим и погонских агрегата возила.

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

1.2.2.4. Непознато и неистражено

У нашој КоВ 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.

Не постоји развијена 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 донешеној одлуци о концепцији одржавања, како би се могла поредити са претходним системом.

1.3. Циљеви истраживања

Основни циљ истраживања представља усавршавање постојећег система одржавања погонских агрегата специјалних војних возила у делу који се односи на развој нове методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, која ће омогућити стварање услова за одржавање захтеване поузданости и расположивости предметних погонских агрегата током њиховог пројектованог радног века.

Обзиром да је концепција одржавања главно обележје методологије одржавања техничких система акценат у истраживању биће управо дат на дефинисању методологије за избор одговарајућих концепција одржавања склопова и

подсистема техничког система па потом примена ново дефинисане методологије за избор одговарајућих концепција одржавања склопова и подсистема код ревизије постојеће концепције одржавања погонских агрегата специјалних војних возила.

У ужем смислу циљеви истраживању су:

1. Теоријска разрада и опис методологија одржавања које се могу применити у нашим условима на техничким системима односно предметним погонским агрегатима специјалних војних возила;
2. Развој нове методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система на употреби у КоВ;
3. Примена ново развијене методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система код ревизије постојеће концепције одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, ради стварања потребних услова за одржавање захтеване поузданости и расположивости предметних погонских агрегата током њиховог пројектованог радног века;
4. На бази прикупљених података о отказима погонских агрегата током њихове употребе, анализа отказа елемента погонског агрегата који је проузроковао највећу штету и потом дефинисање поступка за утврђивање таквог специјалног отказа и дефинисање превентивних активности како се исти не би више понављали;
5. Сагледавање могућности примене ново развијене методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система за ширу употребу.

1.4. 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 са претходно изнетим циљевима.

Поред основне хипотезе постављене су и додатне хипотезе које треба да послуже као смернице у току истраживања и то су:

- Постојећа методологија одржавања погонских агрегата специјалних војних возила на употреби у КоВ, која се састоји од превентивне и корективне концепције одржавања, може се адекватно побољшати у циљу постизања ефективнијег одржавања предметних погонских агрегата;
- Могуће је извршити анализу начина и ефеката отказа погонских агрегата специјалних војних возила на основу података о отказима погонских агрегата током њихове употребе као и на основу искустава током њиховог одржавања;
- Постоји начин за превазилажење евентуалног недостатка статистичких података о отказима погонских агрегата током њихове употребе, ради анализе начина и ефеката отказа погонских агрегата;
- Методологија RCM може бити основа за развој нове методологије у циљу постизања ефективнијег одржавања погонских агрегата;
- Могуће је образложити оправданост изабраних концепција одржавања склопова и подсистема погонског агрегата специјалног војног возила по ново дефинисаној методологији као и дефинисаних временских интервала за извођења изабраних концепција одржавања.

1.5. 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 верификације појединих хипотеза, истраживање је теоријско-емпиријског

карактера, при чему се у пројектовању и реализацији комбинују опште научне методе и посебне научне методе.

Коришћене методе и технике у оквиру предмета истраживања су систематизоване на следеће групе:

- **опште научне методе:** емпиријске методе, статистичке методе и метода моделирања;
- **посебне научне методе:** дефиниција и класификација, анализа и синтеза, апстракција и конкретизација, индукција¹ и дедукција²;
- **креативне методе и технике приказивања:** метода логичке анализе, метода компарације, оцењивање и одлучивање и техника приказивања.

¹ Индуктивна метода је системска примена индуктивног начина закључивања којим се од запажања конкретних појединачних случајева долази до општих закључака.

² Дедуктивна метода је системска примена дедуктивног начина закључивања у којем се из општих закључака изводе посебни и појединачни закључци.

2. ЗНАЧАЈ ИСТРАЖИВАЊА И ОСВРТ НА РЕЛЕВАНТНЕ БИБЛИОГРАФСКЕ ИЗВОРЕ И ОСТВАРЕНЕ РЕЗУЛТАТЕ

Научно подручје истраживања је из области одржавања техничких система, 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 пракса са становишта ефективнијег одржавања погонских агрегата предметних возила, уз очување захтеване поузданости и расположивости техничких система.

У наставку је дат преглед неких од важних радова и књига, које са различитих аспеката третирају предметну проблематику.

У раду [3] су систематизовани подаци из експлоатације о отказима мототехничког дела возила посебне намене из два возна парка ових техничких система. После груписања отказа по интервалима времена рада до отказа извршена је процена показатеља поузданости. На основу резултата тестирања, за оба парка возила посебне намене, за функцију поузданости усвојена је Вејбулова двопараметарска расподела. Оптимална периодичност одржавања одређена је по критеријуму максималне готовости и критеријуму минималних трошкова. Периодичност превентивног одржавања возила посебне намене је одређена компромисним решењем, које узима у обзир оба критеријума. У односу на постојећи концепт одржавања, израчуната периодичност превентивног одржавања за цело возило налази се у периоду између првог и другог техничког прегледа возила посебне намене. Аутор је закључио да је непотребно превентивно одржавање реализовати са два техничка прегледа у релативно блиском временском интервалу (први и други технички преглед) већ само једним превентивним прегледом и то у израчунатом времену превентивног одржавања. На овај начин наводно би се рационализовао постојећи концепт превентивног одржавања, смањили би се трошкови одржавања и повећала готовост возила посебне намене. На основу анализе периодичности превентивног одржавања виталних склопова возила посебне намене, по истој

методологији, дошло се до закључка да су периодичности одржавања ових склопова различите.

Детекција изостанка сагоревања у цилиндрима мотора возила посебне намене реализована је експерименталном методом у лабораторијским условима. У оквиру експерименталне методе праћене су промене угаоне брзине коленастог вратила на његовом слободном крају, флукуација притисака издувних гасова у издувним колекторима мотора и промене притиска у цилиндру број 1., где је био уграђен пиезо давач. При томе су, раздвајањем везе цеви високог притиска са одговарајућим прикључком на пумпи високог притиска, симулирани случајеви нормалног одвијања радних процеса у свим цилиндрима, изостанака сагоревања у сваком од цилиндара појединачно и истовременог изостанака сагоревања у два цилиндра (трећем и шестом).

Критички осврт:

За борбена возила је у оквиру превентивног одржавања предвиђен I Технички преглед након пређених 400-1.550 km или 95-105 мч, а II Технички преглед након 900-3.100 km или 195-205 мч [4]. Када је у питању погонски агрегат предметних борбених возила, замене које су превиђене у оквиру техничких прегледа односе се на замену уља и пречистача, док остале активности се углавном односе на проверу подешености, затегнутости делова помоћних система погонског агрегата, дотезање на прописану вредности итд. С тим у вези, није јасан закључак аутора да превентивно одржавање треба реализовати сваког другог уласка возила у радионицу, односно прорачуном је дошао након остварених 332 мч рада возила из једног посматраног возног парка односно 348 мч из другог возног парка, без претходне анализе евидентираних отказа са становишта да ли су исти могли бити спречени дефинисаним активностима одржавања у оквиру техничких прегледа.

Такође, несумњиво је показано да се мерењем флукуације угаоне брзине коленастог вратила мотора на пробном столу може пратити стање у радном простору мотора, међутим аутор се није дотако проблематике како то искористити као много важан дијагностички уређај у теренским условима ради добијања благовремене информације о појави отказа пре прорачунатих односно предвиђених времена за спровођење превентивних прегледа, без вађења мотора из возила и

његовог постављања на пробни сто у лабораторији јер то изискује знатно време и друге ресурсе.

У раду [5] креирана је побољшана методологија избора концепција одржавања комплексних бродских система који се налазе у експлоатацији, према основним принципима RCM методологије одржавања. У раду је дефинисано укупно пет концепција одржавања: корективно одржавање, превентивно одржавање, детективно одржавање, предиктивно и проактивно одржавање. Због потребе да се рационално користе ресурси за анализу свих бродских комплексних система, моделирана су три различита приступа зависно од тога да ли постоје искуства из претходног одржавања и висини трошкова њиховог одржавања. Прва грана избора концепција одржавања за системе који немају освојено одржавање полази од извршене Анализе начина и ефеката отказа (FMEA) на нивоу система. Друга грана методологије представља ревизију претходног одржавања система који спадају у мању групу са скупљим одржавањем. Трећа грана методологије избора концепција одржавања се односи на велику групу система који имају јефтине одржавање. Она примењује генеричко одржавање за групе система који раде и одржавају се под сличним условима, а примењује се где ће дати највеће резултате применом проверених проактивних метода. Применом ове методологије, према речима аутора, постиже се смањење трошкова одржавања уз очување сигурности функционисања и готовости бродских система.

Критички осврт:

У раду нема математичких прорачуна поузданости, иако се ради о области која се у прошлости углавном третира статистичким апаратом. С тим у вези, није могуће квалитетно сагледати предности предложене нове концепције одржавања морнаричких бродских комплексних система. Аутор се водио чињеницом заснованом на парадоксу Ресникофа (који тврди да ако се скупљају подаци о отказима то је због тога што се нису превенирали) и "P-F" интервалу (време између потенцијалног и стварног отказа), на основу којих је закључио да је основа у квалитативној методологији која се може накнадно квантификовати. У раду су описани основни принципи RCM методологије на основу којих је формирана нова концепција одржавања комплексних бродских система, као и остале инжењерске

методе (FMEA, FMESA, FTA) које представљају добру основу за истраживање могућности њихове примене на осталим техничким системима.

У раду [6] је приказана примена секвенцијалног метода, код одређивања оптималне стратегије одржавања у вези тога кад да се примени превентивно одржавање на мотору градског аутобуса Хонг Конга и када да се изврши замена мотора током употребе истог. Наиме, главни циљ студије а у складу са интересовањем компаније Kowloon Motor Bus Company Limited из Хонг Конга је био да се одреди стратегија превентивног одржавања као и замене за моторе градских аутобуса засновано на минимизацији:

- Губитака, дефинисаних као сума трошкова превентивног одржавања, трошкова оправке и економских трошкова због престанка рада мотора а самим тим и функционисања градског превоза;
- Трошкова, дефинисаних као сума трошкова превентивног одржавања и оправке и
- Застоја, дефинисаног као укупно време превентивног одржавања и оправке, мереног у месецима.

Секвенцијални метод је израђен на основу података о понашању мотора током експлоатације које је обезбедила компанија Kowloon Motor Bus Company Limited из Хонг Конга. У раду је коришћена Вејбулова расподела отказа.

Као кључне резултате, аутори рада наводе следеће:

- Четири функционалне формуле су предложене за приказ расподеле животног циклуса мотора, процењене су вредности расподеле одређених параметара и оцењен је квалитет расподеле;
- Вредности индикатора корективног одржавања су процењени и одређене вредности су додељене индикатору превентивног одржавања;
- Остале улазне вредности за методу су процењене;
- Коначно, три оптималне стратегије одржавања и замене у односу на три различита критеријума су одређене, респективно.

Према мишљењу аутора презентована студија случаја показује да секвенцијални метод се може користити да реши проблем одржавања и замене мотора градских аутобуса.

Суочени са старењем флоте бродова као и убрзаним темпом изазовних операција кроз већи број мисија, Обалска стража САД (USCG) је почетком овог века истраживала нове стратегије за одржавање бродских пропулзија погоњених дизел моторима. Аутори у раду [7] наводе да је одржавање према поузданости RCM кључна методологија одржавања која помаже да се одреди које је задатке одржавања потребно реализовати и у које време. Алгоритми RCM код доношења одлуке омогућују да се смањи застој техничких система, као и трошкови одржавања, нежељени догађаји и обезбеди бољи увид у способности датог средства.

Једна од интензивних активности одржавања Обалске страже САД је рутински ремонт главних дизел мотора пропулзије (MDEs - Main propulsion diesel engines). Обалска стража је ремонт главних дизел мотора реализовала шест пута годишње при чему је приближна цена била од 250.000,00 \$ у резервним деловима и 3.000 радних сати по ремонту. Овај ремонт најчешће се састоји од растављања и прегледа свих клипова и кошуљица као и замена одређених елемената. У раду је закључено да се применом RCM методологије одлаже или се елиминишу овако скупи ремонти доносећи при томе значајне уштеде.

Циљ овог рада је био да се истражи однос време-отказ Alco 251 бродске пропулзије која је радила у „Reliance“ класи бродова. За анализу је коришћена експоненцијална, Вејбулова и трећи део Вејбулове композитне функције густине отказа за моделирање отказалих мотора користећи податке који датирају од 1978. године. Подаци нису указивали на извор отказа мотора. Резултати су показали већу стопу отказа при достизању рада мотора од 24.000 сата као и константан отказ у другом делу криве отказа (тзв. област корисног радног века), али повећање стопе отказа приказаног Вејбуловим моделом сугерише закључак да периодични ремонти нису спречили отказе узроковане трошењем. Као резултат тога, закључено је да Обалска стража треба да размотри редефинисање стратегије ремонта дизел мотора ради спречавања повећања отказа узрокованих старењем.

Такође, аутори рада наводе да ремонти базирани на временској основи имају многе предности. Прво, доследно планирање буџета за реализацију функције подршке може да олакша варијабилно финансирање. Друго, обављање одржавања свих главних мотора истовремено може имати најмањи просечни утицај на

расположивост средстава. Коначно, временски дефинисани ремонти спречавају повећање стопе отказа мотора за оне отказе који би се могли појавити током рада у трећој области криве отказа (област трошења). Аутори истичу оправданост примене RCM методологије посебно у делу која подразумева да је превентивно одржавање оправдано само код делова техничких система који имају повећан степен трошења (старења).

У раду [8] су приказани резултати одређивања параметара поузданости мотора трактора, на основу којих је одређена вредност оптималне периодичности његовог одржавања за критеријум максималне готовости и за критеријум минималних трошкова одржавања. Процењене вредности показатеља поузданости мотора добијене су на основу података о појавама отказа погонског агрегата у реалним условима експлоатације. Примењујући методу одређивања закона расподеле поузданости, а на основу одступања вредности теоријске расподеле од резултата процењених вредности, дошло се до закључка да је Рејлијева расподела поузданости најприхватљивија за анализирани погонски мотор.

Анализом добијених резултата аутори су закључили да се највећа готовост погонског мотора добија за периодичност одржавања од 150 часова рада, при коришћењу критеријума максималне готовости, док се при коришћењу критеријума минималних трошкова најмањи трошкови одржавања погонског мотора добијају за периодичност одржавања од 250 часова рада. Како се оптимална периодичност спровођења поступака превентивног одржавања, одређена према критеријуму максималне готовости и према критеријуму минималних трошкова одржавања разликују, неопходно је било применити методе вишекритеријумске анализе и одредити вредност тражене оптималне периодичности спровођења поступака превентивног одржавања, узимајући у обзир и један и други критеријум оптимизације. Као метода вишекритеријумске оптимизације у раду је коришћен аналитички хијерархијски процес - АНР (Analytic Hierarchy Process). Применом наведене методе вишекритеријумске оптимизације, закључак је да се оптимална периодичност спровођења поступака превентивног одржавања мотора Ф4Л413ФР остварује након 200 часова рада мотора.

Критички осврт:

Параметри поузданости погонског мотора су одређени на основу података из експлоатације о отказима мотора, о којима аутори рада нису износили више детаља односно не може се закључити о каквој природи отказа се ради. Није могуће закључити да ли су евидентирани откази последица трошења или су случајни откази, односно да ли превентивно одржавање може имати било какав утицај на отказ. Такође у раду није наведено након колико часова рада мотора је у претходном периоду примењиван модел превентивног одржавања. Приказани начин одређивања оптималне периодичности има смисла само за делове техничког средства чије карактеристике са временом употребе деградирају.

У раду [9] је приказана примена савремене статичке методе - методе Марковљевих процеса за одређивање оптималног термина превентивног одржавања. Применом ове методе генерисан је математички модел на основу кога су одређене вероватноће стања система у раду као и у отказу. Оптимални термин превентивног одржавања одређен је максимизацијом функције расположивости. Модел коришћен у раду представља модел старења система са враћањем система у почетно стање (стање идентично стању новог система) након појаве стања у отказу. У раду се такође анализира могућност примене методе Марковљевих процеса и за случај не експоненцијалне расподеле функције густине отказа, тј. временски зависне функције интензитета отказа. Нумерички пример приказан у раду имао је за циљ да илуструје методу а решаван је применом софтверског пакета Matlab.

Аутори су закључили да је погрешан приступ да системе, који захтевају високу поузданост у свом раду, морају пратити и високи трошкови одржавања. Развијени модел имао је за циљ да покаже да је могуће применом савремених математичких метода одржати захтевани ниво поузданости и ефективности система уз знатно смањене трошкове одржавања. Постављени модел као и принципи одређивања функције расположивости не зависе од врсте система, па се модел и решења добијена изложеном процедуром могу применити на многе техничке системе. Битно ограничење код примењеног модела јесте могућност одређивања оптималног термина превентивног одржавања само у случају једно-компонентних система. За случај мулти-компонентних система потребно је развити другачији модел. Такође, аутори наводе да би наредни правац истраживања могао бити

анализа сензитивности модела у циљу одређивања доминантних параметара на које је модел осетљив.

Приступ са неуронском мрежом је коришћен у студији [10] да се анализира поузданост, расположивост и погодност одржавања комплексног оправљивог система. Општи модел је предложен и техника је илустрована кроз специфични систем односно транспортни хеликоптер. Оперативни параметри хеликоптера су идентификовани, квантификовани, графички приказани и симулирани подацима претходних система. Процедурални кораци за изградњу вештачких неуронских мрежа за наведени циљ су детаљно описани. Предложена вештачка неуронска мрежа, приказана је на примеру решавања задатка који се састоји од осам улазних параметара и једног комбинованог излазног параметра заснованог на поузданости, расположивости и погодности за одржавање, што се представља индексом RAM (RAM - поузданост, расположивост и погодност одржавања). Обучена (научена) вештачка неуронска мрежа се састоји од 80 неурона у улазном слоју, 100 неурона у првом скривеном слоју, 10 неурона у другом скривеном слоју и једним неуроном у излазном слоју. Предложена мрежа је искоришћена да се испита утицај појединих улазних параметара (*време дневног одржавања по јединици времена лета, време периодичног одржавања по јединици времена лета, додатно време одржавања по јединици времена лета, индекс који узима у обзир приземљење хеликоптера због недостатка резервних делова, индекс који квантификује ниво штетност околине на рад хеликоптера, индекс ефективности посаде, индекс који зависи од расположивости, компетентности и учинка особља задуженог за одржавање, индекс који квантификује просечну тежину нивоа мисије или задатка на хеликоптер*) и група улазних параметара на комбиновани излазни параметар RAM. Закључено је да су вештачке неуронске мреже драгоцен апарат за анализу и оптимизацију комплексног оправљивог система са становишта поузданости, расположивости и погодности одржавања.

Табела 2.1. приказује основне карактеристике појединих радова доступних у предметној области као и упоредни приказ карактеристика развијених модела у овој дисертацији.

Табела 2.1. Упоредни приказ радова из области докторске дисертације

Р. бр.	Лит.	Основни садржај радова			
		Анализа података из експлоатације	Моделирање отказа система	Област рада	Метода
1.	[3]	Да	Вејбулова двопараметарска расподела	Оптимална периодичност одржавања специјалних возила одређена је по критеријуму максималне готовости и критеријуму минималних трошкова	Вишекритеријумска оптимизација, метода аналитичког хијерархијског процеса – АНР (Analytic Hierarchy Process)
2.	[5]	Не	Не	Избор концепције одржавања комплексних бродских система	RCM
3.	[6]	Да	Weibull-ова расподела	Одређивање оптималне политике превентивног одржавања мотора градског аутобуса Хонг Конга и замене мотора током употребе истог	Секвенцијални метод
4.	[7]	Да	Трећи део Weibull-ове расподеле	Истраживање односа време-отказ ALCO 251 бродске пропелзације	RCM
5.	[8]	Да	Рејлијева расподела	Одређивање оптималне периодичности одржавања мотора трактора F41413FR за критеријум максималне готовости и за критеријум минималних трошкова одржавања	Метода вишекритеријумске оптимизације - АНР
6.	[9]	Не	Не	Одређивање оптималног термина превентивног одржавања система	Метода Марковљевих процеса за одређивање оптималног термина превентивног одржавања максимизацијом функције расположивости

Р. бр.	Лит.	Основни садржај радова			
		Анализа података из експлоатације	Моделирање отказа система	Област рада	Метода
7.	[10]	Не	Не	Примена неуронских мрежа код анализе поузданости, расположивости и погодности одржавања комплексног управљивог система-транспортни хеликоптер	Неуронске мреже
8.	РАД	Да	Вејбулова двопараметарска расподела	Методологија одржавања погонских агрегата специјалних војних возила	<ul style="list-style-type: none"> - RCM - Анализа логистичке подршке - Анализа специјалног отказа - лома клипњаче погонског агрегата специјалног војног возила

3. ПОЗНАТЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ ОДРЖАВАЊА

Након детаљног прегледа радова у предметној области а имајући у виду постављене циљеве дисертације, дошло се до закључка да би RCM методологија могла бити одговарајућа основа за даље истраживање и дефинисање методологије за одржавање погонских агрегата специјалних војних возила. Поред RCM методологије, а у циљу сагледавања могућности примене и других познатих методологија одржавања као полазне основе код реализације циља истраживања ове дисертације, анализираће се и методологија тоталног продуктивног одржавања (TRM) и методологија одржавања према раду (OOM), чија основна обележја се у мањем делу поклапају са RCM методологијом а у већем делу надопуњују.

3.1. Одржавање према поузданости

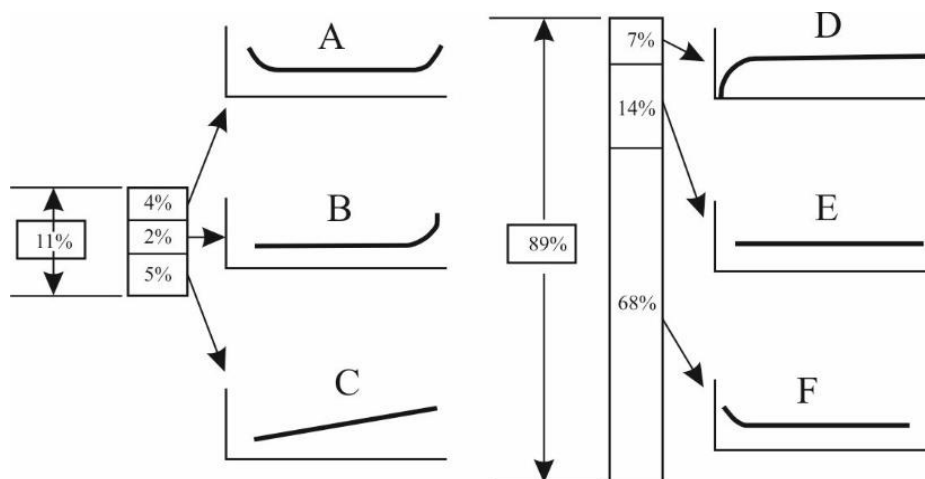
Корени RCM потичу још из раних шездесетих година прошлог века када су у Северно Америчкој цивилној авијацији схватили да је њихова политика одржавања не само скупа, већ и недовољно ефикасна. Да би идентификовали одговарајуће захтеве за одржавање за нови авион „Boeing 747“, представници неколико америчких ваздухопловних компанија формирали су Групу за управљање одржавањем MSG (*engl.* - “Maintenance Steering Group”), чији је задатак био преиспитивање дотадашњег одржавања авиона. Федералне ваздухопловне власти су у почетку биле мишљења да би програм „Boeing 747“ требао бити три пута скупљи од програма „Boeing 707“ имајући у виду да „Boeing 747“ омогућује транспорт три пута више путника. Ваздухопловне компаније су знале да такав програм не би могао бити економски одржив и покренута је студија за проверу карактеристика отказа авионских компоненти.

Направљено је опсежно истраживање о отказима и понашању комплексне авионске опреме. Резултате програма први су објавили 1968. године водећи стручњаци Федералне авијације (*Federal Aviation Administration - FAA*) из Вашингтона у документу познатом под називом *MSG-1*.

За резултате MSG-групе веома се брзо прочуло, па је америчко Министарство одбране наручило комплетан извештај о достигнућима наведене групе. Извештај су

направили Стенли Ноулан и Хауард Хеп (engl.- Nowlan and Hear) и дали му наслов Одржавање према поузданости (engl.-"Reliability Centered Maintenance (RCM)") [2], који је био потпун приказ методологије усавршавања процеса одржавања у цивилној авијацији. Након тог извештаја, у стручној и научној јавности они се сматрају творцима RCM методологије одржавања.

Прво што су утврдили било је да ремонт по фиксном термину има мали ефект на укупну поузданост комплексне опреме, осим ако она нема доминантни начин отказа. Друго што је утврђено, јесте да за већи део опреме нема ефективног превентивног одржавања. Сагласно тим резултатима представљене су и одређене криве отказа [11], слика 3.1.



Слика 3.1. Карактеристике отказа компоненти авиона [11]

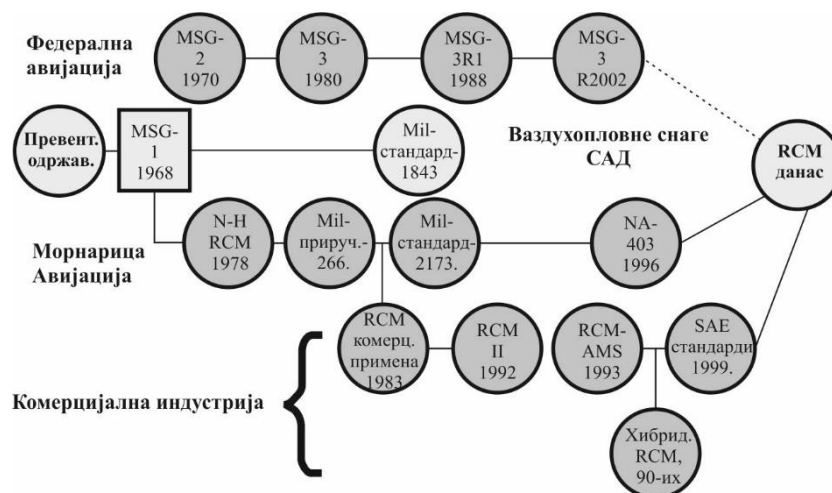
На слици 3.1., може се видети да само 11% компоненти показују карактеристике отказа за које плански ремонт или замена има ефекта, 89% представљају карактеристике случајних отказа за које плански ремонт није ефективан. Пошто је плански ремонт био примарни програм одржавања у то време, било је потребно да се дефинише нови начин рада на одржавању за 89% компоненти за које плански ремонт није био применљив. Технике праћења стања су биле развијене да се предвиди почетак отказа компоненти које имају карактеристику случајног отказа.

Америчка ваздухопловна администрација била је импресионирана са MSG-1, тако да су захтевали да се изврши генерализација идеје како би се могла применити и на друге ваздухоплове. Тако је 1970. године издат документ под називом Airline Manufacturer Maintenance Program Planning Document. MSG-2 је дефинисала и стандардизовала метод за развијање ефективног и економичног програма

одржавања. Колико је тај документ донео промена говори податак да се раније на 400 компоненти морао вршити ремонт по временском ресурсу, а после MSG-2 анализе на само 10 компоненти [12]. Уштеде су биле велике, а сигурност лета се повећавала. По MSG-2 се најпре проверавао интегритет компоненти, а онда утицај на читав систем. Ту је представљена методологија као аналитичка логика у одржавању, усмерена одозго према доле, управљана последицама отказа и оријентисана према активностима одржавања. Другим речима речено, FMEA и алгоритам избора активности одржавања су му биле две кључне карактеристике.

Током 1978. године, Министарство одбране САД уговорило је са компанијом United Airlines израду студије о ефикаснијем програму одржавања. Студија је произвела MSG-3, алгоритам одлуке тзв. RCM који је олакшао могућност детекције скривених отказа и померање од концепта оријентисаног на процес ка концепту оријентисаном на задатак [11].

После MSG-1, развој RCM следио је три различита и одвојена правца, као што је показано на слици 3.2, комерцијалне авијације, војне авијације и морнарице као и комерцијалне индустрије. Комерцијална индустрија је постала најразноврснија укључујући различите групе и људе са тржишта.



Слика 3.2. Историјски развој RCM [11]

Иако је разноликост настала у комерцијалној индустрији, она се касније проширила и кроз остале организације које користе RCM. Данас разноликост тумачења и примене RCM егзистира у војним и комерцијалним организацијама. Примена RCM под називом „Streamlined RCM“ укључује различите покушаје на брзој примени

RCM кроз одређене „пречице“, обично изостављајући неке рутинске кораке у примени RCM. SAE (Аутомобилско удружење инжењера) исказало је потребе да се напише стандард који дефинише који процес одговара оригиналном RCM концепту. С тим у вези, резултујући SAE стандард JA 1011, може се сматрати стандардом који дефинише класичан RCM концепт. Тај стандард даје критеријуме на основу којих се може утврдити да ли се неки процес може звати RCM процес. Такође и Интернационална електротехничка комисија је развила стандард IEC 60300-3-11, намењен за примену у сегменту авијације.

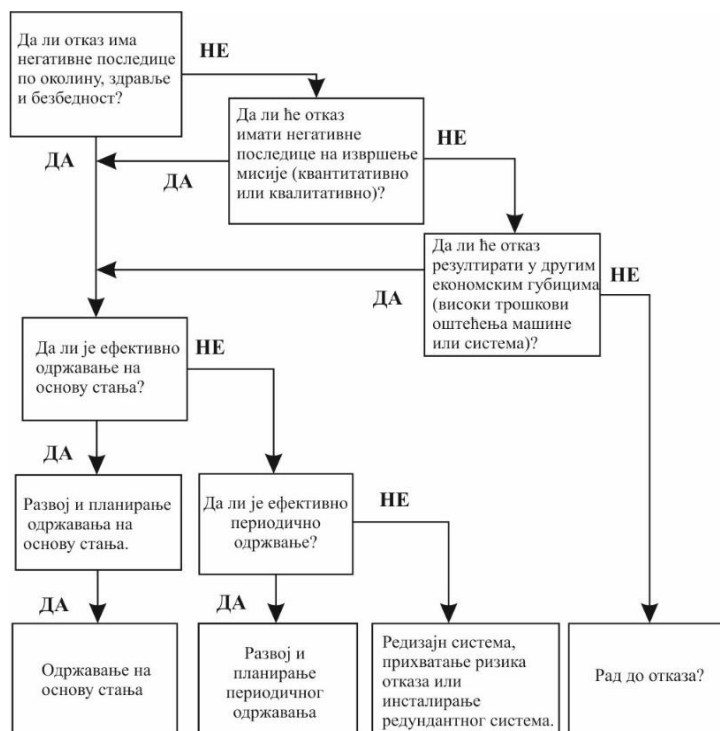
RCM се најпре почела користити у америчкој војсци, а касније у разним индустријским гранама, за шта су разрађени и одређени стандарди као што је MIL-STD-2173 (AS) или NAVAIR 00-25-403.

У идеалном случају, RCM анализа почиње током пројектовања и развоја новог система. Међутим, RCM може се такође користити прилично ефективно да се модификује и оптимизује програмска шема одржавања за егзистирајући систем.

„Logic tree“ односно алгоритам за одлучивање, слици 3.3, састоји се од серије питања са намером да се одреди где превентивно одржавање или промене конструкције се захтевају (због безбедности), или где је превентивно одржавање економичније од потпуно корективног одржавања.

Закључак би био да RCM обезбеђује дисциплинован начин да се одреди оптимална комбинација примењивих и ефективних активности одржавања потребних да се одржи оперативна поузданост система и опреме док се истовремено осигурава њихова безбедност, економични рад и подршка.

Алгоритам за доношење одлуке RCM има за циљ да се утврди начин одржавања за одређену позицију опреме или система.



Слика 3.3. Алгоритам за доношење одлуке о активностима одржавања-RCM [13]

Анализом процеса са слике 3.3. може се доћи до четири могућа закључка:

1. Извршити одржавање на основу стања (одржавање према стању);
2. Извршити одржавање према унапред дефинисаним временским роковима (превентивно одржавање);
3. Одредити која реконструкција би могла да се примени да се реши проблем или да се прихвати ризик отказа или одредити које ће активности без одржавања смањити вероватноћу отказа, нпр. инсталирањем редундансе;
4. Без активности одржавања, односно изабрати опцију да се оправка предузима тек након отказа (Run-to-Failure - рад до отказа).

3.1.1. Циљ RCM

RCM идентификује стратегију одржавања која мора бити имплементирана да би се очувала функција система унутар његовог оперативног контекста. С тога, RCM се фокусира на очувању функције система. Овај метод разликује RCM од метода традиционалних методологија одржавања и анализа одржавања.

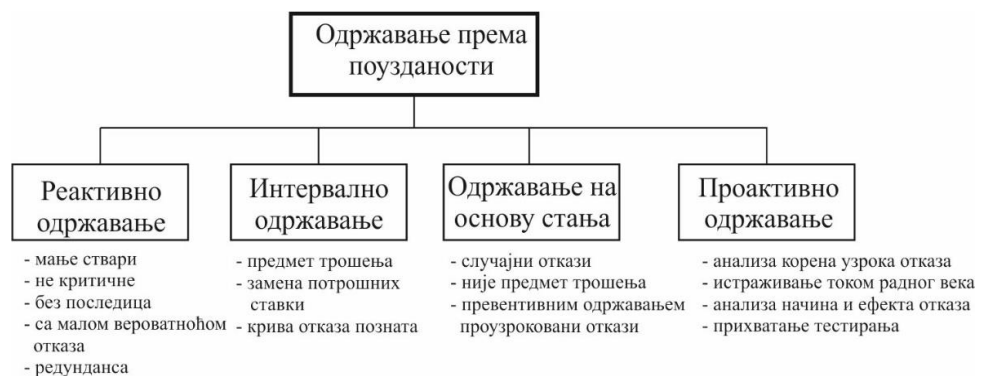
Са RCM, планско одржавање се заснива на карактеристикама отказа у његовом оперативном контексту. Планско одржавање подразумева неке облике који укључују визуелне прегледе, технике софистицираних прегледа као што је вибро-акустичне анализе, термалне анализе или плански ремонт.

RCM препознаје и опције „одржавати кад откаже“ или „ради до отказа“ када се постиже потребна ефективност и ефикасност а отказ нема потенцијалног утицаја на безбедност лица или система.

Примарни принципи RCM су [13]:

1. RCM је функцијски оријентисана методологија одржавања. RCM настоји да сачува функцију система или опреме, а не само оперативност. Редундантност функције, кроз више елемената опреме, побољшава функционалну поузданост са једне стране али повећава и трошкове животног циклуса у погледу трошкова набавке и употребе са друге стране. Овом методологијом одржавања се више пажње обраћа на одржавање функције система, него на функције елемената неког система.
2. RCM је усмерена на поузданост. RCM користи статистику отказа само ако је припремљена од стране искусних професионалаца, те важност односу између времена рада и отказа даје само ако је заснована на провереном искуству.
3. RCM препознаје конструкционе могућности техничког система. Циљ RCM је да се одржи инхерентна поузданост пројектованог техничког система, препознајући које промене у инхерентној поузданости су предмет конструкције пре него одржавања. Међутим, RCM препознаје да повратна веза, искуства стечена током одржавања, може побољшати оригиналну конструкцију. Поред тога, RCM препознаје да често постоје разлике између пројектованог радног века и стварног радног века техничког система, до чега се може доћи истраживањем односно праћењем понашања система у сврху доласка до информација (Age Exploration - AE).
4. RCM је вођен безбедношћу и економичношћу. Безбедност се мора обезбедити по сваку цену, после тога, економичност постаје критеријум.

5. RCM дефинише отказ као незадовољавајуће стање. Због тога, отказ може бити престанак вршења функције (престанак рада) или недостатак захтеваног квалитета током вршења наменске функције (рад се наставља али са одступањем квалитета у односу на жељени).
6. RCM користи алгоритам за избор задатка (активности) одржавања. Ово обезбеђује конзистентан приступ одржавању опреме различитих врста.
7. RCM активности одржавања морају бити примењиве. Активности морају решити начине отказа и размотрити карактеристике начина настајања отказа.
8. RCM активности одржавања морају бити ефективне. Активности морају смањити вероватноћу отказа и бити ефективније.
9. RCM прихвата постојање и примену више концепција одржавања. RCM је оптимална комбинација реактивног (корективног), временски или интервално заснованог одржавања, одржавања на основу стања као и проактивног одржавања. Основна примена сваке концепције је приказана на слици 3.4. Ове основне концепције одржавања, пре него се примењују самостално, интегришу се како би се искористиле њихове предности и како би се повећала поузданост објекта и опреме уз минимизирање трошкова животног циклуса.



Слика 3.4. Компоненте RCM програма [13]

10. RCM је „живи“ систем. RCM прикупља и обрађује податке из праксе у циљу побољшавања конструкције система и карактеристика одржавања. Ова повратна веза је важан елемент проактивног одржавања RCM програма.

3.1.2. Резултати примене RCM

Коришћењем RCM методологије постижу се значајни резултати [13]:

- Постизање веће сигурности у раду и заштите околине: RCM разматра сигурносне и еколошке импликације сваког начина отказа, пре него што се разматра њихов ефекат на извршење мисије.
- Побољшање радних перформанси: Концентрисањем на то шта су функције техничког система, а не шта је то систем. RCM омогућава кориснику да идентификује јасније и прецизније шта се мора учинити да би се постигло реално и значајно дугорочно побољшање поузданости и расположивости техничког система.
- Већа економичност одржавања: RCM фокусира пажњу на активности одржавања које имају највећи ефект на перформансе система. Тиме се постиже да је сваки трошак на одржавање у ствари трошак који ће направити највећу корист.
- Дужи користан радни век система, због пажљивог фокусирања на коришћење одржавања према стању.
- Стварање базе података: Свака RCM анализа завршава се са формираним и потпуно документованим записом о захтевима одржавања свих важних система. То омогућава адаптацију на сваку промену околности без свеобухватног поновног разматрања.
- Већа мотивација појединаца, посебно људи који су укључени у анализу. То води великом побољшању основног разумевања рада система у његовом оперативном контексту, заједно са већим саживљавањем са проблемима одржавања и њиховом решавању.
- Бољи тимски рад: RCM даје заједнички, лако разумљив технички речник за сваког ко мора да ради нешто у вези са одржавањем. Тиме се људима у одржавању омогућава да боље схвате шта одржавање може (и не може) постићи шта се мора учинити да би се то постигло.

Према [14] резултати постигнути применом RCM методологије, у различитим случајевима, би се могли одредити као:

- Смањење броја радних часова за превентивно одржавање до 87%;

- Смањење укупног броја радних часова за одржавање од 20% до 30%;
- Смањење трошкова материјала за одржавање до 64%;
- Смањење залиха резервних делова од 20 - 30%
- Повећање расположивости опреме до 15%;
- Повећање поузданости опреме до 100%.

Према доступним подацима RCM се највише користи у америчкој ратној морнарици и морнаричкој авијацији. Такође, RCM се користи у копненој војсци и санитетској служби. Америчка обалска стража такође користи RCM методологију, како за нове пројекте тако и за бродове који су већ у употреби. RCM се примјењује и у црној металургији, термо и хидроелектранама, нуклеарним централама, на механизацији површинских копова рудника, хемијској индустрији, рафинеријама нафте и нафтним платформама, поморству, жељезници, здравству [15].

3.1.3. Кораци RCM методологије

RCM анализа се састоји од утврђивања одговора на седам питања о техничком систему које се анализира [15, 16]:

- Које су функције и жељени ниво перформанси техничког система у његовом садашњем оперативном контексту?
- На који начин је могуће да технички систем не испуни своју функцију (функционални отказ)?
- Шта узрокује сваки функционални отказ (начин отказа)?
- Шта се деси приликом сваког отказа (ефекти отказа)?
- На шта сваки отказ утиче (последнице отказа)?
- Шта би се могло учинити за превенцију сваког отказа (превенција и одређивање интервала)?
- Шта би се могло учинити ако се не може наћи одговарајућа превенција (накнадно одржавање)?

3.1.3.1. Дефинисање функција

Да би се дао одговор на питање: "Које су функције и жељени ниво перформанси техничког система у његовом садашњем оперативном контексту?", потребно је

дефинисати све функције техничког система: најпре примарне функције, а онда и секундарне односно споредне. Категорија примарних функција покрива дефинисање: брзине, излаза, вредности капацитета складиштења, квалитета производње или сервиса према купцу итд. Споредне или секундарне функције показују корисникову жељу да технички систем испуњава више од обичне примарне функције.

Веома је важно дефинисање оперативног контекста техничког система. Оперативни контекст су услови и околина у којој технички систем извршава своју функцију. Ту долази до изражаја важност оперативног контекста за одржавање, јер произвођач не може знати у каквим ће увек условима да ради његов производ. Због тога произвођач дефинише активности одржавања за неке опште услове.

3.1.3.2. Дефинисање функционалног отказа

Дефинисање функција је важно због тога што се тако јасно може видети циљ одржавања. Када је дефинисана функција, онда је јасно и шта је то отказ. Функционални отказ је дефинисан као немогућност техничког система да извршава своју пројектовану функцију односно оно што корисник од тог система очекује. Прави се разлика између потпуног отказа и делимичног - парцијалног отказа, пошто су последице сасвим другачије. Дефиницију функционалног отказа, прекида обављања функције за поједини елемент, и стандард по ком ће се утврдити прекид функције, најбоље ће дати пројектанти, корисници - послужоци елемента и радници који врше одржавање техничког система.

3.1.3.3. Дефинисање начина отказа

Начин отказа у RCM анализи је дефинисан као догађај који манифестује функционални отказ. У дефинисању начина отказа користе се изрази као што су: сломљен, затворен, отворен, заривао, цури, кородирао итд. Дефинишу се сви логично могући начини отказа који могу манифестовати функционалне отказе. Начине отказа треба идентификовати на нивоу узрока за које је могуће одредити одговарајућу активност одржавања. Значи, код дефинисања начина отказа мора се навести догађај или процес који логично проузрокује функционални отказ,

укључујући трошење, грешку оператора или радника у одржавању, као и недостатке проузроковане конструкцијом.

3.1.3.4. Дефинисање ефекта отказа

Ефекти отказа треба да опишу шта се може десити ако се не изврши специфична активност одржавања која ће предупредити, превенирати или открити отказ.

Ефекти отказа треба да дају све информације које ће подржати процену последица отказа као што су: шта је то што омогућује евиденцију отказа (ако се ради о скривеним отказима, онда треба утврдити шта ће се десити у случају вишеструких отказа), шта је то што може довести до повреде или смрти било кога или да ли може доћи до негативног ефекта по околину; шта је то што може имати негативан ефекат на производњу или на расположивост; каква физичка штета настане при отказу. Такође, мора се утврдити шта треба учинити да би се извршила оправка, да би се упоредили трошкови корективног одржавања у односу на трошкове отказа.

3.1.3.5. Дефинисање последица отказа

Од тога какве су последице отказа зависи колико се треба трудити да се предупреди отказ. Ако отказ има веома озбиљне последице, треба се максимално трудити да се он адекватном активности одржавања спречи. Ако последица нема, може се донети одлука да се ништа не предузима, осим нпр. класичног чишћења и подмазивања. Велика снага RCM процеса је у томе што препознаје да су последице отказа далеко важније од техничких карактеристика отказа. Препознаје се да избегавање отказа самог по себи није једини разлог за предузимање неке активности одржавања која ће предупредити отказ, већ избегавање или редуковање последица отказа. Овде се може видети колико је значајан оперативни контекст, који је раније дефинисан, јер последице отказа се могу утврдити тек кад се познаје оперативни контекст.

Категоризација последица отказа мора јасно раздвојити догађаје (начине отказа или вишеструке отказе) који имају последице по сигурност људи или по околину, од оних које имају економске последице (последице по радну активност) или треће да немају таквих последица.

3.1.3.6. Превенција

Превенција се предузима пре него што дође до отказа, у циљу да се спречи прелазак техничког система из стања "у раду" у стање "у отказу". RCM методологија предвиђа три могуће превентивне концепције: планирана оправка, планирана замена и одржавање према стању. Прве две спадају у класично превентивно одржавање, пошто се ради о оправци (ремонту) или замени елемента или склопа након утрошка одређеног временског ресурса, без обзира на његово стање у то време. Одржавање према стању подразумева и све облике предиктивног одржавања или мониторинга стања.

3.1.3.7. Накнадно одржавање

Ако нема могућности да се изнађе одговарајућа превенција, онда се мора рачунати с тим да ће до отказа доћи. RCM методологија у том случају предвиђа: реконструкцију и корективно одржавање. Реконструкција подразумева било коју промену хардвера, промену процедура или чак обављање посебне обуке за послуживање система.

3.1.4. Предности и недостаци RCM

Закључује се да је RCM методологија одржавања универзално примењива на било које постројење, систем или опрему, што је јасно демонстрирано у претходним годинама [17]. Може се констатовати да је RCM једна од темељних методологија за оптимизацију одржавања, која се узима као основа за многе друге методологије. Међутим, овде се морају споменути критике и негативне стране те методологије.

Највећа замерка RCM методологији, односно објективно највећи проблем при примени RCM методологије је утрошак огромног напора и времена за анализу.

RCM није комплетан програм одржавања, који решава проблеме одржавања у некој организацији. RCM уопште не разматра планирање, терминирање и продуктивност у одржавању, нити укључује систем за подршку, као што је нпр. база техничких података повезана са складиштем.

3.1.5. Имплементација RCM

Не постоји прецизно дефинисани пут за успешну имплементацију RCM, зато што је RCM више него извршење FMEA. RCM подразумева и усвајање технике надгледања услова оптимизације одржавања кроз примену процеса прикупљања и анализе података из експлоатације (енгл. Age Exploration - AE). Процес успешне имплементације RCM, најпре мора препознати где се налазе извори враћања инвестиција (енгл. Return On Investment - ROI).

Извор враћања инвестиција може бити материјални и/или нематеријални. Мерљивост пословне успешности за организацију може се заснивати на финансијској користи (штедња, избегавање трошкова и/или смањења обавеза), док касније корист може бити немерљива (вештине запослених, морал, односи са купцима, итд).

Парето закон је најбољи алат за одређивање где да почне процес RCM, кроз проналазак уских грла и учестаних отказа. Пракса је показала да је имплементација RCM од стране тима знатно боља.

3.2. Тотално продуктивно одржавање

Потребу за темељитим и целокупним променама у приступу одржавању покренуо је јапански инжењер Seiісі Nakaјіma [18] својим ставом да одржавање није узрок трошка већ да ствара нову вредност предузећа. Накајима је први поставио и реализовао поставке тотално продуктивног одржавања, 1971. године, који је тада био копредседник Јапанског института за одржавање постројења. Накајима је поставио нове приступе и размишљања у домену одржавања производне опреме.

Сама реч "тотално" у називу ове методологије сугерише свеобухватност, што и јесте основна њена карактеристика. Методологија посматра производни систем као целину, а такође посматра технолошке системе кроз цео њихов животни циклус и као циљ поставља оптимизацију трошкова и искоришћења технолошких система на нивоу целог животног циклуса. Тотално продуктивно одржавање (енгл. Total Productive Maintenance - TPM) је покретачка снага за оптимизацију поузданости и ефикасности производне опреме. TPM је тимски засновано проактивно одржавање и обухвата сваки ниво и функцију у организацији, од највиших руководиоца до

најнижих нивоа (радионице). ТРМ се бави животним циклусом целокупног система производње и гради солидну, на радионици базиран систем, за спречавање свих губитака. Циљеви ТРМ укључују елиминацију свих незгода, недостатака и отказа [19].

Применом методологије ТРМ настоји се да се поступци одржавања спроведе онда када је то неопходно, а не само онда када дође до отказа техничког система. За разлику од методологије одржавања према поузданости, која се заснива на бази информације о поузданости, методологија тоталног продуктивног одржавања заснива се на информацијама свих оних који су на било који начин у контакту са техничким системом. За њену примену неопходан је домаћински однос искусних корисника према техничким системима која се одржавају.

Не треба схватити да примена ове методологије искључује коришћење информације о поузданости већ њеном применом се само инсистира на потпуној одговорности свих субјеката који су на било који начин у контакту са системом.

Методологија ТРМ је за разлику РСМ знатно једноставнија, па и начелно јефтинија. Заснована је на увиду у стање система у сваком тренутку и на искуству доносилаца одлуке о одржавању, те зато не тражи детаљне информације о поузданости и догађајима из претходног периода, односно не условљава постојање комплексних информационих система. Самим тим методологија ТРМ је флексибилна и омогућава одлучивање о одржавању и за техничке системе који се релативно кратко користе, тј. о којима нема искуства из претходног периода. Исто тако, ТРМ је веома прикладно и за техничке системе са великим бројем различитих елемената, уређаја, машина, возила итд. [19].

ТРМ се заснива на тоталној одговорности, јер стање система прате сви учесници производног процеса а циљ одржавања је да се обезбеди НУЛА отказа („ZERO“ failure). Са становишта праћења стања система, ТРМ личи на превентивно одржавање према стању (ПОПС).

Суштина методологије ТРМ је да сви радници који на било који начин долазе у контакт са техничким системом, имају право и обавезу да прате рад. Очигледно је да методологија ТРМ захтева високу радну дисциплину и посебан однос радника према техничком систему, као и свих других у пословном систему, високе етичке квалитете, развијену свест о личној одговорности, те изузетну организацију,

разрађен и угодан систем права и одговорности („колективизација одговорности“). Такође, захтева и велика искуства али и много знања.

Због добрих својстава и позитивних ефеката, методологија TPM је данас у средишту пажње не само у Јапану већ и у целом свету. Одржавање на овај начин примењује се у великим концернима као што су Hoechst, Renault, Yamaha, Nissan и други, затим у фабрикама које производе електронику, разне машине и уређаје итд. [18].

Активности TPM треба да се фокусирају на резултате. Једна од основних коришћених показатеља TPM у производним погонима је укупна ефективност опреме (Overall Equipment Effectiveness - OEE). При увођењу стратегије TPM потребно је омогућити мерење укупне корисности опреме, као мерило повећања корисности након увођења појединих фаза TPM [20].

$$OEE=EA \cdot PE \cdot RQ$$

EA - расположивост опреме (енгл. Equipment Availability)

PE- искоришћење перформанси (енгл. Performance Efficiency)

RQ - коефицијент квалитета (енгл. Rate of Quality)

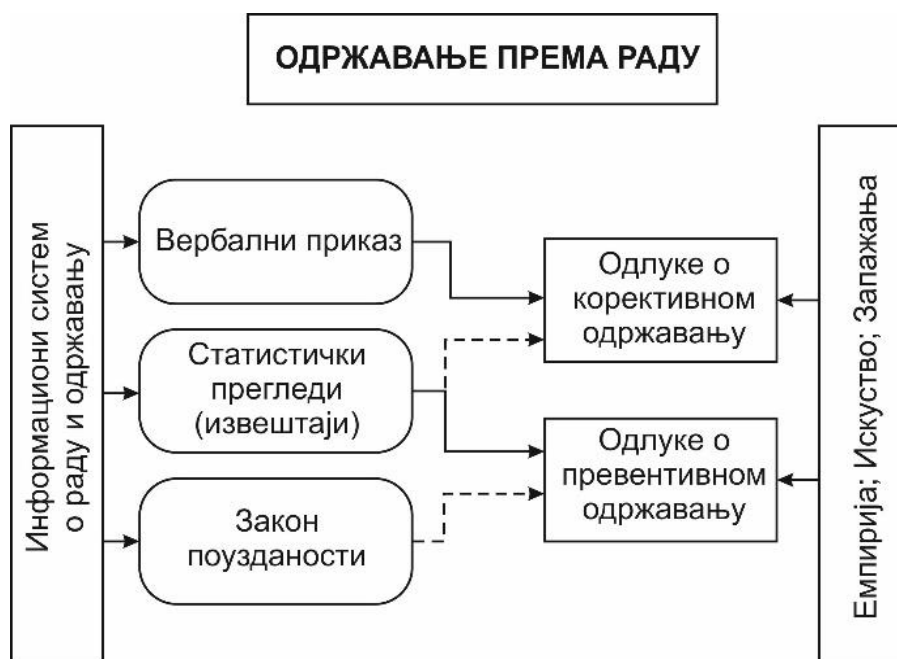
OEE= Распоживост опреме x Ефикасност перформанси x Коефицијент квалитета

3.3. Одржавање према раду

Пошто су RCM и TPM методологије у великом степену међусобно супростављене и различите у основном прилазу, као и у многим битним детаљима, логична су настојања да се између ове две крајности нађу нека средња решења. Један од таквих покушаја чини методологија по којој се одлучивање о одржавању везује за производне резултате просматраног система (енгл. Results Oriented Maintenance - ROM). Методологија је непосредно заснована на развијеном информационо-технолошком систему за компјутерско управљање одржавањем (енгл. Computer Integrated Maintenance Management - CIMM). Иако већим делом оријентисана на моторна возила и сличне машинске системе, методологија OOM је конципирана тако да се може применити и на друге врсте техничких система.

Методологија ООМ приказана је на слици 3.5., из које се види да се начин одлучивања о одржавању разликује за корективно и за превентивно одржавање. За случај корективног одржавања, одлука се доноси на бази [19]:

1. Вербалних исказа или запажања о стању система, односно о отказима или поремећајима у раду, које руковоаци, контролори, прегледачи или друга лица задужена уносе у документа о раду и одржавању и
2. Сопственог или туђег искуства, као и запажања и примедби које о раду посматраног система дају сва лица која на било који начин долазе у контакт са техничким системом који се одржава.



Слика 3.5. Методологија одржавања према раду [19]

Одлуке о спровођењу превентивног одржавања по методологији ООМ, пре свега у смислу одређивања периода и садржаја одговарајућих поступака доносе се на бази:

1. Статистички одређених информација о учестаности појаве отказа и о другим релевантним догађајима у животном циклусу посматраног техничког система, које се добијају обрадом и анализом података које обезбеђује одговарајући информациони систем о раду и одржавању и
2. Информација о законима појаве отказа (законима функције поузданости) за виталне елементе, склопове и подсистеме, које такође обезбеђује информациони систем, само уз више нивое обраде информација, с тим што

се и у овом случају уважавају сопствена и туђа искуства, односно запажања и примедбе које се добијају из било којих извора.

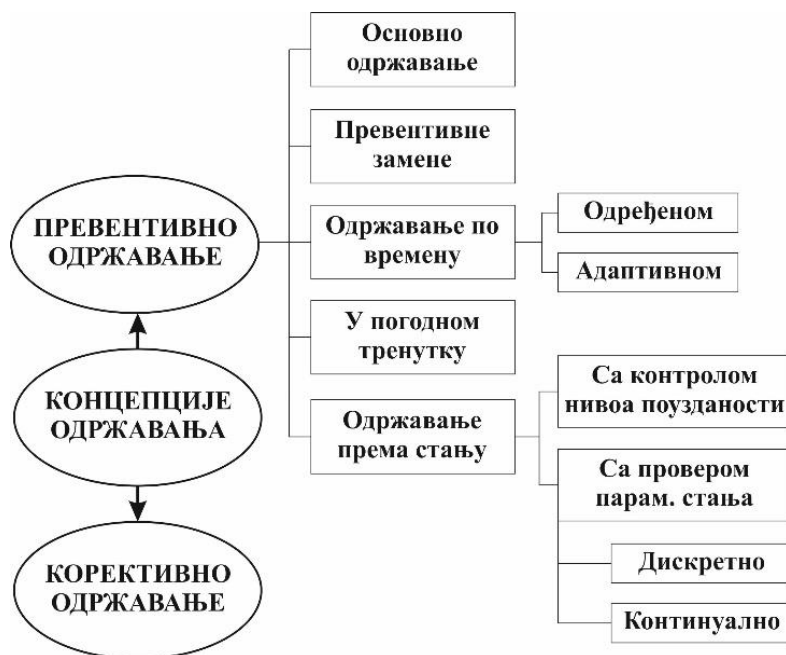
Методологија ООМ као и методологија RCM, тражи постојање комплексног информационог система о раду и одржавању, са свим битним атрибутима и особинама. Садржај, облик и ниво информација које обезбеђује овај информациони систем, међутим, није исти за све нивое одлучивања о одржавању.

4. КОНЦЕПЦИЈЕ ОДРЖАВАЊА

Обзиром да главно обележје сваке методологије одржавања представљају одређене концепције одржавања, у наставку ће се детаљније појаснити концепције одржавања чија је примена актуелна како у нашој Војсци тако и у оружаним снагама других држава, а у циљу стицања бољег увида у предности и недостатке појединих концепција одржавања. Предности и недостаци појединих концепција одржавања као и услове њихове примене је неопходно знати како би се реализовао квалитетан избор концепција одржавања за одређене техничке системе.

Као што је већ у уводном делу речено, под концепцијом одржавања подразумева се обележје система одржавања које се заснива на начелима и принципима на основу којих се доноси одлука о спровођењу поступака одржавања, посебно у делу који се односи на садржај активности одржавања и време њихове реализације.

Са становишта система одржавања, постоје две основне концепције: превентивно и корективно одржавање, слика 4.1. Превентивно одржавање има задатак да спречи или одложи појаву отказа, док се под корективним одржавањем подразумева да се поступци одржавања спроводе само ако дође до отказа, тј. њима се врши враћање система из стања у отказу у стање у раду [19].



Слика 4.1. Концепције одржавања техничких система [19]

4.1. Превентивно одржавање

Код превентивног одржавања поступци одржавања спроводе се пре него што дође до појаве отказа, тј. док је систем у радном стању. Превентивно одржавање може да се реализује на различите начине, у варијантама које се разликују по многим елементима и детаљима, али и по суштини процеса одлучивања.

Превентивно одржавање се заснива на два принципа:

- Постоји корелација између времена рада - утрошеног ресурса и интензитета отказа;
- Вероватноћа отказа елемента и опреме може бити одређена статистички, те према томе део може бити замењен пре отказа.

Превентивно одржавање се унапред планира. Пожељно је при том аутоматизовати планирање до највеће могуће мере. У данашње време готово је немогуће остварити ефективно и ефикасно одржавање без информационог система за управљање одржавањем (енгл.- *Computerised Maintenance Management System - CMMS*). Увођење овакве информатичке подршке је први корак у усавршавању сваког система одржавања. Извођење ремонта сложених техничких система, као што су специјална војна возила, електричне централе или индустријска постројења, без помоћи CMMS данас је скоро немогуће. Информациони систем за управљање одржавањем је сет рачунарских софтверских модула и база података о техничком систему који имају способност процесирања података за функције управљања одржавањем техничког система.

Класични CMMS системи се фокусирају на ефективно планирање, распоређивање и праћење извршења радних налога у извођењу активности превентивног и корективног одржавања. Они прате: радно време, резервне делове, податке о набавци, трошкове одржавања, резултате активности одржавања и друге информације везане за управљање радом. Својствена су им правила пословања и процеса одржавања, па је њихова суштина управљање радом (енгл. - *Work Management Systems*) односно повећање ефикасности извршења радова одржавања. Њихов развој тече у смеру система за управљање подацима (енгл. - *Data Management Systems*), који почивају на техникама интеграције података, напредним аналитичким алатима и алатима за проналажење података (енгл. - *Data*

Mining). Циљ је да се оцењује и управља стањем опреме и одређује када и које одржавање је потребно. Тиме се тежи интеграцији CMMS система и система одржавања према стању о чему ће бити више речи у наставку.

Погодност превентивног одржавања огледа се у:

- једноставности планирања ресурса одржавања,
- повременом увиду у стање техничког система и
- могућности планирања времена за спровођење активности одржавања.

Сматра се да је превентивно одржавање оптимално за опрему која је изложена абразивном, ерозивном или корозивном трошењу, затим замору, стресовима, ломовима или ако постоји јасна корелација између времена рада и функционалне поузданости.

Основни недостатак је што се ресурси техничког система не користе до краја, с обзиром да је периодичност превентивног одржавања у правилу мања од средњег времена између отказа. Такође, због људске грешке, постоји могућност оштећења опреме приликом извођења прегледа, оправке, подешавања или уградње новог дела. Уградња материјала или елемента који је дефектан и неисправан, могућност неправилног склапања или расклапања, некоректна инсталација новог дела или некоректно састављање склопа или система. Такође, уградњом новог елемента или резервног дела уноси се у систем повећана могућност отказивања због тзв. „*дечијих болести*“.

Највећи практични значај имају две врсте превентивног одржавања.

Прву чини превентивно одржавање по времену (енгл. Hard Time Limit Maintenance) које се првенствено заснива на информацијама о поузданости, тј. на емпиријски утврђеним расподелама вероватноћа времена рада до појаве отказа за посматрани систем и његове елементе. У том случају поступци превентивног одржавања се планирају тако да се обезбеди захтевани ниво поузданости посматраног система или прописивањем превентивних замена после одређеног периода рада или на други начин.

Другу врсту чини превентивно одржавање према стању - ПОПС (енгл. On condition Based Maintenance), које се поред информација о поузданости, заснива на сталном и систематском праћењу рада посматраног техничког система, односно на праћењу

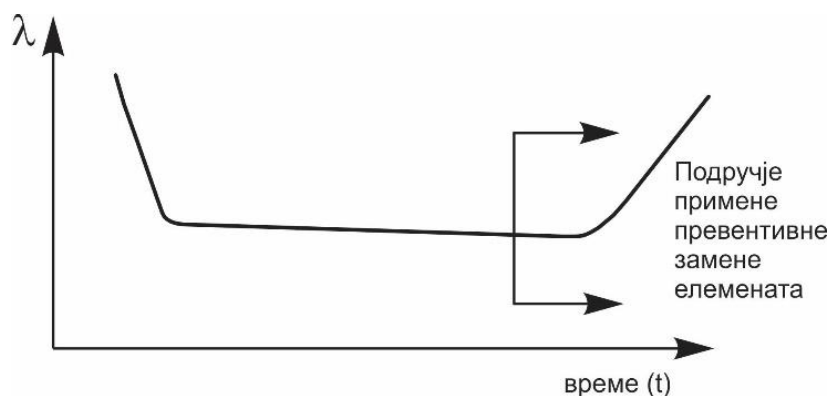
и осматрању изабраних и унапред одређених параметара стања и показатеља који довољно сигурно говоре о стању система и његових елемената [21].

Обе врсте превентивног одржавања могу да се реализују у неким унапред одређеним периодима времена или у адаптираним тренуцима времена, у зависности од констатованог стања система.

4.1.1. Превентивно одржавање по времену

Превентивно одржавање по времену спроводи се искључиво на основу априорних информација о поузданости, тј. на основу расподеле времена рада до појаве отказа за систем, односно његов основни елемент [22]. Изводи се у фиксним временским интервалима и има унапред одређену радну садржину у виду прописаних превентивних поступака одржавања и замена саставних елемената, или се овај интервал може подешавати (адаптирати) према стању система, констатованом при претходном прегледу.

Превентивне замене елемената техничких система су веома важан вид превентивног одржавања. Ове поступке, међутим, треба примењивати само у случају када се сасвим сигурно доприноси већој поузданости, односно ако засигурно смањује вероватноћу отказа у наредном периоду - када је одређени елемент у свом животном веку већ зашао у период позних отказа (замор, хабање, корозија и сл.), слика 4.2. Потребно је водити рачуна код ове активности да је свака изградња или уградња новог или оправљеног елемента праћена са две неизвесности: да ли је елемент који се уграђује добар и да ли је уградња извршена добро.



Слика 4.2. Подручје примене превентивних замена елемената система [22]

4.1.2. Превентивно одржавање према стању

У оквиру одржавања према стању (ПОПС) могуће су две варијанте:

Превентивно одржавање према стању са провером параметара стања (структурних или дијагностичких параметара) - при чему се посматра или прати дискретно или континуално (енгл. „*On-Condition*“ или „*Condition Monitoring*“) неки показатељ - параметар стања, који репрезентује стање техничког система, односно саставног елемента, чија је постепена промена стања случајна или је у функцији времена рада. На основу тако добијене информације о вредностима параметара стања, доноси се одлука о спровођењу одговарајућег поступка превентивног одржавања према стању или о наставку коришћења система до следеће провере стања.

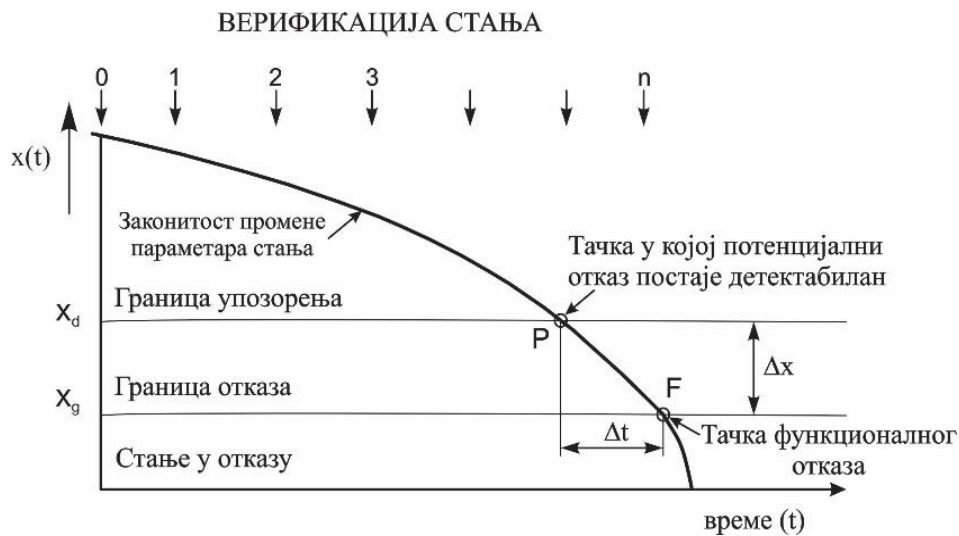
Превентивно одржавање према стању са контролом нивоа поузданости - при чему је критеријум стања саставних елемената система дозвољени ниво поузданости. Систем се користи без ограничења ресурса за одржавање све док је стварни ниво поузданости већи од дозвољеног нивоа поузданости.

4.1.2.1. Карактеристике концепције ПОПС са провером параметара стања

Теоријска поставка концепције превентивног одржавања према стању са провером параметара стања заснива се на прегледу стања, односно на дискретном или континуалном праћењу стања саставних елемената система и уочавању или прогнозирању временског тренутка достизања граничних вредности параметара стања. Према резултатима прегледа, односно провере стања предузимају се одговарајући поступци одржавања.

Концепција ПОПС са провером параметара стања приказана је на слици 4.3., на којој се види могући случај законитости промене параметара стања $x(t)$ с динамиком провере стања, где су дефинисане: граница упозорења (x_d) - пред отказни ниво и граница отказа (x_g), која се утврђује експериментално и даје се у нормативно-техничкој документацији система.

Граница упозорења представља тзв. дозвољену вредност параметара стања (x_d), а одређује се као једна од релевантних карактеристика модела ПОПС са провером параметара стања.



Слика 4.3. Концепција превентивног одржавања према стању са провером параметара стања [19]

Према RCM теорији ретко постоји однос између поузданости опреме и времена употребе, односно велики проценат опреме има константан интензитет отказа. Међутим, многи откази дају рану индикацију да је отказ у фази да се деси. Та рана индикација или граница упозорења је позната и као потенцијални отказ, и дефинише се као уочљиво физичко стање које указује на то да ће се отказ десити или је у фази дешавања.

Примери потенцијалног отказа су: тачке повишене температуре на кућишту лежаја, појава вибрација на лежају, опиљци у уљу за подмазивање мотора или видљиво цурење или трошење.

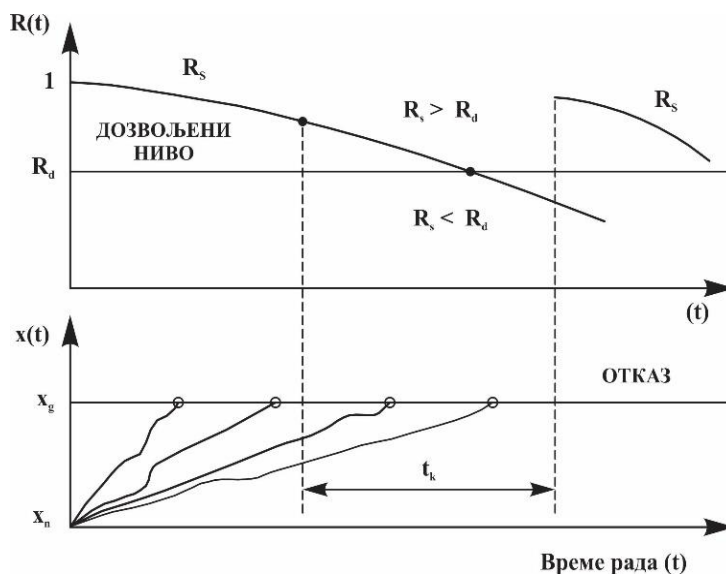
На основу временске или ресурсне разлике између потенцијалног и функционалног отказа дефинише се „P-F“ интервал, слика 6.3., односно сигнализациона толеранција (Δx), што дозвољава одређено време (Δt) за предузимање поступака ПОПС. „P-F“ интервал је интервал између тачке у којој потенцијални отказ постаје детектабилан (уочљив) и тачке у којој он деградира у функционални отказ. Потенцијални отказ наступа раније, али у тачки „P“ он постаје уочљив. Тачка „F“ је тачка у којој је наступио функционални отказ, а он представља стање у којем технички систем није способан да обавља специфичну функцију са жељеним нивоом перформанси [23]. На слици се види да функционални отказ представља стање минимум прихватљивости перформанси. У RCM теорији сматра се да је „P-

F“ интервал кључ за одржавање система или елемената који отказују случајно. Међутим, многи случајни откази нису тренутни, ако се на време уочи и измери тачка потенцијалног отказа, може се предузети правовремена активност одржавања. Зато је потребно да „P-F“ интервал буде довољно дуг да би имало времена за превентивну активност. У принципу, што дужи „P-F“ интервал то има више времена за доношење правилне одлуке и планирања радова.

Сигнализациона толеранција или „P-F“ интервал одређују степен осетљивости одабране техничке дијагностичке методе на параметар стања и његову идентификацију у складу са законитошћу промене параметара стања посматраног саставног елемента. У том смислу основни задатак ПОПС је стабилизација параметара стања, тј. спречавање његовог изласка из дозвољених граница одступања, односно из сигнализационе толеранције.

4.1.2.2. Карактеристике концепције ПОПС са контролом нивоа поузданости елемената система

ПОПС са контролом нивоа поузданости своди се на принцип да се истотипски саставни елементи система користе без ограничења ресурса за одржавање, уз извршење неопходних активности корективног одржавања, све док је стварни ниво поузданости (R_s) већи од дозвољеног нивоа поузданости (R_d), што је приказано на слици 4.4.



Слика 4.4. Концепција превентивног одржавања према стању са контролом нивоа поузданости [19]

- R_s - стварни ниво поузданости,
- R_d - дозвољени ниво поузданости,
- t_k - периодичност контроле нивоа поузданости.

Нарочито место у ПОПС са контролом нивоа поузданости заузима избор дозвољеног нивоа поузданости (R_d). За почетак примене ПОПС са контролом нивоа поузданости могуће је одређивање дозвољеног нивоа поузданости (R_d) за истотипске саставне елементе система на основу искуства у процесу коришћења за претходних 3-5 година, а у функцији оптималних трошкова одржавања. Може се препоручити примена периодичности контроле нивоа поузданости групе истотипских елемената одређеног скупа техничких система нпр. квартално, годишње и сл. [19].

У случају када се приликом контроле нивоа поузданости установи да се ниво поузданости (R_s) не налази у границама дозвољених норми, тј. ако је $R_s < R_d$, обавља се анализа узрока одступања и предузимају се мере за повећање нивоа поузданости.

4.1.2.3. Предности одржавања према стању

Код превентивног одржавања по времену, поступци превентивног одржавања и замене елемената спроводе се после прописаног временског или експлоатационог ресурса, без обзира на стање елемента. Код превентивног одржавања према стању са провером параметара стања, по утврђеној динамици у функцији од констатованог стања, врши се провера стања саставних елемената система и, у зависности од резултата прегледа стања, предузимају се поступци одржавања само ако су нађене вредности параметара стања изван дозвољених граница одступања. На тај начин се постиже потпуније искоришћење радног века саставних елемената, у односу на превентивно одржавање по времену, уз обезбеђење захтеваног нивоа поузданости и могућности прогнозирања преосталог времена рада елемента [24].

Применом ПОПС избегавају се непотребне замене елемената. Прописивање замене неког елемента, без обзира на његово стање, носи ризик квалитета новог елемента и ризик квалитета уградње. То може неповољно да утиче на поузданост уколико је елемент који је се замењује био још увек у исправном стању, односно уколико је његова замена била непотребна.

ПОПС пружа повољније услове за остваривање већег степена искоришћења радног века саставних елемената од превентивног одржавања по времену, уз истовремено мање укупне трошкове одржавања, па и трошкове животног циклуса система. Уколико су трошкови превентивног одржавања мањи од трошкова корективног одржавања и њихових последица, а испуњени су одређени технички услови (критеријуми) за примену ПОПС, онда је примена ПОПС целисходнија.

4.2. Корективно одржавање

Корективно одржавање је одржавање које се спроводи након настанка отказа техничког система, са циљем да се елемент врати у стање у коме може да извршава захтевану функцију, па се због тога често назива и реактивно одржавање [25]. Важно је да се елементи, склопови или подсистеми техничког система оправљају или замењују новим исправним.

Недостаци корективног одржавања:

- Термини отказа техничког система не могу се предвидети;
- Сви откази се морају оперативно отклањати;
- Постоји велика вероватноћа дужих застоја у раду техничког система, изазваних одржавањем;
- Немогућност планирања периодичности и цикличности активности одржавања;
- Могућност појаве оштећења делова техничког система који су исправни, због дела који је отказао, што повећава укупне трошкове отказа.

Предности корективног одржавања:

- Потпуно искоришћење "резерве употребљивости" делова система (максимално коришћење ресурса система);
- Није потребно познавати законитости појава стања у отказу система.

Технички, корективно одржавање се треба примењивати у случају када је отказ једнако вероватан код сваког дела или система, па је превентивно одржавање контрапродуктивно. Такође, оптимално је да се примењује код отказа са малим последицама по сигурност људи или функционисање система.

Захтеви за разноврсним резервним деловима су велики и чести, те се форсира набавка веће количине резервних делова. Велика количина резервних делова доноси велике трошкове, а то постепено условљава набавку јефтинијих делова, што је због смањеног квалитета нови узрок дефеката опреме.

Други случај када се корективно одржавање примењује, јесте у ситуацији када упркос томе што систем потпуно исправно функционише може доћи до разних хаварија због спољних узрока, судара, непажње послужиоца и слично. Тако оштећени систем мора се оправити. Са друге стране немогуће је све предвидети. Иако се предузму све савремене технолошке мере предострожности до отказа може доћи и опет систем треба оправљати.

На крају се мора у обзир узети још једна врло важна могућност а то је да се намерно донесе одлука да се систем или елемент не одржава до отказа. То се користи код савремених методологија, као што је RCM методологија, где се за отказе система или елемената који немају никаквих последица по сигурност или рад система, доноси одлука да ће се они оправљати тек по отказу. То је веома важна чињеница која ће бити узета у обзир и за потребе ове дисертације. Види се да по таквој методологији тежња ка нула отказа, као филозофија идеалног одржавања не само да нема смисла, већ није ни циљ, јер се у неким ситуацијама отказ предвиђа и допушта као могућност. Ипак, треба имати у виду да је то у неким техничким грананама, као што је цивилна авијација, веома емотивна тема, па се и поред потпуне техничке заснованости не сме у јавности прокламовати идеја по којој се откази допуштају, макар они били и без последица [14].

4.3. Проактивно одржавање

Као један од облика превентивног одржавања, проактивно одржавање се састоји од активности усмерених на идентификацију, надгледање и управљање будућим отказима са нагласком на разумевање и отклањање узрока отказа [13].

Активности проактивног одржавања укључују коришћење посебних техника и метода за развој поузданости, погодности за одржавање и подршку нових система, уз уважавање искуства стеченог током одржавања, као и побољшање одржавања система који се користе. Применом проактивног одржавања могу се постићи

результати које није могуће постићи класичним превентивним или предиктивним одржавањем.

Различите технике спадају у проактивно одржавање, а неке од њих су: анализа начина и ефеката отказа (*енгл. Failure Modes and Effects Analysis - FMEA*), анализа начина, ефеката и критичности отказа (*енгл. Failure Modes, Effects and Criticality Analysis - FMECA*), анализа стабла отказа (*енгл. Fault Tree Analysis*), анализа изворних узрока отказа (*енгл. Root Cause Failure Analysis - RCFA*). Од осталих метода, споменуће се: метода чек-листа, шта-ако анализа и HAZOPS (*енгл. Hazard and Operability Study - HAZOPS*) анализа [13].

4.3.1. Анализа начина, ефеката и критичности отказа

Анализа начина и ефеката отказа (FMEA) први пут се спомиње у Процедури за извођење анализе начина и ефеката отказа - MIL-P-1629 објављеној 1949. године [26]. FMEA се користи за идентификацију потенцијалних недостатака у конструкцији, где се систематски анализирају вероватни начини на који елементи или систем може отказати. То укључује идентификацију узрока отказа и његов ефект на радне карактеристике (функцију) система. Неке организације, као NASA нпр. инсистирају више на квалитативном аспекту начина отказа и његовог ефекта на систем, него на квантитативном приступу, као што је код FMECA, која представља проширење FMEA, јер се анализира и критичност отказа [13].

FMECA је процес који је по свом основном карактеру увек индуктиван, јер се најчешће анализа врши одоздо према горе, тј. почев од анализе основних, елементарних отказа, према анализи отказа подсистема и система [27]. Анализа може да се спроводи и почев од отказа система у целини, према отказима подсистема и даље до саставних елемената, што представља дедуктиван поступак. У пракси је то најчешће итеративан приступ који користи и дедуктивну и индуктивну анализу, при чему се ове анализе међусобно допуњују [28].

У предности методе FMEA, према [27] убрајају се:

- Могућности систематске оцене односа између узрока и последица појединих отказа.
- Указивање на начине отказа који имају посебно непожељне последице на рад целог система.

- Разјашњење претходно недовољно сагледаних отказа система, односно реалније оцењивање појединих догађаја који могу изазвати отказ система, итд.

Према истом извору, као слабости или компаративни недостаци методе FMEA су:

- Веома обимни табеларни прегледи, са много података, чак и за релативно једноставне системе.
- У пракси је потребна велика количина енергије, времена и новца да се спроведе FMEA једног комплексног система [29]. За једноставне системе анализе могу трајати неколико седмица, док за комплексне системе трају месецима и више [30].
- Сваки се отказ разматра индивидуално, тако да се не одређују последице вишеструких отказа.
- Тешкоће у обухватању свих битних чинилаца, као на пример разлика у времену рада појединих елемената (у односу на време рада система), радним условима, могућностима отклањања отказа и слично.
- Немогућност непосредног извођења математичког модела, који описује вероватноће отказа система, односно његову поузданост.
- Тешкоће у анализама система који има сложене структурне везе између елемената (на пример, са тзв. "специфичним везама", које имају особине и редних и паралелних, под одређеним условима), итд.

4.3.2. Анализа стабла отказа

Метода анализе стабла отказа, позната је у америчкој литератури под скраћеним називом FTA (енгл. Fault Tree Analysis). То је систематска дедуктивна анализа која се фокусира на посебан догађај-отказ, који се назива вршни отказ и која развија све претходне секвенце догађаја који воде до њега [31]. Метода стабла отказа је у суштини графичка интерпретација односа појединих отказа у систему и њиховог утицаја на поузданост система као целине, што представља њену квалитативну страну. Метода је врло прикладна и за квантитативне анализе, тј. за нумеричко изражавање поузданости у односу на поједине врсте отказа.

FТА је оригинално развијена као додатак FMEA, који уз помоћ дијаграма показује како поједини начини отказа из FMEA анализе, у интеракцији узрокују специфични догађај. За разлику од FMEA, метода FТА је дедуктивна, јер се анализе спроводе одозго на доле. Полазна тачка је отказ система, па се анализама утврђује који догађаји на подсистемима доводе до тог посматраног отказа система. Касније се од подсистема иде на ниже нивое, све до појединачних, односно саставних елемената, тј. до основних или елементарних отказа.

Анализа се састоји из четири корака: дефинисање система, конструкција стабла отказа, анализа стабла и документовање резултата.

Дефинисање система почиње идентификацијом специфичних вршних отказа, тј. од једног или више могућих отказа посматраног система и граничних стања под којим ће се они анализирати [27]. Најчешће се откази користе из претходно урађене FMEA анализе.

Израда стабла отказа почиње од дефинисаног отказа система, вршног отказа, па се даље иде на то да се одреде догађаји који доводе до отказа система, најпре на подсистемима, па на нижим склоповима све до елемената, тј. до основних отказа. Стабло отказа омогућује формалну графичку представу комбинације догађаја који могу довести до системског отказа [32]. Стабла отказа се разумеју и креирају управо на основу логичке структуре система. Вршни догађај (стање отказа система) разлаже се на своје конститутивне узроке који су спојени логичким функцијама типа И, ИЛИ. Процес разлагања се наставља док се не идентификују основни догађаји. Према [33], основни догађаји се директно односе на елементе система, међутим ако се врши функционална анализа, јасно је да се они односе на функције. Анализа стабла отказа подразумева квалитативне и квантитативне анализе. Квантитативне анализе поузданости овом методом захтевају да се за сваки отказ у стаблу одреди или процени вероватноћа његове појаве. На тај начин, а у зависности од врсте веза ("или/или", односно "и један/и други"), одређује се поузданост.

Осим тога, и за квалитативне и за квантитативне анализе корисно је да се допунским анализама у стаблу утврди низ отказа који је нужан да би дошло до отказа система, тзв. "минимални пресек догађаја" (енгл.- minimal cut set) [27]. Термин у називу садржи минималан, због тога што се сви основни догађаји у њему морају десити ако се деси вршни отказ.

Документовање резултата представља израду ранжираних минималних пресека догађаја заједно с њиховим последицама. На основу броја и типа отказа у минималном пресеку догађаја предлажу се побољшања која треба да смање вероватноћу догађања вршног отказа.

Анализа отказа методом ФТА има одређене компаративне предности, али и одговарајуће недостатке.

Предности методе ФТА, према [27] огледају се пре свега у:

- Могућностима систематског истраживања и доказивања логичких токова појединих отказа, система, са становишта утицаја саставних елемената;
- Погодностима за анализу отказа система сложене структуре, са вишеструким паралелним, специфичним или другим везама;
- Погодностима за анализу система у коме се јављају међусобно условљени или последични откази, као и разни облици зависних отказа;
- Могућностима релативно једноставног исказивања поузданости у виду квантитативних показатеља, односно вероватноћа;
- Анализа се може изводити у било које време у току животног циклуса постројења или система. То је значајно због анализирања одабраних вршних отказа система у употреби, што јесте предмет овог рада.

Насупрот овоме, неповољне особине метода ФТА су:

- Веома велика и компликована стабла, посебно у случају система који у свом саставу има много елемената. За сваки вршни отказ система црта се посебно стабло;
- ФТА је веома радно интензивна и дуготрајна. Конструкција једноставног стабла може да траје и седмицу дана, а комплексног више месеци;
- Немогућност приказивања појединих отказа, који имају специфични карактер (у коме учествује више елемената, који припадају разним подсистемима);
- Није погодна као самостална метода за практичну идентификацију опасних отказа и користи се често са другим методама.

4.3.3. Анализа изворних узрока отказа

Откази се не дешавају због непознатих фактора, као што су: "лоша срећа", "десило се" или "произвођач је уградио лош део". Већина отказа се може анализирати, открити узрок и предузети превентивне активности које спречавају њихово понављање. Постоји разлика у разумевању појмова анализа отказа и анализа изворних узрока отказа.

Анализа отказа је анализа која се задржава на физичким узроцима отказа. Физички узрок отказа налази се на опипљивом нивоу, обично на нивоу елемената. Анализа изворних узрока отказа (енгл. Root Cause Failure Analysis - RCFA) указује на спровођење свеобухватне анализе која допире до свих изворних узрока (физичких, људских), а даје мање значаја само анализи механичких делова [13]. Суштински превазилази физичке корене проблема, али се обично зауставља на значајним људским узроцима и не открива скривене недостатке система. Анализа изворних узрока (енгл. Root Cause Analysis - RCA) треба да открије скривене разлоге (изворне узроке) зашто се догађај (не само везано за опрему, већ било која врста догађаја) појављује, како би се предузели неопходни кораци за елиминисање тог догађаја у његовој целокупности [34]. Према ISO 9000-2000, изворни узрок је фактор који је узроковао несагласност и треба бити потпуно елиминисан побољшањем процеса. Изворни узрок је темељни, крајњи узрок због кога је отказ отпочео у производу. Елиминација отказа не значи елиминацију будућег зачећа отказа. Елиминација изворног узрока отказа је елиминација будућег догађања отказа.

Да би анализа отказа имала највећу вредност, она се мора спроводити на два правца. Анализирају се како катастрофални откази, тако и хронични откази. Десетомилионски отказ настао као последица хаварије машинерије који се појављује једном у сваких 10 до 20 година, свакако није мала ствар. Али, с обзиром на то колико се ретко дешава, велики значај имају хронични откази који се стално појављују са учестаношћу тако великом да постају прихваћени као цена обављеног посла.

Постоји мноштво методологија за истраживање проблема почев од већих инцидената до репетитивних отказа опреме [35]. У литератури [36] за анализу отказа користи се појам отклањање слабих места. Слабим местима се називају

места на техничким системима на којима се откази јављају чешће него што је нормално.

4.3.4. Остале методе

Метода чек-листа (енгл. Checklist Analysis) [37] представља детаљну оцену анализираног система према раније постављеним критеријумима у форми једне или више контролних листа.

Она се заснива на знању о ранијем понашању система које је уграђено у питања из чек-листе. Користи се како за уопштене, тако и за детаљне анализе, а применљива је на све врсте активности система. Шта ако анализа (енгл. What-If Analysis) је аналитичка метода која користи уопштено, слободно структурирано испитивање у сврху утврђивања понашања система у случајевима претпостављених неправилности које могу резултовати отказима, нежељеним догађајима или проблемима у функционисању система. Метода подстиче аналитичаре да размишљају у форми питања која почињу са "Шта-ако". Анализа потенцијалних опасности и операбилности (енгл. Hazard and Operability Study - HAZOPS) [38, 39] је индуктивна аналитичка техника која се користи за систематску идентификацију потенцијалних опасности по безбедност и проблеме у функционисању процесних постројења. Суштина приступа HAZOP анализе је контрола шема и дијаграма процеса, поступака и техничког система у циљу откривања одступања од пројектоване конструкције или проблема у функционисању неког елемента опреме или система. Анализу спроводи интердисциплинарна група стручњака коришћењем прописаног поступка, уз употребу водећих речи које описују могуће девијације од пројектоване конструкције. HAZOP анализа илуструје могућности анализе отказа и на начин другачији од FMEA. Може се констатовати да FMEA није једини начин и могућност анализе отказа, али је та анализа супериорна и веома систематска.

5. ДИЈАГНОСТИКА СТАЊА ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА

Имајући у виду да се реализација појединих концепција одржавања а посебно концепције одржавања техничких система према стању, као облика превентивног одржавања који се најчешће примењује у свету код одржавања комплексних техничких система и који се не може квалитетно реализовати без примене дијагностике (праћења) техничког стања, у овом поглављу детаљније ће се описати дијагностика техничког система са становишта сагледавања могућности примене појединих облика и метода дијагностике код специјалних војних возила односно њихових погонских агрегата.

Дијагностика техничког система представља методу утврђивања стања у коме се систем налази и као таква чини саставни и нераздвојни део система одржавања техничких система. Постављање дијагнозе је поступак који претходи свакој активности одржавања, тј. представља њену прву фазу. Међутим, неизбежно је постављање дијагнозе и при провери стања техничког система после спроведених поступака одржавања, али и при контроли стања током експлоатације [40].

Дијагностика омогућава оптимизацију процеса одржавања, већу експлоатациону поузданост и расположивост, као и прогнозирање преостале радне способности ресурса техничког система. Да би се могло пратити стање техничког система током његове експлоатације, потребно је мерити карактеристичне (дијагностичке) параметре који могу бити везани за његову функцију (директни) или за квалитет његовог обављања процеса рада (индиректни).

5.1. Дијагностика возила

У области теорије и праксе одржавања возила основни проблем је утврђивање његовог техничког стања. Због високе цене и сложености у одржавању као и због значаја и утицаја на функцију возила, интересантно је сагледати и размотрити могућност примене научних достигнућа из области дијагностике погонског агрегата.

Успостављање дијагностике возила се у суштини своди на успостављање везе између возила и његовог отказа и утврђивања стања у коме се возило налази, а на основу унапред утврђене функције критеријума.

Лице које спроводи поступак дијагностицирања возила мора да познаје структуру возила и значење одговарајућих многобројних симптома да би успешно утврдило стање у коме се возило налази. Дијагностиком се истражују везе између промене стања техничких система и промене његових структурних параметара. Те промене се упоређују са унапред утврђеним квалитативним и квантитативним критеријумима. На основу резултата упоређења, доноси се закључак о стању у коме се возило налази.

Возило као сложени технички систем може бити дијагностички објекат, али и његови системи (погонски агрегат, кочиони систем, преносник снаге, управљачки систем итд.).

Сложена структура возила се описује структурним параметрима, који могу бити [40]:

- различите геометријске величине (дужина, ширина, дебљина, површина, запремина итд.),
- механичке величине (маса, сила, притисак, напон итд.),
- виброакустичне (амплитуда, јачина звука, фреквенција итд.),
- топлотне (температура, специфична топлота итд.).

Дијагностичким параметрима се описују излазни (радни и пратећи) процеси. Они зависе од: улазних карактеристика, карактеристика процеса, спољашњег оптерећења и услова окружења возила. Нпр. код лежишта постоји већи број дијагностичких параметара који су настали због постојања пратећих процеса, као што су: интензитет буке, температура лежишта, амплитудно-фреквентне карактеристике, вибрација итд.

Величина која изражава излазне карактеристике возила може бити дијагностички параметар уколико испуњава следеће услове [40]:

- Једнозначност;
- Осетљивост излазне карактеристике на промену структурног параметра и

- Могућност мерења перформанси и других карактеристика излазних процеса.

Граничне вредности структурних дијагностичких параметара возила одређују се на основу испитивања и анализе, као и на основу добијених података током њиховог коришћења и одржавања, на основу следећих критеријума:

- Техничког критеријума, претпостављајући када ће наступити гранично стање (разарање-лом, истрошење итд.);
- Критеријума ефикасности, претпостављајући опадање ефективности возила испод дозвољених граница (нпр. повећање потрошње горива и мазива, смањење снаге мотора, повећање трошкова за текуће одржавања итд.);
- Функционалног критеријума, претпостављајући опадање удобности управљања возилом, односно погоршање услова кретања возила са аспекта безбедности саобраћаја (нпр. повећани ниво буке, проклизавање спојнице, прегревање појединих склопова итд.) [40].

Уколико се врши дијагностицирање само одређеног дела односно система возила, нпр. погонског агрегата, онда се као дијагностички параметар може узети следеће: херметичност радног простора погонског агрегата, снага погонског агрегата, притисак на крају такта сабијања, вибрација, учестаност обртања коленастог вратила, ниво уља у картеру погонског агрегата, температура блока и главе погонског агрегата, састав издувних гасова, притисак гасова у картеру, температура уља, ниво и температура расхладне течности и др.

Поступци дијагностицирања базирају се на контролама стања возила са основним циљем утврђивања његове исправности. Аутоматизовани дијагностички системи, уместо возача, обезбеђују објективни и непрекидни надзор над радом возила. У случају било какве неисправности у раду возила аутоматизовани дијагностички систем упозорава возача на потребу да се изврши одговарајућа интервенција. Њиховом применом квалитет одржавања возила у најмањој мери зависи од самог корисника. Овај систем упозорава корисника да је потребно извршити одговарајућу интервенцију на возилу. Овим системом возачу се указује на неправилности у раду возила (прегрејаност погонског агрегата, недовољан ниво кочионе течности, пад притиска уља у погонском агрегату, недовољан напон акумулаторске батерије,

неисправност електро инсталације, прекомерна истрошеност кочионих облога и сл.). Све већа употреба електронике на возилу омогућава аутоматизовано одвијање активности одржавања у току његовог рада. Аутоматизовани дијагностички систем могуће је реализовати применом електронике, успостављањем везе између структуре возила, дијагностичких параметара, параметара стања и дијагностичких норматива као и применом адекватних мерних система итд.

Систем дијагностике возила обухвата следеће активности [40]:

- Успостављање законитости промене параметара стања возила и његове погодности за контролу;
- Избор дијагностичких параметара и одређивање карактеристика њихових промена и веза са параметрима стања возила;
- Утврђивање норматива дијагностичких параметара;
- Одређивање могућности постављања дијагнозе;
- Избор, уз техно-економско образложење, одговарајуће методе и мерних средстава;
- Одређивање оптималне процедуре (алгоритма) дијагностике и
- Утврђивање режима, технологије, као и места положаја дијагностике у укупном систему одржавања возила.

Оправданост утврђивања тренутног стања возила постоји само ако на основу њега може да се сагледа његово понашање у будућности. Временски интервал између две узастопне контроле стања зависи првенствено од услова коришћења возила, као и од концепције и организације одржавања.

Дијагностички систем модуларног типа, познатији под називом „дијагностичке станице“ примењују се за реализацију већег броја дијагностичких задатка на возилу. Најчешће се управљају рачунаром. Основна једница дијагностичке станице омогућује утврђивање стања возила, мерењем и контролом стања без изградње конкретног дела са возила. Дијагностичку станицу мора да одликује погодност за рад и брзо добијање корисних резултата, као и могућност проширења њене могућности са циљем адаптације за примену на различитим, све савременијим возилима. Опремљене су између осталог монитором, штампачем и тастатуром. Њиховом применом могуће је декодирати сваки код на основу чега се доноси

закључак о стварном отказу са указивањем на начин његовог отклањања. Дијагностичка станица дакле обавља цео процес дијагностике, почев од прихватања и анализе одговарајућих кодова (тзв. дијагностичког млаза), мерења дијагностичких параметара који карактеришу те кодове, њихово поређење са претходно утврђеним нормативима, до указивања на отказ и његове узроке, као и начин његовог отклањања. Посебно треба имати у виду оспособљеност људства које рукује дијагностичком станицом. Постоји већи број изведених решења дијагностичких станица које се примењују како за дијагностику мотора тако и за друге склопове возила (систем за кочење, ослањање, управљање итд.).

При избору дијагностичке опреме морају се узети у обзир многи технички, економски и организациони фактори.

5.1.1. Дијагностика клипно-цилиндарских склопова погонског агрегата

Оцена о потреби генералног ремонта погонског агрегата у пракси, ако се не врши по фиксном временском или експлоатационом утрошеном ресурсу, најчешће се доноси на основу стања клипно-цилиндарских склопова погонског агрегата [41].

Из тих разлога, у оквиру техничке дијагностике погонског агрегата, дијагностика клипно-цилиндарских склопова има посебан значај.

Закључци о потреби генералног ремонта погонског агрегата донешени на основу субјективних процена или временских ресурса могу имати за последицу прерани или прекасни ремонт, што у оба случаја доводи до повећаних трошкова одржавања и експлоатације мотора. Из тих разлога, у оквиру техничке дијагностике погонског агрегата, дијагностика клипно-цилиндарских склопова има посебан значај. До данас је развијено више метода дијагностике клипно-цилиндарских склопова погонског агрегата, а за оцену њиховог техничког стања користи се већи број зависних и независних параметара, као што су: притисак сабијања у радном простору погонског агрегата, нехерметичност цилиндра (губитак ваздуха), продувавање гасова (проток картерских гасова), температура издувних гасова, тј. однос притиска сабијања и температуре издувних гасова, јачина струје електропокретача, амплитудно фреквентни спектри убрзања, потрошња уља, спољне брзинске карактеристике погонског агрегата (снага, момент, часовна и

специфична ефективна потрошња горива), карактеристике празног хода (часовна потрошња), састав издувних гасова, итд. [41].

Истовремена примена свих или бар већег броја наведених параметара и метода њиховог мерења и поред могућности најпотпуније и најтачније оцене стања, није рационална и економична. Зато је неопходно изабрати оне дијагностичке методе и параметре који ће са аспекта једнозначности, селективности, информативности, осетљивости на друге утицаје и погодности реализације у радионичким и експлоатационим условима дати у пракси највеће ефекте.

Оправданост примене у пракси одређених дијагностичких параметара условљена је такође постојањем дефинисаног дијагностичког норматива тј. граничне вредности параметра, као и могућности предвиђања преосталог ресурса клипно-цилиндарског склопа. Да би одређени дијагностички параметар могао бити примењен за оцену техничког стања погонског агрегата и његових елемената и оцену преосталог ресурса битан предуслов је постојање дефинисаних дијагностичких норматива, тј. граничних вредности параметра, као и функционална зависност између његове промене и промене стања одговарајућег структурног параметра (на пример: истрошеност клипа).

Управо непостојање дефинисаних граничних вредности, као и функционалних зависности између вредности дијагностичких и структурних параметара је један од значајних практичних проблема у техничкој дијагностици погонског агрегата уопште, па према томе и клипно-цилиндарских склопова.

5.1.2. Субјективне методе дијагностике

Најједноставнија метода дијагностике је субјективна метода која се реализује уз помоћ четири људска чула: вид, слух, мирис и опип. Њима човек опажа наступање отказа или отказе, као што су: видљиво трошење на појединим површинама делова и склопова средства, вибрација и бука изнад дозвољених граница, оштећења на преносним каишевима, ниво воде или уља није у дефинисаним границама, показивања инструмената, прегревање кућишта итд. У субјективне поступке техничке дијагностике спадају визуелни преглед, ендоскопија, стетоскопија, испитивање пенетрације и магнетни ток [36, 42].

Визуелни преглед је један од најстаријих поступака дијагностике. Врло често се јавља истовремено треперење и вибрација машинских елемената која носе одређени дијагностички садржај - податак. Ово се може субјективно - чулом слуха, опажати и оцењивати, односно дијагностификовати стање елемента. Нпр. возач возила може помоћу слуха оценити стање преносног механизма или исправност рада погонског агрегата. С обзиром да су шумови и бука често нечујни за људско чуло слуха, користе се и тзв. технички (индустријски) стетоскопи.

Стетоскоп је веома осетљив уређај за ослушкивање. Тихи звуци се њиме појачавају, тако да их је могуће регистровати људским слухом. Овај инструмент је погодан за превентивно одржавање свих врста механичких и електричних уређаја, пошто се помоћу њега може брзо лоцирати место - извор шума или буке. Нпр. помоћу њега је могуће лоцирати отказали лежај или оштећени зупчаник.

Ендоскопија представља коришћење посебног уређаја (ендоскопа) за посматрање неприступачних места без демонтаже или разарања. Ендоскоп се посебно користи приликом осматрања делова машина у мрачним просторима, нпр. радни простор у цилиндрима мотора, унутрашњост судова под притиском, резервоари горива и слично.

Фибрескопи су минијатурни флексибилни инструменти за испитивање унутрашњости закривљених цеви, обликованих шупљина и механизма. Они се састоје од винилом превучене, веома флексибилне металне цеви на чијим се крајевима налази по један окулар, од којих један преноси слику до контролора, а други служи за осветљавање. На оба краја окулара налазе се оптички системи, променљиви фокусни систем објектива на завршном делу, и фокусни увећавач на делу кроз који се посматра. Дугме за регулисање сочива и оштрине на удаљеном делу налази се код окулара (близу очију).

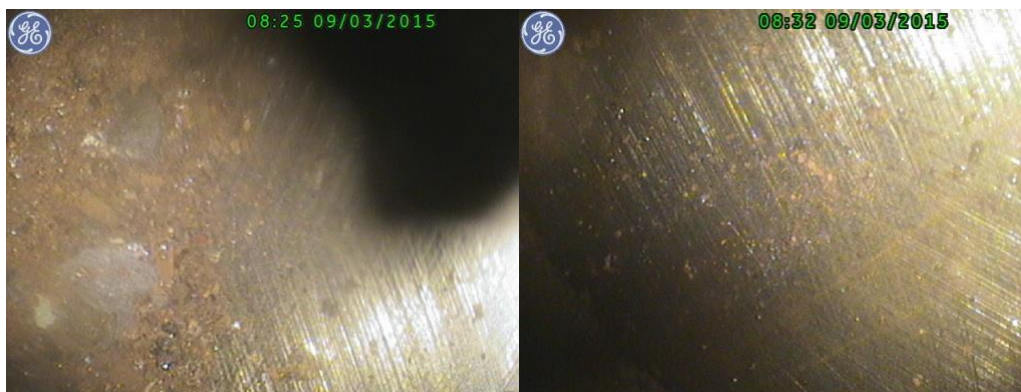
На сликама 5.1., 5.2., 5.3. и 5.4. су приказани снимци појединих неприступачних делова подсистема мотора тенка М-84, направљених помоћу ендоскопа.



Слика 5.1. Унутрашњост резервоара горива тенка М-84



Слика 5.2. Унутрашњост радног простора хаварисаног мотора тенка М-84

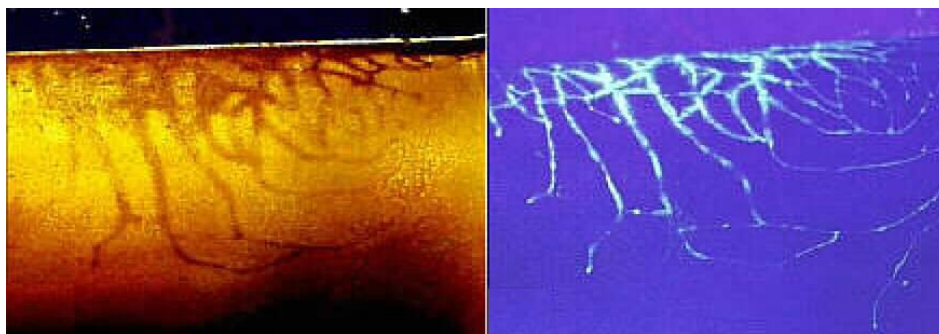


Слика 5.3. Унутрашњост радног простора цилиндра мотора тенка М-84А



Слика 5.4. Унутрашњост цевовода система за довод горива тенка М-84А

Невидљиве отворе у деловима техничких система (као нпр. рисеви, поре, пукотине, расцепе и сл.) није могуће увек лоцирати нити оком, нити помоћним инструментима (лупе и сл.). Због тога се користе одговарајуће течности - тзв. Пенетранти за продирање у унутрашњост тих отвора, слика 5.5. Најчешће су то специјалне боје. Пенетранти (боје) омогућују једноставан, јефтин али и веома сигуран начин откривања присуства површинских напрелина и грешака на деловима система.



Слика 5.5. Пример испитивања пукотина помоћу пенетраната

5.1.3. Објективни поступци дијагностике

Најчешћи објективни дијагностички поступци су везани за одређивање:

- Температуре (расхладног медијума на улазу и излазу из погонског агрегата, издувних гасова, уља за подмазивање, улазног ваздуха, термички оптерећених делова);
- Погонских параметара погонског агрегата (обртног момента, снаге, броја обртаја, угаоне брзине);
- Притиска (у радном простору погонског агрегата, уља за подмазивање у главној магистрали, отварања игле бризгача, околног ваздуха, потпритисак у усисном воду и на другим местима);
- Буке;
- Састава издувних гасова;
- Вибрација (*степен неравномерности и вибрације мотора*) и др.

5.1.3.1. Дијагностика вибрација

Механичке сметње у току рада система, или неки њихови недостаци, могу изазвати осцилаторна кретања, односно вибрације њихових саставних делова и система из

стања мировања. Њих изазивају у већини случајева [36]: олабављеност спојева, заривање, хидрауличке силе, аеродинамичке силе, електромагнетне силе, одступање обртног момента, неуравнотеженост ротационих делова, угиб вратила, похабани и оштећени зупчаници. Параметри вибрација се користе за дијагностику и описивање непожељног кретања саставних делова и/или система. Параметри вибрација су: фреквенција, амплитуда, брзина и убрзање. Дијагностика вибрација обично мери вибрације, типично коришћењем акцелерометра и анализом спектра вибрација за идентификацију фреквенција које су од интереса као и установљавањем тренда у понашању.

5.1.3.2. *Анализа уља за подмазивање*

Анализа уља за подмазивање машина - трибологија, као предиктивна техника, изводи се из три разлога: да се одреди стање механичког трошења машине, да се одреде физичка и хемијска својства уља или да се утврди да ли је уље контаминирано. Постоје различити тестови који се користе у једном од ова три подручја. Који ће се тест користити зависи од потребе за: осетљивошћу, тачношћу, трошковима, конструкцији машине или подручју њене примене. Ова три подручја утичу једни на друге, нпр. ако дође до контаминације и промена у стању уља може доћи и до хабања и трошења машине [43].

Коришћењем програма за анализу уља у случају моторних и мењачких уља, осигурава се неколико предности: смањење непланираног времена отказа возила, побољшање поузданости возила што је од користи приликом организовања ефикасног плана одржавања, продужење радног века мотора и мењача, оптимизирање интервала замене уља и смањење трошкова одржавања возила. На основу анализе основних захтева за средства за подмазивање мотора и система за пренос снаге и извршених експерименталних испитивања практично се решава проблем побољшања процене интервала превентивне замене уља, као и квалитетније процене хабања и оштећења елемената мотора и мењачког преносника. Испитивања у лабораторијским условима могу се користити за идентификацију карактеристика и стања елемената трибомеханичких система, односно за дијагностику елемената и склопова мотора и трансмисије возила [43].

6. СИСТЕМСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

Успешно планирање, пројектовање и реализација система одржавања техничких система захтева системски прилаз од самог почетка развоја датог техничког система, те је из тих разлога у овом поглављу системском инжењерству посвећена посебна пажња као научној области чији ће основни принципи бити узети у обзир код дефинисања нове методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила. Системско инжењерство је наука о пројектовању сложених система уз ефикасно коришћење ресурса, тако да се обезбеди да се компонентни системи - подсистеми пројектују, међусобно усклађују, проверавају и функционишу на најефикаснији начин [44].

Да би се пројектовање система обавило на оптималан начин потребно је следити одређену методологију у раду, тј. имати адекватан приступ процесу пројектовања који, уколико се одређена процедура испоштује, обезбеђује постизање задовољавајућих резултата. У ту сврху због своје универзалности и свеобухватности неопходно је примењивати методологију системског инжењерства. У духу претходно наведеног, уводи се системско инжењерство као примена системског прилаза у развоју и пројектовању система, тако да се пројектант суочава са већим бројем пројектних параметара у свим фазама процеса пројектовања [44].

Код анализе комплексног система постоје две могућности. Прва могућност је да се анализира понашање стварног система, што захтева дугачак период времена, велике трошкове а понекад је и тешко остварива или уопште немогуће. Друга могућност је да се анализира понашање модела датог система. Сврха анализе комплексног система је да се предвиди рад и понашање система при задатим условима и створи подлога за економску анализу пројекта. Примена системског прилаза у пројектовању система захтева разматрање међузависности између појединих делова система, њихово квантитативно вредновање и оптимизацију трошкова и добити, као дела трошкова и добити целог система.

Системски прилаз проблему укључује следеће [44]:

- Дефинисање проблема за цео систем;
- Полазна тачка је систем као целина;

- Представљање интеракције између појединих елемената система;
- Примену вишекритеријумске оптимизације и
- Предвиђање понашања система као целине, која претходи стварању неког реалног система.

6.1. Побољшање методологије развојем метода и алата

Развој нове методологије увек произилази из потребе да се побољшају могућности добијања оптималних решења за проблеме који су предмет пројектовања, с једне стране, као и из сагледавања нових могућности који дају постојећи алати односно математички модели развијени за обраду односно решавање проблема.

У контексту побољшања методологије развојем нових или побољшаних метода и алата, треба схватити захтеве за промену дефиниције пројектовања и улоге као и задатака инжењера - пројектанта.

Уводи се тзв. „пројектовање за животни циклус“. Задатак и одговорност инжењера-пројектанта се проширује на све фазе животног циклуса производа, од идеје о потреби за производом до његовог повлачења из употребе.

6.2. Методологија системског инжењерства

Фазе у примени системског инжењерства, тј. низ активности у проучавању техничког система је следећи [44]:

6.2.1. Системска анализа

Системско инжењерство почиње са општом анализом онога шта се дешава, зашто и да ли то може да буде боље. Након исказаних потреба и тактичко-техничких захтева корисника за новим техничким системом, дефинише се технички систем и његови задаци.

6.2.2. Синтеза система - пројектовање система

Прави се прогноза будућег окружења техничког система, затим се формира квантитативни модел који се користи за симулирање и испитивање начина његовог

рада. Након симулација бира се технички систем који је оптималан за захтеване његове карактеристике и дате услове коришћења.

6.2.3. Имплементација

Резултати проучавања техничког система се морају представити кориснику и тражити одобрење за његову имплементацију. Након израде, систем се испитује у циљу провере да ли су пројектовани тактичко-технички захтеви остварени.

6.2.4. Рад система

Кад су добијени резултати испитивања новоизграђеног техничког система позитивни односно прихватљиви за крајњег корисника, следи тренутак кад систем треба да буде предат ономе који ће га користити. Овде је потребна посебна пажња да се избегну неспоразуми и неефикасност - ово је подручје које се према искуственим информацијама најмање добро ради.

Истраживања показују да постоји и да се може идентификовати методологија која се може применити за развој било каквог система. Посматрањем изграђених система, идентификован је шаблон догађаја, слика 6.1., који се понавља од система до система. Кад започне развој система, један низ догађаја се одвија хронолошким редом формирајући шаблон - образац који је у великом делу заједнички за све пројекте развоја система [44].

Овај шаблон-образац има своју вертикалну и хоризонталну структуру. Вертикалну структуру животног циклуса карактерише редослед одређених стања кроз која пролази систем. Свако стање, односно фазу вертикалне структуре карактерише хоризонтална структура поновљивог фундаменталног следа активности, који чине процес пројектовања.

Комбиновање животног циклуса и процеса пројектовања у матрицу, даје један оперативни опис системског инжењерства и проширује дефиницију пројектовања у радну дефиницију која обухвата укупни животни циклус инжењерског система који се гради [44].

		Процес Пројектовања										
		Прикупљање информација	Формирање модула вредности	Синтеза алтернативних решења	Анализа и/или испитивање	Евалуација	Одлучивање	Оптимизација	Комуникација, документација			
Животни циклус система	Планирање	Формулисање концепције		+	+	+			+			
		Дефинисање система		+	+	+	+	+	+			
	Реализација	Системско инжењерство	Пројектовање	Прелиминарни пројекат					+	+		
				Инжењерски развој	+	+	+	+	+	+	+	+
				Детаљни пројекат					+	+	+	+
				Испитивање и евалуација					+	+		
				Пројектовање за производњу				+	+	+	+	+
				Производња и постављање				+	+	+	+	+
	Коришћење	Рад система и подршка		+						+	+	
		Модификације и повлачење					+		+			

Слика 6.1. Матрица – животни циклус система/процеса пројектовања [44]

6.3. Анализа логистичке подршке

Након дефинисања тактичко-техничких захтева техничког система од стране корисника, неопходно је у најранијој фази животног циклуса техничког система, током фазе развоја и пројектовања, дефинисати и захтеве у погледу одржавања будућег техничког система у оквиру Анализе логистичке подршке (LSA), која се примарно реализује као саставни део системског инжењерства.

LSA је процес којим се у најранијој фази животног циклуса утиче да технички систем који је предмет развоја буде одговарајуће расположивости, поузданости, те

да је стандардизован, погодан за одржавање и проверу његовог техничког стања, као и технички систем са оптимизованим трошковима животног циклуса. Такође, у оквиру LSA се дефинишу сви потребни ресурси за обезбеђење адекватне подршке током употребе техничког система [45, 46]. Као што је у претходном поглављу наведено у оквиру системског инжењерства пројектант је суочен са неопходношћу повећања броја пројектних параметара како би се одговорило сложеним задацима пројектовања сложених система. Захтеви који се дефинишу у оквиру LSA за новим техничким системом су управо ти додатни пројектни параметри. У овој дисертацији акценат ће бити дат на оне анализе које се реализују у оквиру LSA, а чији су резултати од кључног утицаја на избор одговарајуће концепције одржавања техничког система. Обзиром да се LSA врши и током фазе употребе техничког система, резултати извршених анализа се пореде са резултатима анализа који су били од утицаја код доношења одлука за избор одговарајућих концепција одржавања техничких система. Уколико су резултати знатно разликују покреће се поступак ревизије концепције одржавања техничких система, а све у циљу одрживости система одржавања задовољавајуће ефикасности.

За бољу контролу оперативних трошкова и трошкова подршке техничком систему током његове употребе, треба уложити више напора у ранијим фазама истраживања и пројектовања кроз LSA. Под Интегралном логистичком подршком (ILS) се подразумева скуп активности које се реализују у току животног циклуса техничког система (тежишно у фази развоја и производње), а ради остварења најбитнијих предуслова за обезбеђење пројектованог нивоа оперативних способности техничких система специјалне намене уз оптималне трошкове животног циклуса система.

Резултат извршене LSA је дефинисање неопходних елемената ILS (обука, техничка документација, систем одржавања и др.) током животног циклуса техничког система и планирање њиховог обезбеђења са јасном дефинисаном процедуром праћења њихове имплементације. Са аспекта адекватне примене ILS потребно је да сви учесници у процесу развоја, експлоатације и одржавања техничких система испуњавају одређене захтеве, како би се обезбедила потребна ефикасност техничког система не само у тренутку увођења техничког система у оперативну

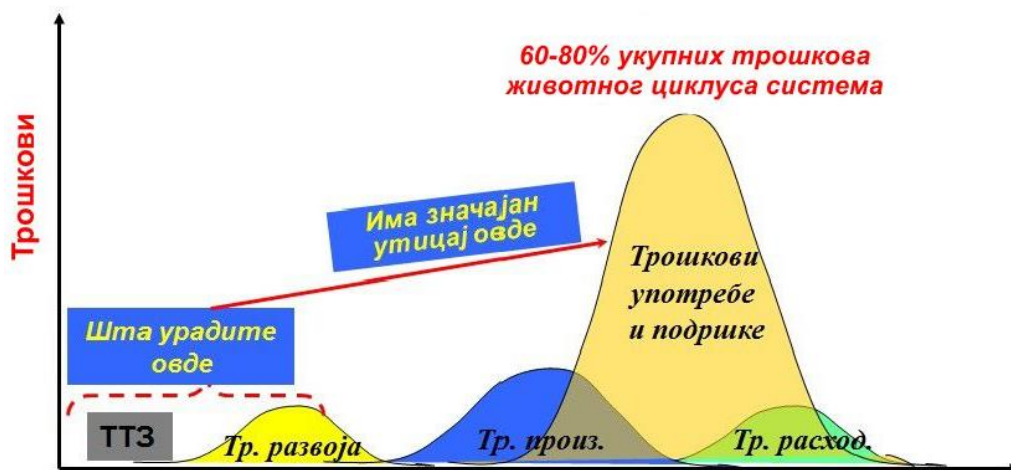
употребу, већ кроз читав животни циклус до његовог расхоровања и повлачења из оперативне употребе.

Ове анализе немају смисла уколико се врше накнадно и не утичу на процес пројектовања техничког система.

Познато је да су трошкови техничких система специјалне намене током појединих фаза њиховог животног циклуса веома високи као и то да настављају да расту. Ово се посебно односи на трошкове током фазе употребе у оквиру које се појављују и трошкови подршке техничким системима. Ови вишегодишњи трошкови су већи од почетних трошкова развоја и набавке система. У прошлости у већини случајева, доношење одлука о набавци техничких система и опреме било је засновано на компромисима између техничких перформанси и набавне цене. Скривени трошкови *ILS* који су засновани на анализи поузданости, погодности за одржавање и расположивости били су секундарни по значају.

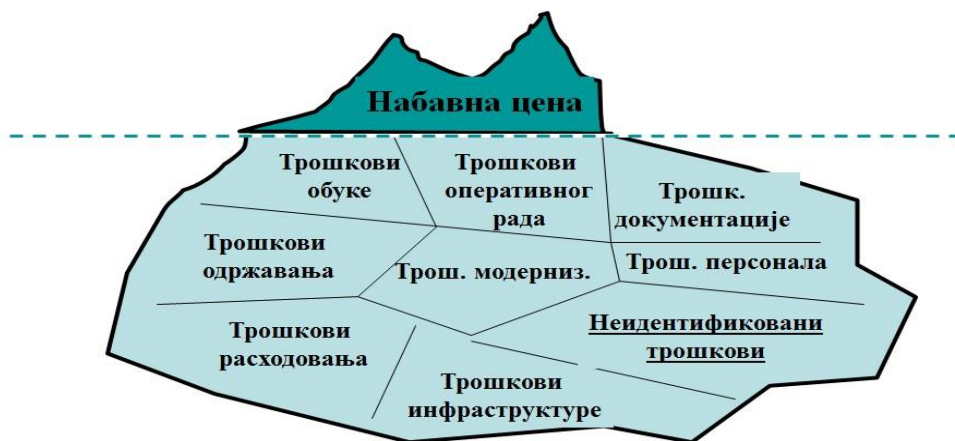
Један од општих циљева *LSA* је да се на погодност техничких система за одржавање утиче још у фази пројектовања, односно да се дефинише најефикаснија логистичка подршка и уједно захтеви за ресурсе логистичке подршке. Могућност за утицај на конструкцију техничког система у смислу испуњења захтева *LSA* је највећа на почетку развоја техничког система, за време концептуалне фазе пројекта. Рани утицај на пројектовање може да смањи или елиминише потребу за каснијим изменама у пројекту (потреба за модернизацијом) да би технички систем био спреман за употребу и подршку.

Имајући у виду трошкове у току развоја или набавке техничког система, јасно је да концепт управљања животним циклусом система идентификује ране фазе развоја или набавке готовог техничког система са тржишта као најкритичније са аспекта дугорочног ефекта донетих одлука. Зато се ране фазе развоја и опремања са техничким системима називају још и фазе минимизације ризика, слика 6.2. [45].



Слика 6.2. Преглед трошкова који указује на значај LSA током раних фаза животног циклуса техничког система [45]

Главни проблем код анализе трошкова животног циклуса техничких система је то што их је тешко проценити у раним фазама развоја или набавке техничког система као готовог производа са тржишта, тј. тада је „видљив“ само мањи део трошкова. Лоше управљање и планирање опремањем техничким системима са аспекта укупних трошкова животног циклуса може се упоредити са „ефектом леденог брега“, који плива у мору и код кога је само 1/10 видљиво, а 9/10 невидљиво, слика 6.3.



Слика 6.3. Приказ видљивих и невидљивих трошкова техничких система [47]

Да би LSA могла да се квалитетно изврши и као резултат дефинише и планира ILS, неопходно је имати расположиве све потребне податке о техничким системима са којим се жели побољшати оперативна способност Војске, пре свега почетни тактичко-технички захтеви (где су укључени поред захтева за одговарајућим карактеристикама система и захтеви за поузданости и расположивости,

стандардизацијом, погодности за одржавање и једноставнијим праћењем техничког стања), као и општи аспекти употребе, односно оперативни контекст. Оперативна способност Војске представља могућност Војске или њених делова да, у предвиђеном времену и под одређеним стандардима и условима, остварује жељене оперативне ефекте кроз комбинацију снага, средстава и начина извршења оперативних задатака [1].

Носилац развоја и корисник усаглашавају такође принципе како да користе податке који настају из активности LSA. Документација о подацима у оквиру логистичке базе података се дефинише у сврху прикупљања података. Због тога се препоручује да се пажљиво изабере који ће подаци бити документовани у логистичкој бази података, а затим повезати податке са одговарајућом наменом. При избору се морају размотрити технички и економски аспекти, нарочито за веома опсежне анализе [45].

Непосредно пред почетак израде пројекта за развој техничких система неопходно је на нивоу пројектанта, будућег корисника и произвођача усагласити и списак појединих елемената и склопова техничког система који ће бити предмет анализа које се врше у оквиру LSA.

Полазна тачка за било коју активност LSA је да се претходно изврши идентификовање општих потреба LSA. Треба утврдити зашто се мора извршити анализа како би се избегло трошење драгоцених ресурса за анализу рада, без јасно дефинисаног циља. Идентификација општих потреба LSA углавном се односи на носиоца развоја односно произвођача и корисника.

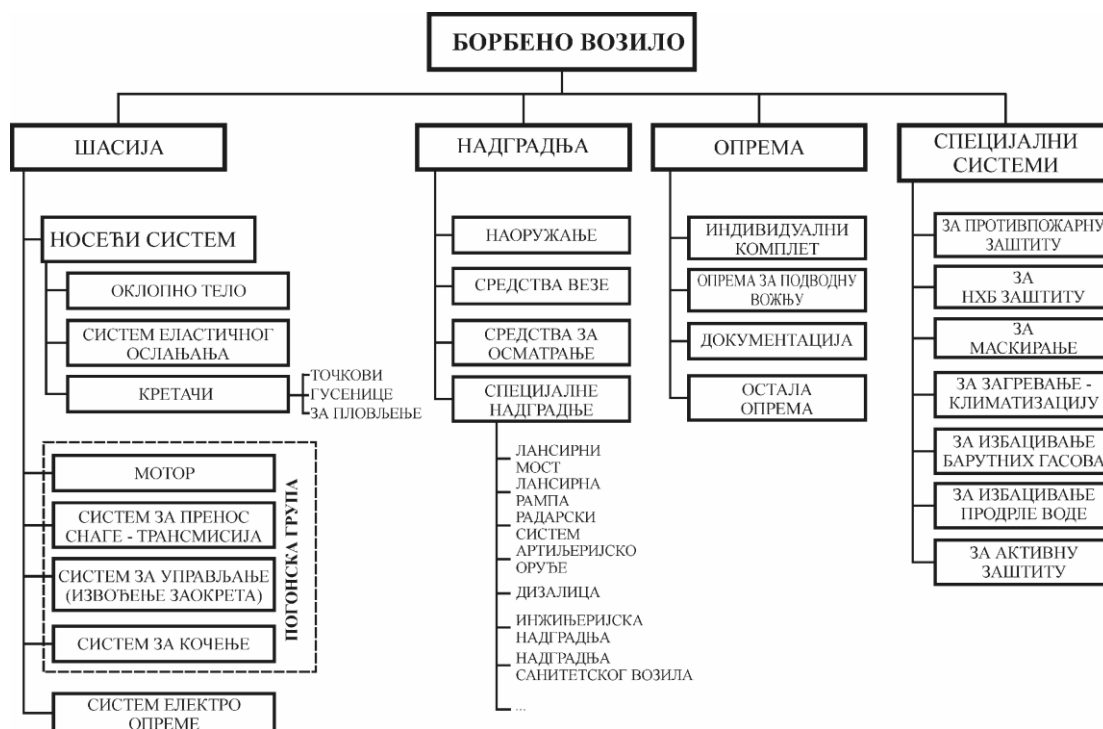
Активности које је неопходно реализовати у оквиру LSA ће бити детаљно објашњене у поглављу 8., где ће се дефинисати и нова методологија за избор концепције одржавања техничког система.

7. СПЕЦИФИЧНОСТИ ПОГОНСКИХ АГРЕГАТА СПЕЦИЈАЛНИХ ВОЈНИХ ВОЗИЛА

7.1. Увод

У фази развоја методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, потребно је извршити и анализу специфичности предметних погонских агрегата у делу који се односи на њихову употребу и одржавање.

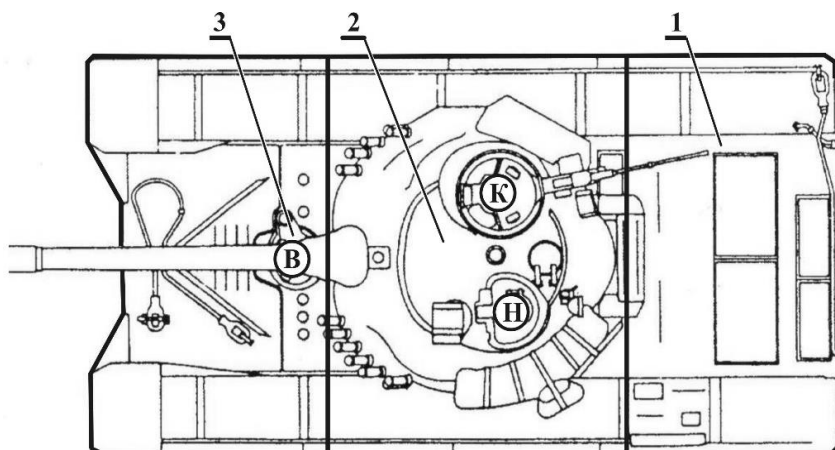
У оперативној употреби Војске Србије се налазе више типова специјалних војних возила, међу којима су и борбена возила - тенкови М-84А. На слици 7.1. је приказана структура специјалног војног возила, као што је тенк М-84А.



Слика 7.1. Структура специјалног војног возила [48]

Тенк М-84А [49] је борбено-гусенично возило снажног наоружања, јаке оклопне заштите и велике маневарске способности и проходности. Посада се састоји од три члана: командира, нишанције и возача. Тенк М-84А је наоружан са топом калибра 125 mm, митраљезом 7,62 mm спрегнутим са топом и противавионским митраљезом 12,7 mm који је постављен у командирској куполици. Тенк је

опремљен системом за аутоматско управљање ватром који обезбеђује високу тачност гађања у свим условима експлоатације и аутоматом пуњења који обезбеђују велику брзину гађања из топа уз осетно повећање удобности рада посаде. Такође, тенк је опремљен специјалним уређајима: за заштиту посаде и опреме у тенку од дејства ударног таласа и зрачења при дејству нуклеарног оружја. Композиција тенка М-84А је приказана на слици 7.2. Погонско одељење (1) налази се у задњем делу возила, борбено одељење (2), чији централни део представља купола са топом, налази се у средишњем делу возила, а управно одељење (3) налази се у предњем делу возила. Ова композиција обезбеђује битне предности, значајне за конструкцију тенка могућност постављања куполе у средишњем делу возила и остваривање депресије топа од 10^0 без значајног повећања висине куполе.



Слика 7.2. Композиција тенка М-84А [49]

7.2. Погонски агрегати специјалних војних возила

Поред основних захтева које морају задовољити, као и класични погонски агрегати неборбених возила, од погонских агрегата специјалних војних возила захтева се и:

- Већа специфична снага која треба да обезбеди потребне перформансе возила у условима кретања по путу и ван путева, уз малу запремину и масу;
- Брзо и сигурно пуштање погонског агрегата у рад, без обзира на климатске услове и способности да у што краћем времену оствари максималне режиме рада;
- Способност да, бар краткотрајно, ради са нестандартним горивом;

- Мали габарити и тежина;
- Једноставност опслуживања и регулисања;
- Дуготрајност у раду и код отежаних услова експлоатације;
- Лакоћа управљања и аутоматизација рада система, ради смањења замарања возача код већих физичких напрезања и
- Могућност одвода снаге за погон различитих помоћних агрегата за време кретања и за време мировања возила.

Овако сложене захтеве, који се постављају пред погонске агрегате специјалних војних возила односно борбених возила, у овом тренутку најбоље задовољавају четворотактни дизел вишегориви погонски агрегати. Због тога су наведени погонски агрегати најшире примењени за погон борбених возила широм света.

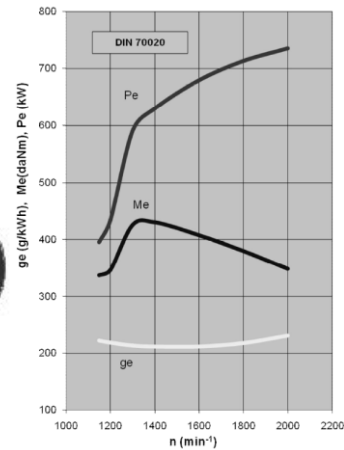
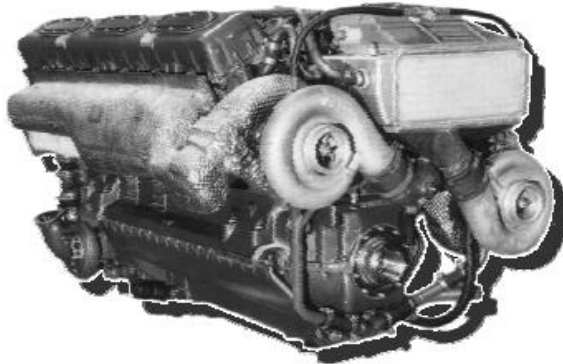
Код лаких борбених возила примењују се дизел погонски агрегати комерцијалних возила, уз незнатне измене и конструкцијска прилагођавања условима рада у оклопном телу, док се за тежа борбена возила (првенствено тенкове) развијају посебне конструкције погонских агрегата, заједно са целокупном погонском групом. У циљу повећања компактности погонског агрегата, односно специфичне снаге (однос снаге погонског агрегата и масе борбеног возила), примењују се различита решења - натпуњење, променљив степен компресије, високопритисно убризгавање итд.

Дизел погонски агрегати В46-ТК, уграђени у тенкове М-84А на употреби у Војсци Србије су произведени 80-их година прошлог века на територији бивше СФРЈ а њихова употреба за потребе Војске Србије се очекује у наредних најмање двадесетак година. Војнотехнички институт, као научно-развојна институција Министарства одбране и Војске Србије, је учествовао у развоју наведених погонских агрегата.

Основне карактеристике погонског агрегата (В46-ТК) уграђеног у тенк М-84А и приказаног на слици 7.3. су:

- Четворотактни, дванаестоцилиндрични вишегориви погонски агрегат, хлађен течномшћу;
- Поседује турбокомпресор и свережимски регулатор;

- Максимална снага је 735 kW при 2000 min⁻¹;
- Максимални обртни момент је 4350 Nm при 1350 min⁻¹;
- Маса погонског агрегата је 980 kg;
- Радни век погонског агрегата је 500 мч.



Слика 7.3. Погонски агрегат V46-TK

7.3. Одржавања специјалних војних возила у Војсци Србије

Систем одржавања специјалних војних возила у Војсци Србије је организован преко органа који управљају и органа који извршавају задатке у систему одржавања по нивоима командовања од нивоа организационих јединица у Министарству одбране и Генералштабу Војске Србије до непосредног корисника.

Одржавање се организује и спроводи коришћењем свих капацитета Војске Србије, наменских и допунских производно-ремонтних и услужних капацитета у земљи.

Капацитети за одржавање одређују се зависно од реалне потребе према врсти и распореду јединица и могућностима у складу са принципима и концепцијом одржавања.

Планирање је веома битан процес у систему одржавања и врши се на свим нивоима одржавања у зависности од обима активности одржавања које треба реализовати, а на основу потребе извођења активности превентивног и корективног одржавања као и расположивих капацитета за одржавање, ради обезбеђења захтеване оперативне способности и поузданости возила посебне намене.

Видови одржавања [1] у Војсци Србији, према прописаним технологијама, структури и обиму радова, су:

- 1) Основно одржавање;
- 2) Техничко одржавање;
- 3) Средњи ремонт;
- 4) Генерални ремонт;
- 5) Ревизија и
- 6) Контролни прегледи.

7.3.1. Основно одржавање

Основно одржавање специјалних војних возила обезбеђује стални увид у стање, функционалност, комплетност и спремност војних возила за употребу, а реализује се кроз прописане активности корисника односно посаде возила и основних јединица.

Основно одржавање обухвата:

- а) дневне прегледе;
- б) опслуживање и
- в) периодичне (недељне) прегледе.

Дневне прегледе врши људство које рукује возилима ради остваривања сталног увида у исправност и комплетност специјалних војних возила. Дневни преглед специјалних војних возила обухвата:

- 1) преглед пре употребе;
- 2) преглед у току употребе;
- 3) експлоатациона мерења;
- 4) преглед после употребе.

Прегледом пре употребе, поред функционалне исправности возила, обавезно се проверава и његова техничка исправност. Возило је технички неисправно уколико је на њему дошло до отказа или оштећења који се јављају у процесу коришћења и одржавања, као и када нису заступљени сви елементи техничке исправности.

Уочене неисправности отклања корисник (посада, послуга, руковалац) помоћу алата и прибора из индивидуалног комплета или резервним алатом и прибором.

Ако се неисправности не могу отклонити, командир - старешина јединице забрањује употребу неисправног возила и предузима мере за отклањање неисправности.

Прегледом у току употребе корисници возила прате и контролишу рад и правилност функционисања свих елемената и склопова специјалног војног возила.

Експлоатациона мерења врше се ради утврђивања стања исправности возила у току употребе, за време прекида рада возила или у току застанка (одмора) на маршу.

Опслуживање борбених возила врши посада која њиме непосредно рукује, под надзором командира - старешине, јединице односно установе, а по потреби и уз помоћ извршних органа за одржавање.

Опслуживање специјалних војних возила обухвата:

- 1) чишћење;
- 2) прање;
- 3) подмазивање;
- 4) попуну горивом и осталим течностима;
- 5) оправке које врши корисник, помоћу индивидуалног комплета и резервних делова, алата и прибора;
- б) попуну индивидуалног комплета и резервног алата и прибора.

Опслуживање специјалних војних возила се врши на месту употребе или у сервисној станици која се формира у оквиру техничке радионице.

При периодичном прегледу проверавају се техничко стање и комплетност возила и ажурност документације. Истовремено, врши се провера знања непосредних корисника за употребу возила и оспособљености за вршење основног одржавања у складу са техничким упутствима за руковање и одржавање.

7.3.2. Техничко одржавање

Техничко одржавање специјалних војних возила јединица Војске Србије у миру организује се и врши у јединицама за техничко одржавање и овлашћеним цивилним предузећима у складу са прописаном технологијом одржавања, ради довођења возила у исправно стање и постизање одговарајућег стања оперативне способности.

Техничко одржавање обухвата:

- 1) техничке прегледе,
- 2) прелазак са једног вида употребе на други,
- 3) лаки ремонт и
- 4) конзервацију.

Технички преглед врши се ради утврђивања исправности и поузданости возила и отклањања установљене неисправности односно припремања за наредне ресурсе експлоатације и чувања или упућивања на ревизију, средњи и генерални ремонт. Зависно од испуњених временских ресурса врши се први и други технички преглед специјалних војних возила, према прописаним технолошким поступцима за такву врсту возила.

Нпр. техничко одржавање тенка М-84А се реализује након истека прописаног временског ресурса и то [49]:

- I технички преглед после сваких 1.600-1.800 пређених километара или 160-180 мото часова рада погонског агрегата или једном годишње и
- II технички преглед после 3.300-3.500 пређених километара или 330-350 мото часова рада погонског агрегата или једном у току две године.

Прелазак са једног вида употребе на други подразумева прелазак са летњег на зимски вид употребе и обрнуто и врши се на возилима која у својим системима користе у летњем и зимском периоду средства за подмазивање, хлађење и друге течности.

Лаки ремонт обухвата радове на отклањању неисправности и оштећења утврђених при прегледу, као и неисправности и оштећења насталих при експлоатацији или услед борбених дејстава, који су у надлежности јединица и установа за техничко одржавање.

При лаког ремонту врши се подешавање, мерење и оправка специјалних војних возила заменом делова, подсклопова, склопова и агрегата. Обим и технологија радова током лаког ремонта одређују се техничким упутствима за сваки тип специјалних војних возила.

Лаки ремонт врши се на месту утврђене неисправности, оштећења или у јединици за техничко одржавање. Као испомоћ јединицама за техничко одржавање може се

ангажовати део капацитета за средњи и генерални ремонт, као и капацитети давалаца услуга ван Министарства одбране и Војске Србије.

За вршење лаког ремонта, јединице за одржавање користе прописану опрему за дијагностику, сервисирање и ремонт.

Конзервација се врши ради заштите специјалних војних возила од корозионих и биолошко-хемијских фактора односно ради обезбеђења исправности у одређеном периоду.

Конзервација специјалних војних возила може да буде краткорочна и дугорочна, а врши се према прописаним технолошким поступцима и средствима за конзервацију.

7.3.3. Средњи ремонт

Средњи ремонт обухвата процедуре прописане посебном технологијом и техничком ремонтном документацијом за одређени тип специјалних војних возила, а врши се после истека прописаног ресурса или после настанка неисправности. Средњи ремонт може да се врши на подсклоповима, склоповима и агрегатима специјалних војних возила.

Средњи ремонт се врши у јединицама за одржавање које су оспособљене за средњи ремонт и оспособљена цивилна предузећа.

7.3.4. Генерални ремонт

Генерални ремонт обухвата процедуре прописане техничком ремонтном документацијом за одређене врсте техничких система. Генерални ремонт се врши после истека прописаног ресурса или после ванредних оштећења и већих неисправности предвиђених да се отклоне на највишем нивоу одржавања.

Генерални ремонт врши ремонтни завод и овлашћена цивилна предузећа у земљи. Под ремонтним циклусом подразумева се време које протекне између два генерална ремонта (или од првог пуштања система у рад до првог генералног ремонта). Разликује се још карактеристично „време међуремонтног периода“ - време између било која два планска ремонта, као нпр. између два узастопна средња ремонта или генералног и средњег ремонта и слично.

На пример, за борбена возила чији радни век је 50 година ремонтни циклус траје 6.000 km за средњи ремонт односно 12.000 km генерални ремонт. Ремонтни циклус погонског агрегата тенка М-84А траје 500 мч.

7.3.5. Ревизија

Ревизија обухвата системску проверу исправности специјалних војних возила, отклањање неисправности и замену заштитних елемената и елемената који су током времена изгубили заштитне и експлоатационе карактеристике. Зависно од сложености прописане технологије и поступака, ревизију врше јединице оспособљене за средњи и генерални ремонт и овлашћена цивилна предузећа.

7.3.6. Контролни прегледи

Контролни прегледи се организују и врше ради провере исправности специјалних војних возила, правовремености, садржаја и квалитета основног и техничког одржавања и средњег и генералног ремонта у јединицама односно установама Министарства одбране и Војске Србије.

У Копненој Војсци Србије корективно одржавање специјалних војних возила и осталих техничких система се односи на оправке, које обухватају радове на отклањању отказа и оштећења. Према обиму радова, оправке могу да изводе посаде специјалних војних возила користећи индивидуални комплет алата, инструмената и резервних делова, логистички батаљони формиран на нивоу бригаде и ремонтни завод.

7.4. Основна запажања о одржавању специјалних војних возила Војске Србије

Као што је наведено претходно систем одржавања специјалних војних возила у Војсци Србије је организован преко органа који управљају и органа који извршавају задатке у организационој структури. Извршни органи у организационој структури система одржавања су Технички ремонтни завод „Чачак“ за најсложеније видове одржавања (средњи и генерални ремонт) док ниже видове одржавања (основно и

техничко одржавање) изводе јединице које се баве одржавањем углавном на локацији крајњег корисника средстава.

Поред проблема код обезбеђења критичних резервних делова за одржавање специјалних војних возила, велики проблем код сагледавања могућности побољшања процеса одржавања специјалних војних возила је недостатак података о отказима возила током њихове експлоатације. У техничким књижицама специјалних војних возила се само евидентирају видови одржавања реализовани на возилу и то је све што може да се искористи код анализе отказа возила током његове експлоатације. Технички ремонтни завод „Чачак“ има за највише нивое видова одржавања податке о активностима које су реализовање и утрошеним резервним деловима током ремонта предметних возила. Другим речима као један од највећих недостатака може се констатовати да није могуће извршити квалитетну анализу понашања специјалних војних возила током њихове експлоатације како би се могла урадити ваљана анализа код разматрања побољшања постојеће методологије одржавања.

Као што је у поглављу б. наведено, одређене анализе трошкова животног циклуса техничког система показују да су трошкови употребе и одржавања техничког система током фазе употребе техничког система и до 60-80 % укупних трошкова животног циклуса техничког система што указује да се о проблематици одржавања и те како мора водити рачуна не након увођења техничког система у употребу, него знатно пре, по могућности у фази развоја. Укључење свих стручних лица, из области пројектовања, коришћења и одржавања кроз све фазе животног циклуса техничког система требало би да побољша способност развоја и одржавања захтеваног техничког система у условима ограничених материјалних и људских ресурса.

На основу претходно изнетих проблема, свакако да избор одговарајуће методологије одржавања техничких система на употреби у Војсци Србији ствара добру основу да се већи део евидентираних проблема реши. Пре свега, методологија би омогућила рационалније сагледавање проблема и коришћење расположивих људских и материјалних ресурса на најбољи начин у циљу одржавања захтеваних карактеристика техничких система уз минималне трошкове.

8. МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ИЗБОР КОНЦЕПЦИЈА ОДРЖАВАЊА СКЛОПОВА И ПОДСИСТЕМА ТЕХНИЧКОГ СИСТЕМА

Као основа за развој методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничког система коришћена је RCM методологија. За избор RCM методологије највише је имало утицаја то што поменута методологија акценат даје на очувању функције система и што избору одговарајуће концепције одржавања за поједине склопове техничког система, претходи детаљно сагледавање карактеристика потенцијалних отказа елемената и склопова система и начина њиховог спречавања. Ово претходно из разлога, што је до сада погрешна пракса била да се код дефинисања концепције одржавања посматра комплетан технички систем а не његови елементи и склопови, који имају различите интензитете отказе па самим тим и потребу да се подвргавају различитим концепцијама одржавања.

Основна идеја RCM методологије је дата у литератури с тим да процедуре или нису доступне или су прилагођене условима и ограничењима система у ком се примењују.

Поред наведеног, акценат код развоја нове методологије одржавања ће бити дат и на то да се о концепцији одржавања склопова и подсистема као и погодности техничког система за одржавање разматра још током фазе пројектовања и развоја техничког система, што је у складу са основним принципима системског инжењерства, а у циљу стварања одређених предуслова за ефективније и ефикасније одржавање предметних техничких система.

8.1. Предуслови за примену методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничког система

Након дефинисања начина и услова употребе техничког система, неопходно је дефинисати тактичко-техничке захтеве техничког система. Поред основних перформанси које технички систем треба да задовољи, неопходно је дефинисати и

захтеве у погледу одржавања будућег система који се дефинишу у оквиру елемената ILS. Елементи ILS који се морају дефинисати на интегралној основи, са свим другим сегментима техничког система, су:

- Поузданост;
- Погодност за одржавање (задовољење основних принципа стандардизације, типизације и унификације);
- Одржавање (у оквиру кога дефинисати концепције одржавања за дефинисани модел експлоатације, нивое одржавања за дати систем);
- Снабдевање резервним деловима и другим погонским средствима (дефинисати начин снабдевања резервним деловима и другим погонским средствима неопходним за обављање пројектоване функције техничког система);
- Особље и обука (дефинисати потребне кадрове за руковање и одржавање, извршити допуну програма школовања за познавање техничког система, обезбедити наставна средства и помагала за обуку у руковању и одржавању);
- Опрема за одржавање и подршку (обухвата мерну и другу опрему за руковање и одржавање, алате);
- Логистичка документација и информатика (обухвата документацију за руковање, документацију за одржавање, податке потребне за информациони систем и сл.);
- Транспорт и руковање (дефинисати начин транспорта техничког система, начин паковања, чувања, складиштења и конзервације).

Носилац развоја (научно истраживачка институција Војске) у сарадњи са крајњим корисником и организационом јединицом Војске надлежном за ILS, треба да договоре и успоставе одговарајући процес LSA што представља ефикасан план за увођење сложеног техничког система у оперативну употребу Војске. Након извршене LSA дефинише се ILS са планираном динамиком обезбеђења елемената ILS током свих фаза животног циклуса техничког система (истраживање, развој и производња, коришћење и одржавање).

Да би LSA могла да се квалитетно изврши и као резултат дефинише и планира ILS, неопходно је имати расположиве све потребне податке о техничком систему са

којим се жели побољшати оперативна способност Војске, пре свега почетне тактичко-техничке захтеве (где су укључени поред захтева за одговарајућим карактеристикама система и захтеви за поузданости, погодности за одржавање и праћењем његовог стања...), као и општи аспекти употребе, односно оперативни контекст, према следећем:

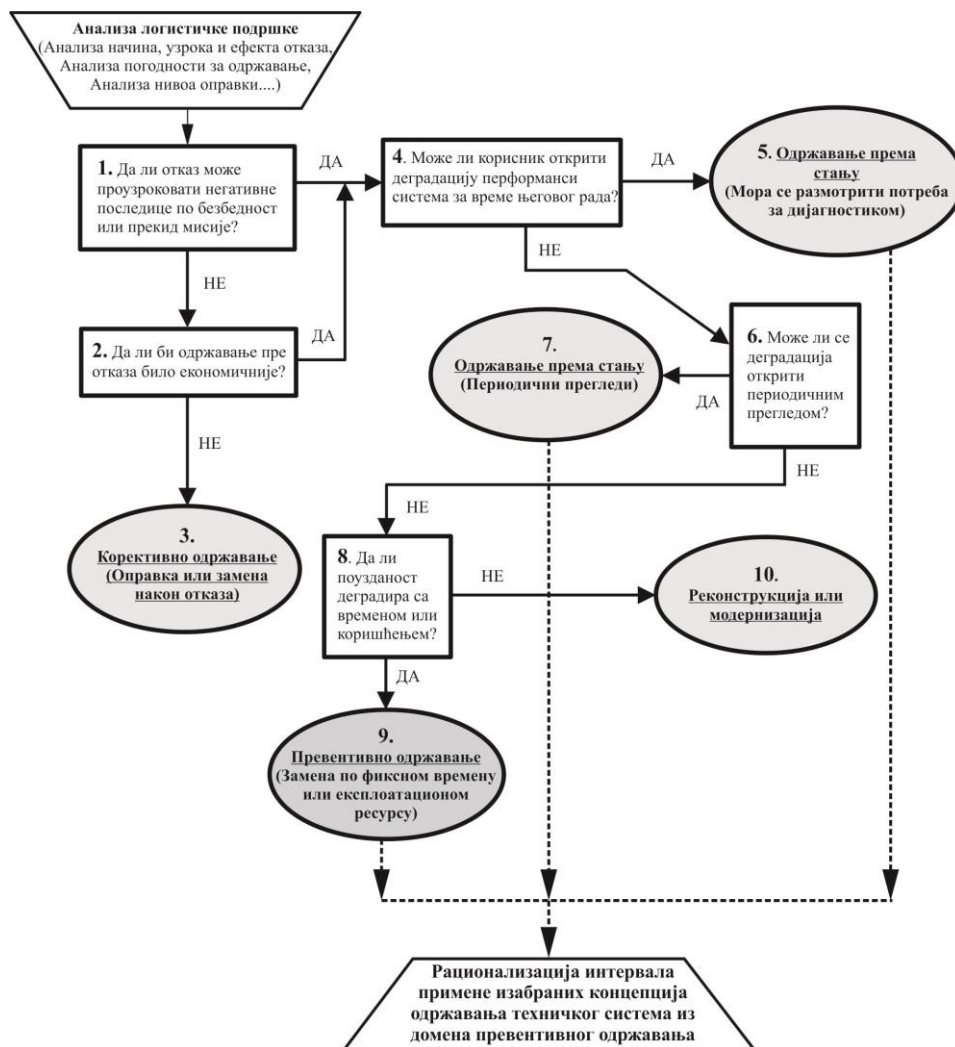
- У којим условима ће технички систем радити и бити одржаван?
- Да ли окружење утиче на карактеристике система (нпр. поузданост, погодност одржавања)?
- Да ли окружење значајно утиче на начин оправке техничког система?
- Колико дуго ће се користи технички систем (предвидети животни циклус)?
- Колико је нивоа одржавања планирано за одржавање техничког система?
- Које су карактеристике и активности у оквиру сваког нивоа одржавања?
- Да ли се одржавање новог система може прилагодити постојећој методологији одржавања у систему одржавања?
- Да ли је коришћење постојећег одржавања система претходне генерације или сличних система у близини места рада могуће и ефикасно?
- Да ли се корисник може укључити у оправку техничког система или само замењује неисправан део другим исправним?
- Која је прихватљива учестаност и трајање активности превентивног или корективног одржавања?
- Да ли постоје ограничења за превентивно одржавање, посебни услови за особље или објекте?
- Које су очекиване потребе за замену или модернизацију предметног техничког система услед очекиваног напретка у технологијама и новим захтевима за перформансама система? Како ће ово утицати на промену логистичке подршке техничком систему?
- Снабдевање резервним деловима и потрошним материјалом је од пресудног значаја за одржавање техничког система.
- Потребан профил кадра за одржавање и њихова обука;
- Распоживи и потребни објекти за одржавање;

- Додатни аспекти су паковање, складиштење, руковање, транспорти расхоровање техничког система као и утицај на животну средину.

8.2. Кораци примене методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничког система у току животног циклуса

Након детаљно извршених анализа у оквиру LSA, долази се до неопходних података за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничког система.

На слици 8.1. су детаљно приказани кораци (алгоритам) методологије за избор одговарајућих концепција одржавања подсистема и склопова техничког система. Алгоритам користи резултате претходно извршених анализа (FMEA, Анализа нивоа оправки, Анализа превентивног одржавања, Анализа задатка одржавања и др.), које се врше у оквиру LSA, у фази пројектовања и развоја техничког система. Имајући у виду да се LSA врши током целог животног циклуса система тако да уколико се током фазе употребе техничког система добијени резултати анализа разликују од резултата који су били полазна основа за дефинисање концепције одржавања неопходно је преиспитати постојећу концепцију одржавања односно покренути поступак њене ревизије.

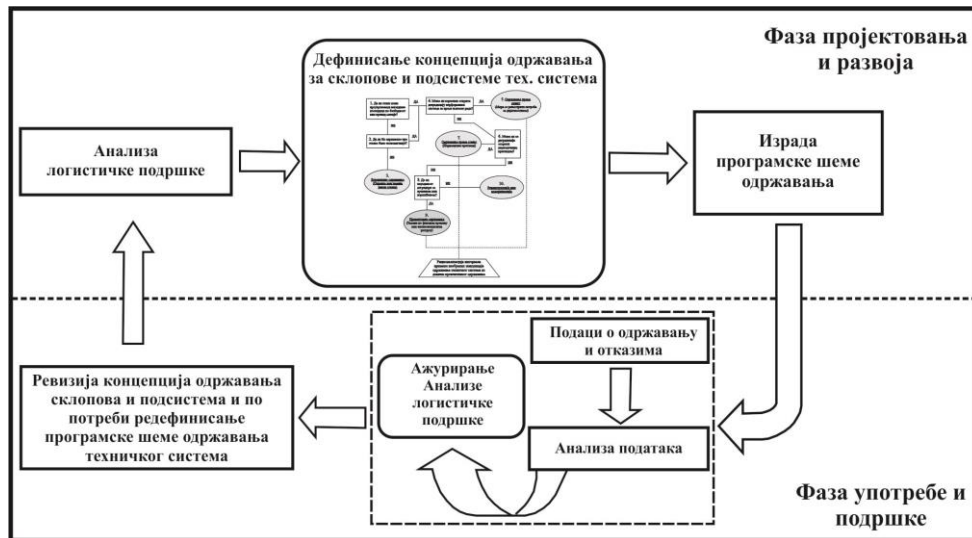


Слика 8.1. Кораци (алгоритам) методологије за избор одговарајуће концепције одржавања склопова и подсистема техничког система

У оба претходно наведена случаја, примена методологије за избор одговарајућих концепција одржавања склопова и подсистема техничког система у току животног циклуса система се може приказати, слика 8.2, према следећем:

1. Анализа логистичке подршке (LSA);
2. Избор одговарајућих концепција одржавања за сваки склоп и подсистем техничког система и евентуално дефинисања предлога за модернизацију појединих склопова и подсистема техничког система проласком кроз поједине кораке (алгоритам) методологије за избор одговарајућих концепција одржавања;
3. Израда и праћење реализације програмске шеме одржавања;

4. Ажурирање LSA током фазе употребе техничког система и по потреби ревизија постојећих концепција одржавања појединих склопова и подсистема техничког система и редефинисање програмске шеме одржавања.



Слика 8.2. Примена методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничког система у току његовог животног циклуса

Истраживање, односно прорачун карактеристика отказа појединих елемената и склопова техничког система су веома корисни код одређивања одговарајуће концепције одржавања и треба да буду императив током развоја. Током развоја техничког система сваки елемент и склоп се подвргава појединачним лабораторијским испитивањима, а потом и кроз теренска испитивања.

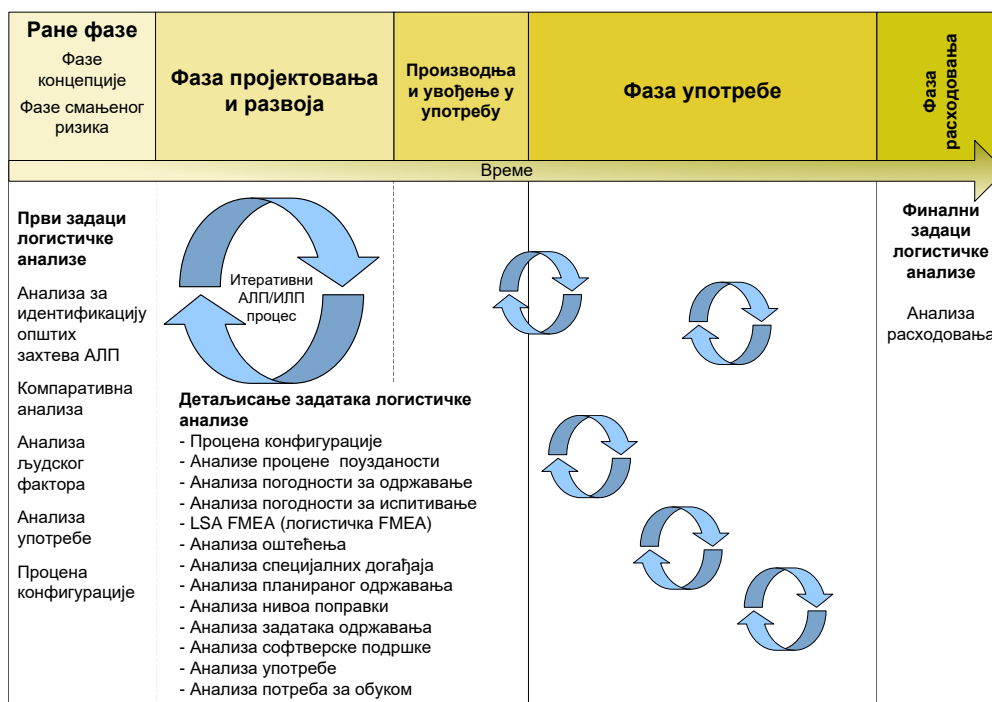
Без обзира како су изабране концепције одржавања појединих склопова и подсистема датог техничког система, постоји стална потреба за побољшавањем концепција одржавања на основу искустава и података до којих се с временом долази током животног циклуса система као и због сталног напретка нових технологија праћења и одржавања система. Сама методологија, која је дефинисана, превасходно је квалитативна, међутим након ове свеобухватне анализе морају се скупљати подаци о понашању система подвргнутом новом начину одржавања. Подаци ће показати шта се дешава у новим околностима.

8.2.1. Улазни подаци - Анализа логистичке подршке (LSA)

Први корак код примене методологије за избор концепција одржавања подсистема и склопова техничког система, који се реализује почев од најраније фазе животног циклуса - истраживање и развој, је LSA у делу који је од утицаја на избор одговарајућих концепција одржавања техничког система. LSA обезбеђује улазне податке на основу којих се врши избор концепција одржавања подсистема и склопова техничког система и кључни корак је при примени методологије у свим фазама животног циклуса техничког система.

8.2.1.1. LSA у току животног циклуса техничког система

У различитим фазама животног циклуса техничког система (слика 8.3.), на располагању су различити подаци за извршење LSA. Неке од анализа се реализују током раних фаза животног циклуса техничког система док остале се реализују у фази у којој су на располагању детаљне и коначне информације везане за конструкцију техничког система (нпр. коначна Анализа превентивног одржавања се може реализовати у току касније фазе пројектовања, јер је за ову врсту анализе неопходно доста детаљних информација).



Слика 8.3. LSA у фазама животног циклуса техничког система [45]

Захтеви за LSA не завршавају се на крају фазе пројектовања и развоја. У оквиру следеће фазе (производња и увођење у употребу), може бити потребно више пута да се изврши логистичка анализа, зависно од реализованих модернизација и модификација техничког система.

Ово се посебно односи на фазу употребе техничког система, која је најдужа фаза животног циклуса. Током фазе употребе, најчешће настају потребе за модернизацијом или модификацијом техничког система па у зависности од њих, анализа логистичке подршке ће поново бити потребна да се изврши у одговарајућој мери. Стога, итеративни процес LSA и ILS се током животног циклуса система изводи више пута. Из тог разлога, потребно је документовање логистичких података током целог животног циклуса, закључно са фазом расходавања. Чак и за ту завршну фазу, морају се узети у обзир логистички аспекти.

Током фазе употребе (експлоатације), LSA се понавља, али у мањој мери. Ако технички систем има техничка унапређења или измене конструкције, треба обавити нову анализу везану за логистичке захтеве. Дубина и обим ове анализе ће зависити од типа техничког система и обима измена.

Да би се избегле негативне последице неспоразума на релацији пројектант-произвођач-корисник техничког система, корисник треба да буде укључен у избор кандидата техничког система за LSA, упознат са резултатима анализа, начином размене информација и документовањем резултата LSA. Под кандидатима техничког система се подразумевају елементи, склопови или подсистеми техничког система, који су оправљиви или који захтевају превентивно или корективно одржавање.

Између будућег корисника и пројектанта техничког система неопходно је успоставити сагласност за обављање LSA процеса као и припремити полазне податке и сагледати очекивања од резултата и постигнутих договора.

Пројектант и корисник морају договорити принципе како да користе податке који настају реализацијом активности у оквиру LSA. Документација о подацима у оквиру логистичке базе података мора да дефинише сврху прикупљања података. Због тога се препоручује да се пажљиво изабере који ће подаци бити документовани у логистичкој бази података, а затим повезати податке са одговарајућом наменом. Ово се односи и на активности логистичке анализе.

8.2.1.2. Избор кандидата за LSA

Непосредно пред почетак развоја одређеног техничког система неопходно је на нивоу пројектанта и произвођача усагласити списак кандидата техничког система који ће бити предмет LSA. Процес LSA треба посматрати и са становишта трошкова. Из тог разлога, селекција кандидата LSA и повезаних анализа треба да се уради пажљиво како би се одржао баланс између уложеног труда за LSA и добијене користи из процеса LSA. Кандидати могу бити различитих својстава, што захтева и одређену дубину анализе у зависности од конкретног кандидата система за LSA. Доношење одлуке о томе да ли ће елемент техничког система који се анализира бити део листе кандидата зависи од наведених критеријума, уз уважавање додатних критеријума који морају бити појединачно утврђени за сваки технички систем. Поред тога на нивоу носиоца одржавања у Војсци и носиоца развоја треба дефинисати и дубину анализа кандидата које се реализују у оквиру LSA.

Кандидати за LSA се изводе из хијерархијског рашчлањавања техничког система. Из тог разлога, најважнији предуслов је правилан избор методе хијерархијског рашчлањавања система. Између корисника и пројектанта мора се разјаснити како идентификовати елементе рашчлањавања, на пример, коришћењем важећег прописа за идентификацију елемената или другог идентификационог система који одговара кориснику. Ако је потребно да се користе различите методе рашчлањавања (физичко и функционално), мора се такође разјаснити на нивоу корисника и пројектанта на који начин се повезују начини рашчлањавања и зашто се користи функционално рашчлањавање.

Једноставно функционално рашчлањавање би требало да почне од највишег хијерархијског нивоа система. Различите функције система (примарне и секундарне) треба документовати до жељене дубине. У чисто функционалном рашчлањавању не треба да се нађу хардверски елементи.

Једноставно физичко рашчлањавање такође треба да почне од највишег хијерархијског нивоа система. Као општи принцип, у сваком физичком рашчлањавању треба да буде могуће да се за структуру рашчлањавања употребе склопови. У оквиру чисто физичког рашчлањавања, не треба да се нађе ниједна функција.

У зависности од указаних потреба, следеће методе рашчлањивања техничког система се могу користити [45]:

- чисто функционално рашчлањавање,
- чисто физичко рашчлањавање,
- мешовито рашчлањавање (функционално и физичко у једном стаблу рашчлањавања) које се често назива и хибридно рашчлањавање,
- чисто функционално и чисто физичко рашчлањавање паралелно, са унакрсним повезивањем.

Сваки резултат постојећих анализа (нпр. из раније реализованих активности анализе или директно од испоручиоца) треба да се користи за избор кандидата техничког система. Примери су следећи:

- досадашња искуства у вези коришћених система,
- постојећа погодност одржавања или подаци о поузданости,
- постојећи резултати FMEA или FMECA.

Кандидати техничког система за LSA се могу класификовати на потпуне и делимичне кандидате. Код потпуног кандидата потребно је обезбедити све расположиве информације LSA, док код делимичног кандидата потребно је обезбедити само суштинску информацију (нпр. само информација како се демонтира и уграђује због потребе да се добије приступ другим позицијама, али није потребна информација у вези оправке јер се позиција одбацује након отказа).

Овде су наведени неки критеријуми који могу да се користе као усмерење за потенцијално релевантне аспекте за избор кандидата за LSA.

Код одређивања потенцијалних кандидата за LSA, узимају се у обзир следећи аспекти [45]:

- позиција је значајна за одржавање због учестаности отказа или очекиваног обима активности одржавања након њеног отказа,
- позиција има посебне логистичке захтеве у погледу стручног профила лица, обуке, опреме за подршку,
- позиција је предмет превентивног одржавања (нпр. превентивна замена позиције са ограниченим радним веком),

- позиција је предмет дијагностичких тестирања,
- позиција је потенцијално угрожена од оштећења због места уградње и/или конструкције позиције,
- позиција је предмет коришћења нових технологија.

Сви наведени критеријуми морају бити детаљно разрађени уз коришћење мерљивих вредности. Нпр., критеријуми који указују да ли је позиција значајна за одржавање се односе на учестаност отказа, морају бити наведене конкретне вредности, као што је нпр. средње време рада између отказа.

Концепт груписања кандидата за LSA би требало да се користи када је велики број истих или сличних позиција уграђен у оквиру система који се анализира. На пример, сви лежајеви са истим особинама уграђеним у возило се могу сврстати у једну групу кандидата за LSA. За ову групу, све релевантне информације за одржавање се односе на позиције из целе групе што може да буде и документовано.

Активности LSA треба да се континуално вреднују и документују у бази података. Треба избегавати коришћење различитих софтверских пакета за исте активности анализе на различитим локацијама. Интеграција и процеси усаглашавања могу бити обимни и потенцијални фактор ризика. У овом случају треба пронаћи, за сваки задатак који се обавља, одговарајуће софтверске пакете који су компатибилни између свих партнера (развојне институције, ремонтни завод, јединице за техничко одржавање Војске и др.).

8.2.1.3. Потенцијалне анализе и идентификовање општих потреба LSA

На кандидатима техничког система треба спровести оне анализе у оквиру LSA чији ће добијени резултат истраживања оправдати ангажовање ресурса за извршење саме анализе. Анализе треба да буду груписане у одређене категорије пре додељивања кандидатима, како би се утврдиле реалне потребе за одређеним анализама и смањило ангажовање расположивих ресурса до одговарајућег нивоа.

Полазна тачка за било коју активност LSA је да се претходно изврши идентификовање општих потреба LSA. Треба утврдити зашто се мора извршити анализа како би се избегло трошење драгоцених ресурса за анализу, без јасно

дефинисаног циља. Идентификација општих потреба LSA углавном се односи на носиоца развоја односно произвођача и корисника.

Листа анализа од значаја за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничког система, би била следећа [45]:

1. Компаративна анализа,
2. Анализа људског фактора,
3. Анализа конфигурације техничког система,
4. Анализа поузданости,
5. Анализа погодности одржавања,
6. Анализа погодности за праћење стања (дијагностику) техничког система,
7. Анализа начина и ефекта отказа (FMEA),
8. Анализа превентивног одржавања (АПО),
9. Анализа нивоа оправки (LORA),
10. Анализа задатака одржавања (МТА),
11. Анализа потребе за обуком.

8.2.1.3.1. Компаративна анализа

Ова анализа се врши само у специфичним случајевима. Као предуслов, упоредне информације о системима морају бити доступне и корисне за доношење одлука (са ограничењем на почетне активности LSA). Ако се компаративни систем може дефинисати, одговарајуће анализе морају се обавити како би се извели применљиви компаративни подаци. За документовање резултата, морају се одредити збирни извештаји који разматрају компаративне факторе.

8.2.1.3.2. Анализа људског фактора

Ова анализа може имати утицај на оне кандидате техничког система, на којима се извршава „Анализа задатака одржавања (МТА)“. Људски фактор може да буде разлог за специјална ограничења (нпр. у вези са применљивошћу задатка одржавања који захтева посебне способности). Ергономски аспекти се морају узети у обзир, као и дефинисање правила за одговарајуће везе човек-систем. На пример, неки аспекти који могу имати ограничавајуће последице на активности LSA (нпр. МТА) су [45]:

- способност да се подигне и носи већи терет,

- способност дужег кретања у посебним условима,
- руковање опасним материјама,
- законска ограничења (безбедносна ограничења).

8.2.1.3.3. Анализа конфигурације техничког система

Управљање конфигурацијом је област која обезбеђује правилно идентификовање конфигурације, управљање изменама и евидентирање стања до кога се дошло након измене физичких и функционалних карактеристика конфигурације техничког система.

Управљање конфигурацијом се спроводи на најнижем нивоу система односно елементима система и препознаје све оно што је захтевано, пројектовано, произведено, подржано а такође служи и за процењивање измена укључујући и утицаје на техничке и оперативне перформансе као и на активности ILS.

Елементи управљања конфигурацијом техничког система обухватају:

- Планирање управљања конфигурацијом;
- Препознавање конфигурације;
- Контролисање конфигурације;
- Управљање изменама конфигурације;
- Верификацију и оцењивање конфигурације.

Планирање управљања конфигурацијом у процесу LSA требало би да започне на почетку развоја техничког система и да се настави кроз све фазе његовог животног циклуса.

При дефинисању контролних тачака у програму управљања конфигурацијом треба водити рачуна да оне прате контролне тачке у програму развоја техничког система. Међутим важно је установити међусобну везу између контролних тачака у пројектовању и релевантних контролних тачака у LSA, како би се оставило довољно времена стручним лицима за ILS у циљу прилагођавања могућим изменама у конструкцији техничког система.

Контрола конфигурације обухвата процењивање захтева и предлога за измене и њихово прихватање или одбијање. Узимају се у обзир утицаји на логистику, цену, планиране рокове испоруке система, перформансе или везу са било којим подизвођачем. Ниво који одлучује о томе да ли ће се измена прихватити или не,

варира у зависности од величине и природе разматране измене. То укључује одговарајуће нивое унутар организације наручиоца као и организације која развија систем. Процес доношења одлуке је интегралан део свеукупног управљања у систему управљања пројектом развоја техничког система.

Програм управљања конфигурацијом техничког система би требало да установи неопходне процедуре и захтеве који омогућавају правилно праћење измена и њихов утицај на структуру техничког система. То су следеће процедуре и захтеви [45, 46]:

- Процедура за ажурирање измена конфигурације;
- Листа статуса измена:
 - Измена конструкције техничког система
 - Одбацивање
 - Одступање
- Процедура за контролу статуса измена;
- Захтеви за издавање нове верзије;
- Неусаглашености са захтевима управљања.

Провере функционалне и физичке конфигурације се изводе у сагласности са општим и детаљним захтевима и процесима. Намењене су за обезбеђење захтеваних карактеристика техничког система и успостављања његове производње. На овај начин се дефинише конфигурација неког техничког система за реализацију процеса производње и осигурава подршка производа током његове оперативне употребе.

Провера функционалне конфигурације представља преиспитивање докумената у којима је идентификована (описана) функционална конфигурација техничког система како би се осигурало да техничка документација техничког система тачно одражава стварне функционалне карактеристике посматраног техничког система и његових конфигурационих елемената и да везе између њих поседују неопходне карактеристике.

Провера физичке конфигурације представља проверу: документације за идентификацију (опис) физичке конфигурације, података о планирању и производњи, одобрених инжењерских цртежа, и евиденције о оцењивању квалитета, како би се осигурало да су испоштовани основни документи

инжењеринга конфигурације техничког система потребни за отпочињање производње система.

Због промена у основној конфигурацији техничког система током пројектовања или производње, може доћи и до промена у његовој логистичкој подршци, те је потребно у LSA узети у обзир основне факторе који могу изазвати измене у конфигурацији система. Ове измене могу бити унутрашње измене (нпр. побољшање у начину анализирања подршке) или спољашње измене (нпр. измене у конструкцији, измене добављача).

Потенцијални покретачи и извори за измене у конфигурацији могу бити:

- Захтеви од стране корисника;
- Измене у конструкционом бироу који пројектује технички систем;
- Одступања од констуркције;
- Измене од страна добављача.

8.2.1.3.4. Анализа поузданости

Анализа поузданости (нпр. средње време рада између отказа) која се односи на предвиђени сценарио употребе кандидата техничког система, мора се оценити по питању коришћења за потребе LSA. Одређивање поузданости је задатак везан за пројектовање и развој, али документовање одређених резултата ове анализе је од кључног значаја за потребе LSA. Свакако, анализа поузданости је обавезна за сваког хардверског кандидата LSA. Поред тога, препоручује се да се одређивање поузданости прошири на све битне елементе рашчлањеног техничког система у циљу LSA, и да се обезбеди доследност тих вредности на свим нивоима рашчлањавања.

8.2.1.3.5. Анализа погодности одржавања

За сваког кандидата LSA препоручује се анализа погодности за одржавање, како би се одлучило, са техничке тачке гледишта, да ли је одређени технички систем могуће одржавати или не (треба успоставити правила везана за услове и рокове). Алтернативна решења за оправку морају се испитати, ако је то погодно. Где год је могуће, мора се применити анализа погодности за одржавање, која се бави следећим аспектима:

- Процена погодности за одржавање чије карактеристике одражавања захтева корисник (ограничено време за превентивно и корективно одржавање и сл.);
- Идентификација задатака одржавања на различитим нивоима у циљу дефинисања подршке одржавању за сваког погодног кандидата за LSA;
- Испитивање погодности за одржавање кроз модуларну конструкцију елемената техничког система, одговарајућу приступачност, начин уградње у посебним зонама (елемент система са најкраћим средњим временом рада између отказа не сме бити уграђен у технички система тако да није лако доступан и др.).

8.2.1.3.6. Анализа погодности за праћење стања (дијагностику) техничког система

Главни аспекти анализе погодности за праћење стања техничког система, који се морају узети у обзир, су следећи [45]:

- идентификација циљева постављених у вези погодности за одржавање, који се морају поштовати,
- идентификација свеукупне архитектуре и принципа дијагностике,
- идентификација и верификација дефинисаних захтева у вези погодности за дијагностику,
- оцена FMECA у вези информација о погодности за дијагностику,
- опис метода верификације отказа на нивоу система и елемената,
- опис захтева функционалних провера на свим нивоима одржавања,
- идентификација захтева повезаних логистичких ресурса (особља, софтвера за дијагностику).

Резултати добијени анализом погодности за дијагностику техничког система директно утичу на анализу погодности за одржавање. Корективно одржавање зависи од погодности за откривање узрока отказа који треба да буде отклоњен. Ако отказ не може бити идентификован кроз поступак дијагностике, одговарајући задатак оправке није могуће извршити. Поред ових аспеката, потребно је имати могућност за извршење провере функционалности техничког система након оправке. Дубина детекције отказа је један од најважнијих утицајних фактора на примењену концепцију одржавања.

Подаци који се односе на погодност техничког система за дијагностику морају се успоставити и ускладити са корисником, и морају бити документовани у логистичкој бази података или у посебним извештајима о погодности за дијагностику. Процедура имплементације захтева за погодност техничког система за дијагностику мора бити пажљиво дефинисана са обавезним дефинисањем и начина валидације погодности за дијагностику.

8.2.1.3.7. Анализа начина и ефекта отказа

Сваки кандидат LSA са извршеном „Анализом начина и ефекта отказа (FMEA)“, сматра се потпуним кандидатом за LSA.

Различите анализе погодности за одржавање и сигурности користе податке из FMEA или изведене из FMESA, на пример Анализа нивоа оправке, Одржавање на основу поузданости и Анализа превентивног одржавања. У циљу избегавања непотребних понављања послова, ове активности морају бити повезане и координисане са FMESA и FMEA у Плану и програму извршења LSA.

Резултати FMEA могу да буду одређене претпоставке за компензацију недостатка статистичких података о отказима који су иначе неопходни за квантитативне методологије. То се постиже првенствено систематском анализом отказа.

Методе FMEA се уклапају у захтев коришћења квалитативне методологије. Аналитичари врше моделирање функционалних отказа система који је предмет анализе. На основу техничке документације, експертског познавања система и на основу инжењерског мишљења моделирају се: сви вероватни начини отказа којим систем делимично или потпуно губи функцију, они откази који су се превенирали постојећим одржавањем, те они који су се десили на том или сличним системима.

Улазни подаци за извршење FMEA

Физичко рашчлањавање омогућује једноставну декомпозицију техничког система. За потребе FMEA, технички систем треба да буде рашчлањен најмање до нивоа заменљивих елемената. Одговарајућа дубина рашчлањивања техничког система може да варира сходно његовој структури. Даљи развој на поднивоу, може бити неопходан једино у случају када помаже да се окарактеришу начини отказа или одговарајући ефекти односно последице тих отказа. У супротном је оно

непотребно. Заменљиви елементи би требало да буду једноставни за идентификацију у овом рашчлањавању.

FMEA даје следеће информације [45]:

- листу елемената техничког система подложних отказима,
- одговарајуће вероватноће отказа,
- могуће начине отказа,
- вероватноћу појављивања наведених начина отказа,
- последице ових отказа везано за расположивост заменљивих елемената и њихов утицај на сигурност и свеобухватну расположивост,
- знаке отказа (на пример физичке симптоме, функционалне симптоме, резултате уграђених тестова).

FMEA може бити изведена као део анализе сигурности и поузданости техничког система за извршење одређене мисије.

Табеларни извештај FMEA, табела 8.1., пружа све битне информације у одговарајућој форми.

Табела 8.1. Заглавље табеларног извештаја FMEA у оквиру LSA [45]

Идентификација заменљивих елемената	Функција	Начини отказа	Узроци отказа	Ефекти отказа	Број датог начина отказа у јединици времена	Вероватноћа детекције отказа	Начини детекције	Рангирање вероватноће лоцирања отказа	Средства лоцирања отказа	Захтевана процедура за утврђивање отказа	Захтеви процедуре за утврђивање отказа	Захтевана опрема за испитивање

Кораци FMEA

FMEA се састоји од пет корака, као што је приказано на слици 8.4. Њена специфичност јесте стварање основе за квалитативно одређивање ризика отказа и матрице ризика, коју чине последице и интензитети отказа. У оквиру FMEA је уведено формирање матрице ризика отказа склопова и подсистема техничког

система, на основу последица отказа и квалитативног интензитета отказа. Последице отказа се такође квалитативно моделирају, узимајући у обзир њихову озбиљност. Последице отказа се одређују на основу познавања система и оперативног контекста, тако да је то још један начин на који се превазилази недостатак статистичких информација о отказима.



Слика 8.4. Кораџи FMEA

Одређивање функција система

У овом кораку најпре је потребно дефинисати оперативни контекст техничког система. Зависно од тога на какву се дубину анализе одлучи радни тим, технички систем који се анализира, може бити нпр.: основа борбеног возила, погонски агрегат, систем за управљања ватром борбеног возила, топ и сл. Очито да је тада то технички систем коме се одређују функције, па он може да буде и функционална јединица, која самостално извршава бар једну функцију. Важно је да се идентификују све функције у различитим режимима рада:

- Примарне функције, које су разлог због кога систем постоји;
- Секундарне функције, које су додатне и могу некад бити веома важне;

- Заштитне функције, које омогућавају да систем буде расположив на прихватљивом нивоу;
- Сигурносне функције, које се односе на заштиту самог система.

Одређивање функционалних отказа

Губитак било којег елемента функције система се квалификује као функционални отказ. Када се правилно дефинишу функције, онда је одређивање функционалног отказа једноставан задатак. Прави се разлика између потпуног отказа и делимичног - парцијалног отказа, пошто су последице сасвим другачије. Функционални откази могу бити у следећим облицима:

1. Немогућност обављања функције;
2. Обављање функције испод дозвољеног нивоа;
3. Обављање функције на прекомерном нивоу;
4. Повремено обављање функције у случају када је нужен континуитет;
5. Обављање функције на несигуран начин;
6. Немогућност контролисања функције локално или даљински.

Одређивање начина и узрока отказа

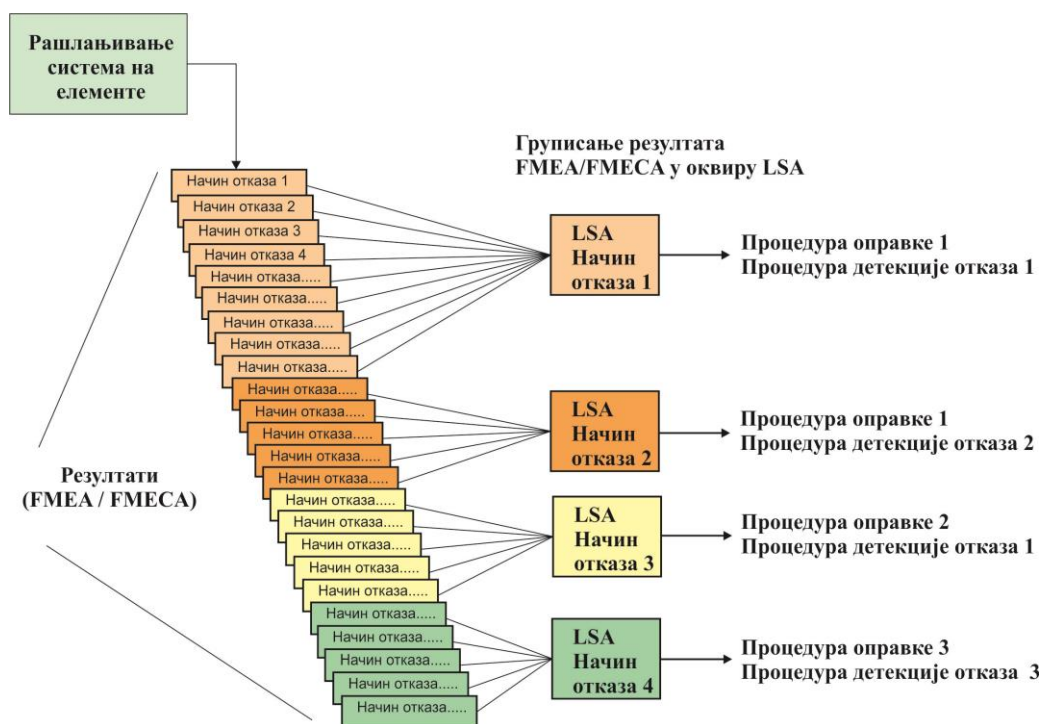
Начин отказа је дефинисан као догађај који проузрокује функционални отказ. Начине отказа треба идентификовати на нивоу узрока за које је могуће одредити одговарајућу активност одржавања. Потребно је дефинисати: све начине отказа који су се десили у прошлости на том или сличним системима, све начине отказа који се нису десили, али су логично могући у постојећем оперативном контексту и све оне који су спречени текућим превентивним одржавањем.

FMEA мора бити усаглашена, поред функционалног рашчлањења, и са физичким рашчлањивањем техничког система. Ово значи да елементи техничког система подложни отказима морају бити међу елементима физичког рашчлањавања.

Резултате FMEA треба груписати колико је то могуће како би ангажовање ресурса одржали на разумно ниском нивоу, слика 8.5. Критеријуми за груписање резултата FMEA и методе за документовање резултата треба да буду договорени на нивоу пројектант - произвођач - корисник. Груписање резултата FMEA треба да се изврши

за сваки отказ тако да води до исте активности одржавања или низа активности одржавања које морају бити извршене:

- на истом елементу система,
- на истом нивоу одржавања,
- од истог људства (звање, вештина),
- са захтевом за истом опремом и деловима (специјална пратећа опрема, резервни делови),
- са захтевом за исти софтвер.



Слика 8.5. Груписање начина отказа у оквиру LSA [45]

За потребе LSA, вероватноћа отказа мора бити утврђена за сваки начин отказа. Ако ни један аналитички метод није применљив, вероватноћа отказа може бити процењена на основу инжењерског искуства са сличним техничким системима приближне сложености, табела 8.2., који раде у сличном окружењу.

Осим што се мора обратити пажња на отказе проузроковане нормалним трошењем, хабањем или пропадањем, морају се дефинисати и откази проузроковани људском грешком, за шта информације се добијају из експлоатације техничког система.

Табела 8.2. Расподела учестаности начина отказа [45]

Начин отказа	Вероватноћа појављивања	Начин оправке
LSA начин отказа 1	0,10 (10 %)	Процедура 1 оправке Процедура 1 детекције отказа
LSA начин отказа 2	0,15 (15 %)	Процедура 1 оправке Процедура 2 детекције отказа
LSA начин отказа 3	0,50 (50 %)	Процедура 2 оправке Процедура 1 детекције отказа
LSA начин отказа 4	0,25 (25 %)	Процедура 2 оправке Процедура 3 детекције отказа

Табела 8.3. се може искористити за дефинисање захтева за додатном опремом за дијагностику ради повећања вероватноће детекције од неприхватљиве до прихватљиве вредности. С тога је употреба претходне табеле 8.2., у сврху захтева за додатним начином детекције отказа, повезана са анализом погодности дијагностике и анализом одржавања.

Табела 8.3. Вероватноће детекције отказа [45]

Ранг	Вероватноћа детекције	Опис	Детекција %
1.	Изузетно велика	Изузетно успешна за детекцију	изнад 80%
2.	Веома велика	Веома успешна за детекцију	од 60 до 80%
3.	Средња	Просечна успешност за детекцију	од 40 до 60%
4.	Умерена	Умерено мала успешност за детекцију	од 20 до 40%
5.	Мала	Мала успешност за детекцију	испод 20%

Посебна пажња мора бити посвећена анализи детекције отказа делова:

- чији су откази тешко уочљиви током употребе или редовног одржавања,
- чији откази могу да проузрокују катастрофалне ефекте (последике).

За ове елементе одговарајуће периодичне контроле и провере треба да буду имплементирани током превентивног одржавања и плана контроле.

За отказе са катастрофалним последицама ово може бити извршено као део анализе превентивног одржавања. FMEA и Анализе превентивног одржавања морају бити адекватно повезане како би се осигурала конзистентност дефиниција, комплетност свих врста отказа узетих у обзир, као и благовременост анализа.

Одређивање последица отказа

Последице отказа треба да опишу шта се може десити ако се не изврши специфична активност одржавања која ће предупредити или спречити отказ. Најпре се анализирају последице отказа на нивоу елемената односно на локалном нивоу. Они треба да дају све информације као што су: шта је то што омогућава евиденцију отказа или почетак његовог наступања, да ли постоји аларм, шта ће се десити у случају вишеструких отказа - ако се ради о скривеним отказима.

После тога се анализирају последице на нивоу склопа и подсистема. Оне треба да дају информације каква физичка штета настане на склопу и подсистему при отказу, затим шта може имати негативан ефекат на комплетан технички систем.

На крају се анализирају последице отказа, где се добију информације шта је то што може довести до повреде или смрти, да ли може доћи до негативних последица по околину.

Анализирајући критичност отказа [50], последице отказа се могу категорисати на различите начине, нпр. према критичности по безбедност људи, функционисање система, трошкове оправке и сл. Губитак људског живота и губитак техничког система су последице које се не могу толерисати, те се квалификују као катастрофалне. У табели 8.4. су дате последице отказа техничког система по категоријама и условима критичности.

- I - Катастрофалне последице
- II - Последице по безбедност људи и функционисање система
- III - Последице по функционисање система
- IV - Без последица по функционисање система

Такође се мора утврдити шта корисник техничког система може учинити да би се избегле последице отказа и за које време. На тај начин се проверава да ли су

претходне процедуре задовољавајуће или их треба мењати. То је место где искуство корисника мора доћи до изражаја у раду тима.

Табела 8.4. Категоризација последица отказа техничког система

Последице отказа	Услови критичности
I Катастрофалне последице	Отказ техничког система чија је последица губитак живота или тешке повреде људи и знатно оштећење система.
II Последице опасне по безбедност људи и функционисање система	Отказ који би могао проузроковати губитак функције техничког система или губитак функција појединих његових подсистема. Такође, последице оштећење система могу проузроковати повреде више људи.
III Последице по функционисање система	Било који отказ који деградира радне функције техничког система без већег оштећења или угрожавања живота људи и повреда. Лакше повреде људи којима је довољно указати прву помоћ.
IV Без последица по функционисање система	Било који отказ који не деградира радне карактеристике система и чија је последица занемарљиво оштећење система, при чему се не угрожава живот или не проузрокују повреде. Ове последице се свде на трошкове корективног одржавања.

Уједно, то је прилика да се технички систем још више упозна. Прилику добијају и одржаваоци система, јер се мора утврдити шта треба учинити да би се извршила оправка, ко то треба учинити и који су резервни делови потребни. Ово је потребно да би се упоредили трошкови корективног одржавања у односу на евентуалне превентивне активности одржавања. Са друге стране, то је потребно да би се створиле основе за израду технологије одржавања склопова и подсистема техничког система.

Квалитативно одређивање ризика отказа

Класична RCM методологија захтева FMEA која се завршава утврђивањем последица отказа. Последице се одређују на квалитативан начин. У оквиру методологије за избор концепције одржавања подсистема и склопова техничког система последњи корак FMEA ће бити проширен утврђивањем интензитета отказа у сврху формирања матрице ризика. Када се концепције одржавања бирају на основу ризика, дефинисаног као производ последица отказа и вероватноће отказа,

онда се говори о одржавању према ризику [51, 52]. Ако је та анализа квантитативна, онда се она претвара у FMECA. FMECA се често користи када се поседују потребни квантитативни подаци о вероватноћи отказа.

Интензитет отказа се одређује квалитативно у пет категорија [45]:

A - чест отказ (више од 10 пута годишње),

B - повремен (од 0.1 до 10 пута годишње),

C - редак (од 0.01 до 0.1 пута годишње),

D - мало вероватан (0.001 до 0.01 пута годишње)

E - екстремно мало вероватан (мање од 0.001 пута годишње)

Категорисање је прилагођено за квалитативан начин, али очито је да се ипак морају дефинисати груба бројчана ограничења међу категоријама. Као и у читавој анализи, категорисање се врши на основу експертске оцене.

Због једноставнијег и очигледнијег категорисања ризика отказа користи се матрица ризика, представљена табелом 8.5. У матрици ризика извршена је подела на области отказа: високог ризика, средњег ризика и малог ризика, што је појашњено легендом у табели 8.6.

Идеја је да се одреде откази са прихватљивим и неприхватљивим ризиком [53] и тиме смањи број начина отказа за који ће се вршити избор концепција одржавања. Ако су откази у региону малог ризика, онда је то прихватљив ризик, те се доноси одлука о томе да никакво превентивно одржавање није потребно предузимати већ према потреби, када наступи отказ примењиваће се корективно одржавање.

Неприхватљив ризик јесте код оних отказа који спадају у регион високог ризика. Због тога ће се за њих захтевати неизоставна промена конструкције, односно модернизација или одређена модификација техничког система. То је у складу са принципом да се одржавањем може постићи само инхерентна поузданост система и да се она не може побољшати, осим ако се не изврши модернизација или модификација [54].

Вероватноће отказа добијене из FMEA могу послужити за процену који узрок отказа или начин отказа је највероватнији да доведе до настајања отказа. Ово може бити корисно да се предложи одређени редослед најбитнијих провера и тестова које

треба применити као део процеса детекције отказа, као важан сегмент појединих концепција одржавања.

Табела 8.5. Матрица ризика отказа

	А	В	С	Д	Е
	Чест отказ	Повремен	Редак	Мало вероватан	Екстремно мало вероватан
I Катастрофалне последице	IA	IB	IC	ID	IE
II Последице опасне по сигурност људи и околину	IIA	IIB	IIC	IID	IIIE
III Последице по функционисање система	IIIA	IIIB	IIIC	IIID	IIIE
IV Без последица по функционисање система	IVIA	IVB	IVC	IVD	IVE

Табела 8.6. Легенда матрице ризика отказа

	Висок ризик - IA, IB, IC, ID, IIA, IIB, IIIA
	Средњи ризик - IE, IC, IID, IIB, IIC, IID, IVA
	Мали ризик - IIIE, IIIIE, IVB, IVC, IVD, IVE

8.2.1.3.8. Анализа превентивног одржавања

Идентификација превентивног одржавања је од великог значаја за рад сложеног техничког система у границама захтеване поузданости и расположивости при чему се и аспекти безбедности и економичности морају узети у разматрање. Општа је тенденција да се минимизира класично превентивно одржавање (замена делова по фиксном временском или експлоатационом ресурсу) и да се пређе на његов посебан облик - одржавање према стању. Међутим, искуство показује да се одређен део класичног превентивног одржавања не може избећи.

Анализа превентивног одржавања (АПО) је превасходно намењена надлежном логистичком особљу које врши анализу превентивног одржавања а резултати ове важне анализе се чувају у бази података LSA. У бази података LSA се поред резултата анализе која идентификује активности превентивног одржавања, документују и резултати анализа осталих задатака одржавања.

Метод за одређивање задатака превентивног одржавања заснива се на техници процене која се примењује на сваки део значајан за одржавање (нпр. технички систем, подсистем, склоп, елемент), користећи доступне техничке податке. У принципу, процене су базиране на функционалним отказима дела и одговарајућим узроцима отказа. Ревизија превентивног одржавања система врши се по потреби у зависности од сазнања која се стичу током употребе техничког система.

Све активности које се предузимају да се избегну откази се дефинишу као превентивне активности, као што су:

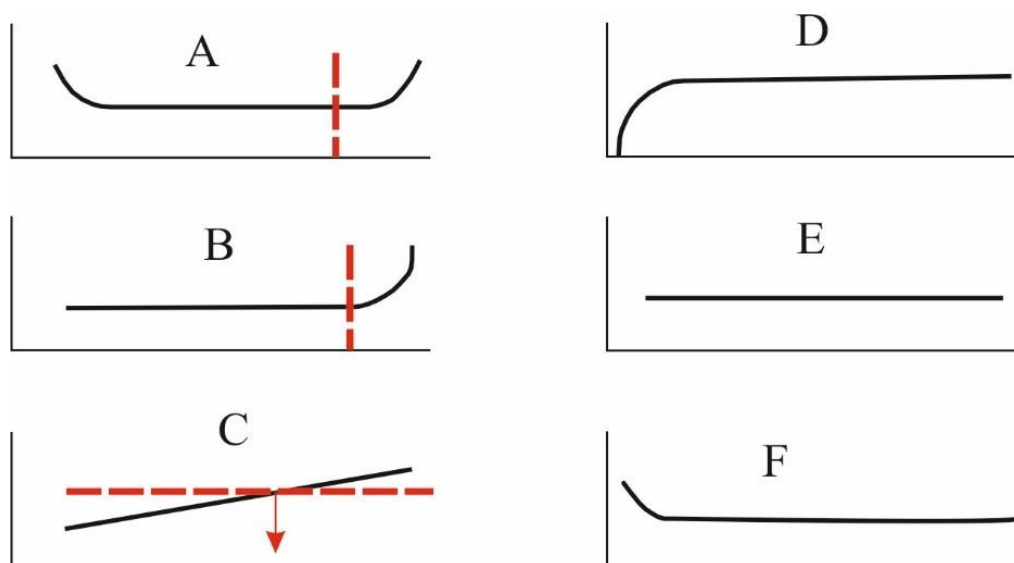
- Активности превентивног одржавања током којих се врши замена елемената након одређеног времена употребе (нпр. елементи са временским роком рада) или на други начин дефинисана ограничења (нпр. максимални број пређених километара код возила, максимални број мото часова рада);
- Плански прегледи након употребе изван прописаних интервала (тестови, провере или сличне активности које могу да укажу на критичан отказ);
- Активности које се предузимају после оштећења техничког система или неочекиваних догађаја у циљу утврђивања узрока отказа и дефинисања поступака за његово отклањање.

Критеријуми за избор кандидата за АПО и за LSA су различити. Безбедност, поузданост, расположивост и економичност углавном имају најважнију улогу при избору кандидата за АПО, при чему се могу узети у обзир и еколошки аспекти.

Превентивна оправка је планирана активност којом се обнавља функционална способност неког елемента или склопа, без обзира у каквом је тада стању, до нивоа који омогућује прихватљиву вероватноћу рада до краја следећег одређеног интервала.

Искуства из употребе RCM методологије говоре да се превентивна оправка треба бирати веома пажљиво, јер је она корисна само за одређене склопове комплексних система.

АПО треба вршити на начин описан у наредном тексту. За технички систем за који се интензитет отказа у времену мења по кривој F, слика 8.6., контрапродуктивно је превентивно одржавање, јер има повећан интензитет отказа са подручјем уграђених отказа у раном периоду коришћења, што значи и после ремонта.



Слика 8.6. Криве промене интензитета отказа у времену [2]

У том случају превентивно одржавање може да изазове и негативне ефекте, јер се у систем уноси повећана могућност отказивања због тзв. дечијих болести.

Планирана оправка техничког система или планирана замена елемената, склопова или подсистема техничког система се реализује само када постоји јасан доказ да је технички систем изложен трошењу, деградацији или пропадању.

За техничке системе чији се интензитети отказа понашају по кривима „D“ и „E“ превентивна концепција одржавања није сврсисходна, јер се не би у потпуности искористио ресурс замењеног елемента или склопа техничког система са једне стране и са друге стране ризикује се да нови елемент или склоп који се уграђује у технички систем није одговарајућег квалитета и самим тим може проузроковати отказ система, познат као појава „дечије болести“.

Зато је критеријум техничке изводљивости превентивног одржавања задовољен само ако се односи на интензитете отказа који се понашају по кривим „А“, „В“ и „С“. У том случају критеријум замене мора бити дефинисан на основу:

- параметара за преглед или надзор,
- толерисаног прага за замену.

За техничке системе чији се интензитети отказа понашају по кривој „С“ потребно је одредити тачку када се прелази толеришући ниво на „у“ оси, па се на начин приказан на слици добије временски или ресурсни лимит на „х“ оси.

Оставља се могућност даље анализе и у случају да се нађе технички изводљива и ефективна активност одржавања према стању или превентивног одржавања, ако је потребно да се дозволи селекција сервисних активности. Сматраће се да су оне саставни део активности превентивног одржавања и да се могу препоручити, најчешће у интервалима које произвођач предлаже, јер су поступци јефтинији, али нису ефективнији. Значи, за један начин отказа може се као превентивно одржавање одредити нпр. подмазивање, као и активности из домена концепције одржавања према стању као што су дијагностички прегледи ради праћења стања система.

За превентивно одржавање дефинишу се ограничења и интервали који могу бити једнократни и периодични, а што је неопходно документовати у бази LSA.

Активности превентивног одржавања, укључујући информације о ограничењима и интервалима, документују се за кандидате на које се односе у оквиру базе LSA. После извршене АПО не би требало да остане ни једна критични елемент система, чије детектовање отказа није могуће.

8.2.1.3.9. Анализа нивоа оправке

Анализа нивоа оправке (LORA) се врши ради дефинисања оптималног нивоа и вида одржавања за поједине елементе, подсклопове и склопове техничког система.

У оквиру LORA за сваки кандидат техничког система (елемент, подсклоп и склоп) се израђује програмска шема одржавања (нпр. где се кандидати демонтрају, замењују, оправљају или одбацују). Код доношења одлуке о оправци треба да се узму у обзир фактори, као што су процена поузданости, ограничење погодности за

одржавање и дијагностику, захтеви за расположивост система и др. Резултати анализе нивоа оправке утичу на задатке одржавања кроз захтеве за мерном опремом, особљем, резервним деловима итд.

LORA се одвија у две фазе [45]:

- Одређивање да ли анализирани замењени кандидат техничког система може да се оправи или да се одбаци након отказа (одлуку о оправци односно одбацивању кандидата треба да буде усаглашена са корисником система);
- Утврђивање оптималног нивоа и вида одржавања кандидата техничког система за захтеване задатке одржавања, такође позната као економична LORA (ELORA).

У раној фази развоја техничког система, аспекти LORA морају бити разматрани са циљем утицаја на конструкцију техничког система (нпр. модуларност, приступачност, могућност праћења стања и сл.).

Када је кандидат потенцијално оправљив, мора се донети одлука која од метода LORA ће се користити:

- Стручна оцена,
- Поједностављена LORA (засновану на скупу одређених информација и разматрању вредности),
- LORA базирана на математичким моделима или симулацијама.

Свака листа ставки техничког система (елемената, подсклопова и склопова) за кандидате LSA има велики број ставки које су потенцијални кандидати за ELORA.

За сваку ставку техничког система, морају се најпре разјаснити техничка питања као што су:

- Да ли пројектована ставка дозвољава оправку? Ако дозвољава, та ставка је потенцијални кандидат за ELORA;
- Да ли је ставка ограничена на одређени ниво и вид одржавања? У том случају, та ставка је потенцијални кандидат за ELORA. Ова анализа мора бити ограничена на дозвољени ниво оправке;
- Да ли се ставка одбацује након отказа? Ако се одбацује, онда се исто мора идентификовати и документовати.

Одређивање кандидата за LORA

Након хијерархијског рашлањивања техничког система, потребно је одредити који елементи, подсклопови и склопови система ће се узети у обзир за анализу нивоа оправке. Иако изгледа логично укључити све елементе, међутим, укључивање у анализу елемената који се не оправљају или потрошних елемената као што су навртке, вијци, заптивке, итд., неће допринети квалитетној анализи. Јединичне цене свих елемената су неопходне да би се извршила анализа.

Подаци о трошковима одржавања укључују време рада, обуку, резервне делове и потрошну робу, опрему за подршку, постројења, техничку документацију и трошкове везане за паковање, манипулацију, складиштење и транспорт. Имајући у виду ове податке потребно је да се разликују почетни и понављајући трошкови. Ови подаци морају бити коришћени код прорачуна трошкова за сваки могући ниво и вид одржавања.

Поред података о директним трошковима постоје и други подаци који су битни код прорачуна ELORA. Наредна листа даје преглед података које треба размотрити код ELORA:

- Информација о времену и трајању (информације у вези поузданости, интервал превентивног одржавања, учестаност задатака корективног одржавања, трајање активности одржавања, логистичко време застоја);
- Доступност (минимална доступност елемента који се анализира, доступност резервних делова у складишту, степен расположивости особља за активности одржавања);
- Релевантне вредности за складиште (време набавке, време испоруке);
- Опште информације (број и врста сервисних радионица добављача, број оперативних локација, број оперативних система по локацији, удаљеност између локација).

Извештај резултата LORA треба да садржи, као минимум, следеће:

- Сагласност између корисника, пројектанта и произвођача у вези LORA;
- Кратак опис система који је анализиран;
- Детаљан списак претпоставки и процена укључујући и њихово образложење;

- Извор података;
- Реализација математичког модела који се користи у ELORA;
- Употребљени софтверски пакет за ELORA;
- Резултати почетне анализе;
- Резултати и објашњења анализе осетљивости;
- Студије економичности;
- Консолидовање техничких и трошковних аспеката;
- Закључне препоруке решења одржавања укључујући и одбачена решења.

За добру следљивост, препоручљиво је да се користи стандардизован формат у извештају LORA за препоруку организационе варијанте система одржавања.

8.2.1.3.10. Анализа задатка одржавања

Анализа задатка одржавања (МТА) се извршава у току процеса LSA како би се идентификовали пре свега задаци корективног одржавања. После идентификације задатака одржавања, потребна је дубља анализа и дефинисање активности одржавања у оквиру сваког задатка одржавања.

Задатак одржавања мора да се анализира са различитих аспеката. Први корак је да се свеукупни задатак подели у одговарајуће радне кораке, односно подзадатке. Ову структуру је неопходно применити за комплексне и дуготрајне активности. Све што је потребно за извршење задатка одржавања мора бити идентификовано у оквиру МТА.

МТА има за циљ анализу у вези логистичких захтева. То углавном укључује информације о резервним деловима и потрошном материјалу, опреми за подршку, кадру, техничким могућностима и трајању задатка. Додатне информације као што су критичност задатка, локације извршења задатка, потреба за обуком као и безбедносне захтеве такође треба узети у обзир.

Откази, оштећења као и специјални догађаји су главни покретачи (иницијатори) активности одржавања, слика 8.7.



Слика 8.7. Корелације у оквиру Анализе задатка одржавања [45]

За јединствену идентификацију задатка, препоручује се употреба система кодирања. Имајући у виду да су техничка документација и LSA уско повезани, препоручује се употреба исте методе категоризације задатка у бази података LSA. Овај приступ побољшава следљивост и квалитет LSA.

Једно од најважнијих питања је који елемент, подсклоп и склоп техничког система има могућност оправке и ако има на којем нивоу одржавања. Ово има велики утицај на метод складиштења различитих резервних делова. Да би се појаснила терминологија, требало би разликовати неколико типова елемената:

- Неоправљив;
- Оправљив код произвођача;
- Оправљив на нивоу техничке радионице код корисника;
- Оправљив на локацији коришћења.

Неки откази узрокују расхоровање комплетног склопа или подсистема техничког система, док други откази се могу отклонити оправком склопа или подсистема техничког система. Сваки случај мора да се анализира да би се идентификовало које активности одржавања морају да се реализују и на ком нивоу одржавања да би

се отклонио отказ. Нпр., одређени проценат специфичних отказа се решава на нивоу одржавања самог корисника, а преостали део се реализује код произвођача техничког система, због ограниченог капацитета на нивоу одржавања корисника.

У пракси, могу се јављати различите ситуације које се тичу одржавања (специјални откази) и потребан је јасно дефинисан редослед појединих најповољнијих активности одржавања [45], табела 8.7.

Табела 8.7. Најповољније активности одржавања у зависности од типова елемената техничког система [45]

Догађај	Отклањање отказа	Следећи задатак	Напомена
Отказ неоправљивог елемента склопа	Оправка склопа заменом неисправног елемента на месту употребе.	Расходовање неисправног елемента	Неоправљив елемент је неопходан као резервни
Отказ оправљивог елемента склопа	Оправка склопа заменом неисправног елемента на месту употребе.	Оправка неисправног елемента на оперативној локацији	Склоп не чека завршетак ремонта елемента. Елемент је потребан као резервни део.
Отказ оправљивог елемента склопа	Оправка неисправног елемента на месту употребе.	Ниједан	Склоп чека до завршетка ремонта елемента. Елемент није потребан као резервни део, јер ће оправљен елемент бити поново инсталиран.
Отказ оправљивог елемента склопа. Елемент је оправљив на лицу места.	Оправка неисправног елемента на месту употребе.	Прослеђивање елемента на локацију корисника. Оправка неисправног елемента на локацији корисника.	Оправљив елемент је неопходан као резервни део на месту употребе.

Догађај	Отклањање отказа	Следећи задатак	Напомена
Отказ оправљивог елемента склопа. Елемент је оправљив код произвођача (на највишем нивоу одржавања).	Оправка склопа заменом неисправног елемента на месту употребе.	Прослеђивање неисправног елемента произвођачу.	Оправљив елемент је неопходан као резервни део на месту употребе.
Отказ склопа, оправљивог само на фабричком нивоу или код корисника.	Замена отказалог склопа на месту употребе.	Прослеђивање елемента и склопа произвођачу. Оправка елемента и склопа код произвођача или код корисника.	Елемент и склоп је потребан као резервни део на оперативној локацији.

Број следећих задатака на вишим нивоима одржавања не морају да се детаљно анализирају. Само идентификација тих могућих задатака може бити од значаја. У већини случајева, отказ склопа се отклања помоћу два различита типа задатака:

- замена комплетног склопа,
- оправка склопа заменом елемената (као следећи задатак).

Један важан корак за добијање структуре задатака је да се задаци поделе у две класе:

- задаци оправке и
- задаци подршке.

Свака активност одржавања је вођена неким догађајем. Овај догађај може бити отказ, оштећење, специјални (ванредни) догађај или истекли ресурс. Сви ови догађаји захтевају да активности одржавања буду успешно завршене. Сваки задатак који је у стању да реши један овакав догађај треба дефинисати као задатак оправке.

Типични задаци подршке су следећи [45]:

- Процедуре дијагностике;
- Процедуре приступа неисправном елементу система;
- Процедуре изградње и уградње;

- Процедуре расклапања и склапања;
- Процедуре манипулације техничким системом (подизање, вуча...);

После стварања базе задатака подршке, следећи корак је да се организују задаци одржавања, што значи они поступци који могу да послуже као "решење догађаја".

Пре свега, треба истаћи да је детаљан опис активности одржавања примарна ствар техничке документације. Из тог разлога, треба избегавати обављање два пута исте активности. Детаљан опис задатка у оквиру LSA није пожељан. Кратак опис радних корака се може дати, али формулација треба да буде кратка. LSA треба да идентификује активности одржавања и анализира идентификоване задатке. Техничка документација мора поштовати строга правила у погледу језика, формата и прегледа.

Значајна информација о активностима одржавања је учестаност анализираног задатка оправке. Учестале активности одржавања које ће се реализовати у року од годину дана су од значаја за планирање логистичких ресурса. Учесталост неких догађаја може се предвидети прилично добро, док други могу бити само процењени уз помоћ статистичких метода.

Откази техничког система се јављају после одређеног времена рада. MTBF је параметар који представља време рада техничког система између два отказа. Уз претпоставку константног MTBF током целог времена коришћења, предвиђена фреквенција задатка за оправку може се израчунати помоћу поједностављене формуле [45]:

$$TF_{rc} = \sum_{i=1}^k FMR_i \cdot \frac{AOR}{MTBF} \cdot \gamma_{corr} \cdot \gamma_{MB} \quad (8.1.)$$

За задатке подршке, њихова фреквенција се не може израчунати на исти начин као и за задатке оправке.

Откази система не могу се предвидети у случају кад узрок отказа није инхерентан, те с обзиром на учестаност задатка може бити само процењено време појаве отказа. Ако постоје било каква искуства у вези појаве оштећења или специјалних догађаја, нпр. уз помоћ статистичких истраживања, резултати се могу користити да би се дошло до информације колико често се ови непредвидиви догађаји дешавају и колико често ће одговарајуће корективне активности одржавања бити потребне.

Табела 8.8. Символи формуле за прорачун учестаности задатка оправке (8.1.)

Симбол	Објашњење
$TF_{\text{гес}}$	Учестаност задатка оправке (1/година)
AOR	Годишњи оперативни захтеви [радни сати/годишње] За систем који ради у континуитету, AOR је 8760 сати годишње. Мерна јединица AOR може бити и нпр. пређен пут или број циклуса.
MTBF	Средње време између отказа [радни сати]. Мерна јединица MTBF такође може бити и нпр. пређен пут или број циклуса.
FMR	Коефицијент начина отказа Отказ техничког система може бити дистрибуиран између неколико елемената. Сваки елемент може бити одговоран за отказ целог система са одређеним коефицијентом.
$\gamma_{\text{соп}}$	Корекциони фактор MTBF (у случају посебних услова на местима инсталације). Овај фактор корекције може се разликовати на свакој инсталираној локацији система. Посебно у случају сложене уградње система, овај корекциони фактор може бити од посебног значаја.
$\gamma_{\text{МВ}}$	Корелациони фактор за конверзију различитих мерних јединица AOR и MTBF (нпр. MTBF није дат у радним сатима, али је у случају возила у пређеним километрима).
i	Индекс за идентификацију FMR једног начина отказа у оквиру анализираног система.
k	Број различитих начина отказа

У случају превентивног одржавања, никакав додатни прорачун или процена није неопходна јер је интервал активности одржавања фиксиран одговарајућим АПО и састављањем одговарајућег пакета планских активности одржавања.

Потребни ресурси за извршење задатака одржавања треба да буду дефинисани у оквиру самог задатка. Генерално, требало би да буде могуће да се идентификује када ресурси треба да буду доступни у оквиру дела задатка. Поред тога, може бити од интереса за потребе обуке, које особље је релевантно за коришћење специјалне опреме за подршку. Додељивање ресурса треба да буде усклађено. Препоручује се

да се прате основни принципи да сваки ресурс треба да буде повезан са одговарајућом активношћу, када је ресурс заправо потребан. Ресурси су следећи:

- Резервни делови;
- Потрошни материјал;
- Опреме за подршку;
- Особље;
- Капацитети и
- Техничка документација.

8.2.1.3.11. Анализа потреба за обуком

У оквиру ове анализе, мора се одлучити да ли идентификовани задаци превентивног и корективног одржавања захтевају посебну обуку или не. Ако је обука потребна, мора се утврдити како се обука може најефикасније извести. Овај процес може бити подржан уз помоћ садржаја базе података LSA везане за идентификоване задатке одржавања.

Критеријуми захтева за обуку треба да буду договорени и усклађени између корисника и произвођача система. Препоручује се да се за анализу потребе за обуком успостави процес који има подршку информационих технологија. Резултат може бити прелиминарна одлука заснована на постојећим подацима који се односе на задатке одржавања у оквиру базе података LSA.

8.2.2. Кораци (алгоритам) за избор концепција одржавања

Након детаљно извршених претходно наведених анализа у оквиру LSA, долази се до неопходних података за даље разматрање и пролазак кроз поједине кораке (алгоритам) методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничког система. Као што је претходно напоменуто, LSA се врши током целог животног циклуса система тако да уколико се током фазе употребе техничког система добијени резултати анализа разликују од резултата који су били полазна основа за дефинисање концепције одржавања неопходно је преиспитати постојећу концепцију одржавања односно покренути поступак њене ревизије.

У приказаном алгоритму избора концепције одржавања, слика 8.1., прво питање на које треба дати одговор је „**1. Да ли отказ може проузроковати негативне последице по безбедност или прекид мисије?**“, део алгоритма број 1. слика 8.1.

Уколико је потврдан одговор на претходно питање, следеће питање на које треба дати одговор је „**4. Може ли корисник открити деградацију перформанси система за време његовог рада?**“, део алгоритма број 4. слика 8.1., односно да ли начин отказа може уочити корисник техничког система за време обављања редовне дужности (коришћења или превентивног одржавања техничког система), чиме се врши дистинкција отказа на видљиве (евидентне) и скривене отказе. Да би се функционални откази техничког система означили као евидентни, морају их уочити корисници система током обављања своје редовне дужности. Ништа друго не треба да се деси да би их корисници система уочили, осим онога што им је прописано као нормална дужност током употребе укључујући и активности из домена основног одржавања (дневни прегледи, опслуживање, периодични прегледи). У противном, отказ се класификује као скривени.

8.2.2.1. Откази са последицама по безбедност корисника и функционалности техничких система

Када су одговори позитивни на питања да ли отказ може имати последице по безбедност и функционалност техничког система и да ли корисник техничког система за време обављања редовне дужности може уочити отказ односно деградацију перформанси система, најпре се испитује могућност примене активности из домена одржавања према стању „**5. Одржавање према стању (Мора се размотрити потреба за дијагностиком)**“, део алгоритма број 5. слика 8.1.

Користе се следећи критеријуми за разматрање техничке изводљивости одржавања према стању:

1. Треба да постоји јасно дефинисан потенцијални отказ, што значи да је природа процеса старења или трошења потпуно јасна и мерљива;
2. Треба да постоји „P-F” интервал (интервал од тачке потенцијалног отказа до тренутка самог отказа), слика 4.3., који се може идентификовати;
3. Треба да буде физички могуће извести дијагностичку активност у интервалу мањем од „P-F” интервала;

4. Најкраћи интервал између откривања потенцијалног отказа и дешавања функционалног отказа („P-F” интервал минус интервал активност превентивног одржавања) треба бити довољно дуг за претходно дефинисану дијагностичку активност која се изводи за избегавање, елиминацију или минимизирање последица отказа.

Пошто се ради о отказу који може имати последице опасне по безбедност корисника и функционисање система, онда се поставља строга мера прихватљивости.

Што се тиче трошкова, пошто је у питању отказ са сигурносним последицама по безбедност и функционисање система, они се разматрају једино ако постоје два или више технички изводљивих дијагностичких поступака. У том случају се бира економичнија варијанта. Тек ако је дијагностичка активност технички изводљива и ефикасна, онда се она одређује као активност одржавања према стању.

Ако се утврди дужина „P-F” интервала, онда се може планирати нпр. два или више пута краћи интервал инспекцијског прегледа.

Сматра се да су сервисне активности саставни део активности превентивног одржавања и да се могу препоручити, најчешће у интервалима које произвођач предлаже, јер су поступци економични, али нису ефективни. Значи, за један начин отказа могу се одредити нпр. подмазивање, као активност превентивне концепције и дијагностичка инспекција, као активност концепције одржавања према стању.

Уколико корисник техничког система за време обављања редовне дужности не може уочити отказ односно деградацију перформанси система следећа могућност која се испитује јесте **„6. Може ли се деградација открити периодичним прегледом?”**, део алгоритма број 6. слика 8.1., након кога би се у зависности од стања система донела одлука о евентуалном предузимању даљих мера за одржавање што одговара концепцији одржавања према стању **„7. Одржавање према стању (Периодични прегледи)”**, део алгоритма број 7. слика 8.1.

Уколико се деградација перформанси не може открити периодичним прегледом поставља се питање **„8. Да ли поузданост деградира са временом или коришћењем?”**, део алгоритма број 8. слика 8.1. Уколико је одговор потврдан предлаже се концепција превентивног одржавања **„9. Превентивно одржавање**

(Замена по фиксном времену или експлоатационом ресурсу)“, део алгоритма број 9. слика 8.1., тако да је технички изводљива и ефективна било да је у питању активност превентивне оправке или превентивне замене. Према раније описаним карактеристикама отказа закључено је да концепција класичног превентивног одржавања није увек сврсисходна, а за неке отказе чак и контрапродуктивна те с тим увези мора се водити рачуна о карактеристици отказа односно кривој отказа, где је само за криве отказа „В“ и „С“ слика 8.6. сврсисходна превентивна оправка или замена.

Уколико поузданост система не деградира са временом или коришћењем система а отказ за последицу може имати безбедност људи и функционисање система, предлаже се као обавезна реконструкција или модернизација система „10. *Реконструкција или модернизација*“, део алгоритма број 10. слика 8.1.

Када је год то могуће, у литератури се препоручује да треба покушати постићи жељене перформансе система у његовој садашњој конфигурацији, примењујући одговарајуће одржавање пре него што се донесе одлука за модернизацију.

Ако дијагностика и превентивно одржавање заједно нису технички изводљиви и ефективни, онда је модернизација обавезна, јер се откази са сигурносним последицама не могу толерисати.

Када се изврши једнократна измена или реконструкција техничког система, мора се након тога опет извршити избор концепције одржавања за нове врсте отказа које ће имати реконструисани или модернизовани подсистеми. У овом случају морала би постојати технички изводљива и ефективна активност одржавања.

8.2.2.2. *Откази без последица по безбедност и функционисање техничког система*

Када је одговор негативан на питање да ли отказ има безбедносне последице и последице по функционисање система, поставља се питање „2. *Да ли би одржавање пре отказа било економичније?*“, део алгоритма број 2. слика 8.1. Уколико је одговор потврдан поступа се даље као и у претходном случају кад је био потврдан одговор на питање да ли отказ система има безбедносне последице и последице по функционисање система, тако да се најпре испитује могућност примене активности из домена одржавања према стању.

Трошкови дијагностичких активности које се очекују у неком процењеном преосталом радном веку система морају бити мањи од трошкова последица отказа. Потребно је упоредити трошкове активности одржавања у односу на трошкове који ће настати ако се ништа не предузима. Треба имати у виду да се не рачуна само трошак једне активности дијагностике и једног отказа, јер се не треба заборавити да се дијагностика некад изводи много пута док се не оствари "сусрет" са отказом. То се посебно односи на одржавање према стању, помоћу ког се тражи упозорење да ће се отказ десити. Због тога се говори о томе да се трошкови мере у упоредљивом периоду времена. На пример, ако се очекује да се отказ деси просечно једном у пет година, онда се трошкови дијагностичког прегледа разматрају за период од пет година.

Када је одговор негативан на питања да ли отказ може имати директан утицај на безбедност и функционисање система и да ли би одржавање пре отказа било економичније, онда се препоручује корективно одржавање у случају да се деси отказ - без икакве превенције „**3. Корективно одржавање (Оправка или замена након отказа)**“, део алгоритма број 3. слика 8.1.

Међутим, као што је претходно наведено у неким случајевима може постојати изузетак. Ако је превенција очигледно економичнија треба је изабрати. Због тога се као опција даје могућност избора неке од превентивних активности, део алгоритма са бројевима „**5. Одржавање према стању**“, „**7. Одржавање према стању (Периодични прегледи)**“ или „**9. Превентивно одржавање (Замена по фиксном времену или експлоатационом ресурсу)**“ слика 8.1., која је јефтинија од корективног одржавања, укључујући и као могућу опцију реконструкција или модернизација „**10. Реконструкција или модернизација**“, део алгоритма број 10. слика 8.1., уколико је економски оправдано. У противном потребно је извести корективно одржавање „**3. Корективно одржавање (Оправка или замена након отказа)**“, део алгоритма број 3. слика 8.1. То значи да се због немогућности изналажења технички изводљиве и ефективне активности одржавања прихвата ризик отказа.

За пример се могу узети сложени системи, код којих преовладавају електронски подсистеми и склопови, код којих због природе и начина отказа нема технички изводљиве и ефективне превентивне активности одржавања.

При избору корективног одржавања мора се размотрити проблем доступности резервних делова и брзине извођења активности из домена корективног одржавања. Са друге стране, треба се размотрити могућност реконструкције или модернизације. Ради се о системима за које се морају пронаћи квалификовани стручњаци за тај задатак и издвојити значајна финансијска средства, те се мора размотрити економичност реконструкције. Очито да ће се потреба за реконструкцију појавити код система који немају редунданцију.

Треба настојати избећи отказе, али све док је то економично и оправдано са становишта потребне оперативне способности. Према томе, граница прихватљивости се може поставити блаже у односу на случај отказа са безбедносним последицама. Директни и индиректни трошкови извођења активности одржавања треба да буду мањи од директних и индиректних трошкова самог отказа, ако се мере у упоредљивом периоду времена.

8.2.2.3. *Скривени откази*

Уз претпоставку да се откази појединих елемената и склопова техничког система не дешавају у исто време, вишеструки отказ је такав код ког се најпре десио скривени отказ, нпр. отказ заштитног елемента, па после тога отказ функције коју је тај елемент требало да заштити или да јој буде резерва. После тога мора се утврдити какве су придружене последице вишеструког отказа, тј. да ли појава скривеног отказа, у комбинацији са следећим отказом узрокује последице по безбедност људи или функционисање система или нема последица. Као и у претходним случајевима, најпре се испитује могућност примене превенције.

За многе облике заштитних уређаја на систему постоји технички изводљиво и ефективно одржавање према стању или превентивно одржавање.

Због тога се превенција, као могућност смањења вероватноће отказа мора размотрити пре детекције, која је установљавање да ли се отказ већ десио.

У случају скривеног отказа, где придружени вишеструки отказ нема последице по безбедност и функционисање система, директни и индиректни трошкови извођења активности одржавања треба да буду мањи од директних и индиректних трошкова вишеструког отказа, плус трошкови оправке скривеног отказа, ако се мере у упоредљивом периоду времена.

Ако нема технички изводљиве и ефективне предиктивне или превентивне активности одржавања, онда је то потенцијално алармантно стање и тад је битно да ли скривени отказ са придруженим последицама вишеструког отказа има штетан утицај по безбедност људи или функционисање система. Ако има, онда је то знак да је ултимативно потребна реконструкција односно модернизација, као би се смањила вероватноћа вишеструког отказа на прихватљив ниво. Ако нема и ако није могуће наћи одговарајућу активност одржавања која спада у превентиву, дају се две могућности: корективно одржавање или модернизација.

8.2.2.4. Редуција последица отказа

Из претходног текста, лако се може уочити да се код отказа са последицама по безбедност људи или функционисање система не дозвољава могућност отказа, па се корективно одржавање не предвиђа као могућност избора.

Када је прихваћен ризик отказа, не утиче се на смањење вероватноће отказа. Међутим, у том случају мора се провести израда процедуре за редуцију последица отказа. Под тим се подразумева правовремена оправка разрађеном технологијом и комплетом резервних делова.

Према томе, кад се каже корективно одржавање, онда се под тим подразумева оправка или замена разрађеном технологијом и кратким временом оправке.

Корективно одржавање је класична концепција која ће се бирати за већину система, код којих не постоји технички изводљиво и ефективно превентивно одржавање.

Раније је речено да се потребни елементи за корективно одржавање добију у оквиру МТА. Тада се утврђује ко треба вршити оправку и по којој процедури.

У овој методологији осим АПО, LORA, FMEA и МТА, не препоручује се дубља анализа за сваки начин отказа, као што је анализа стабла отказа (FTA). FTA је у стању да утврди начин пропагације отказа од нивоа елемента до системског отказа за веома комплексне структуре.

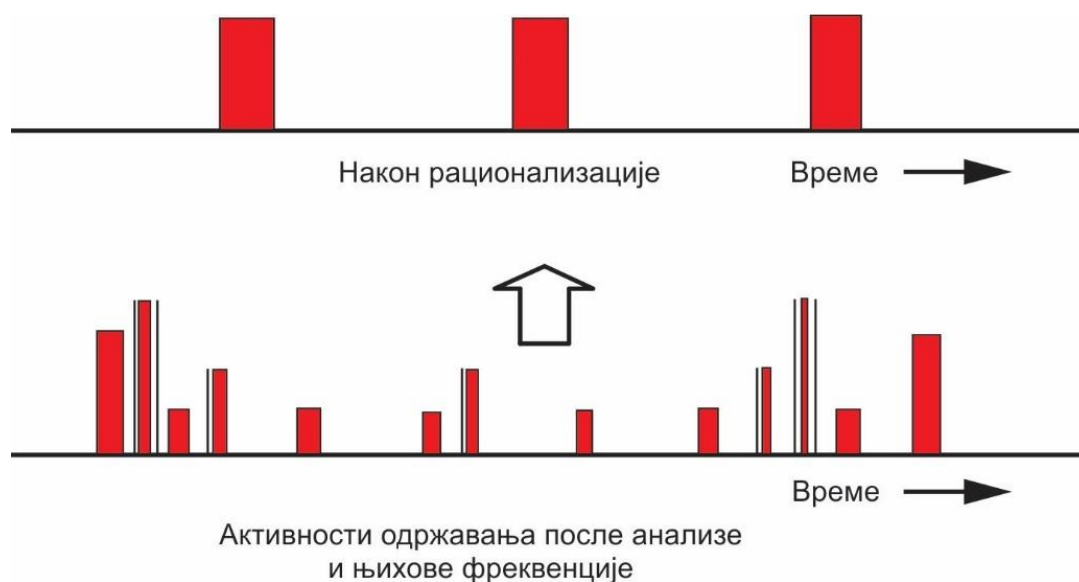
8.2.3. Рационализација интервала

Када се заврши избор концепција одржавања добије се скуп активности одржавања различитих интервала, које је са становишта ефикасности потребно груписати у одређене програмске шеме одржавања или уклопити у постојеће. Један од разлога

може бити тај да се активности изводе од стране различитих организационих јединица односно на различитим нивоима одржавања.

Ако се анализа одређивања интервала врши без размишљања о груписању активности и њиховом уклапању у програмске шеме одржавања, онда се рационализација треба урадити након анализе.

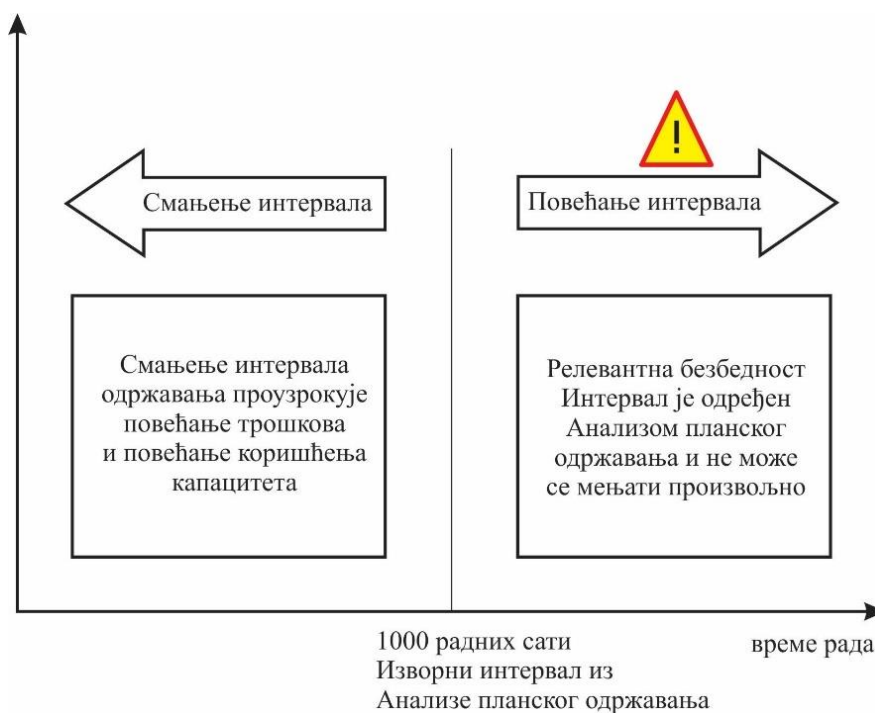
Таква ситуација је приказана на слици 8.8. На доњем делу слике је приказана временска оса на коју су нанесене активности одржавања. Интервали су почев од дневних па до вишегодишњих. Што је линија дебља то више активности спада у тај интервал. Након извршене рационализације ситуација је као на горњем делу слике. Одређеним активностима одржавања је скраћен интервал, а другим је продужен. Тиме је извршена рационализација активности у оквиру технолошке варијанте одржавања.



Слика 8.8. Рационализација интервала одржавања

Ако се некој активности одржавања, којој је одређен интервал, изврши скраћење интервала, добију се већи трошкови одржавања, слика 8.9. То је очито из разлога што се тада чешће врши активност одржавања. Ако се активности одржавања продужи интервал, онда се добију мањи трошкови, али повећава се ризик отказа. То значи да постоји опасност да се нпр. за превентивну активност одржавања пређе „P-F” интервал. Због тога се опет морају узети у обзир какве су последице начина отказа које те активности одржавања превенирају или избегавају. Такође, треба имати у виду да садржај планираног превентивног одржавања ће се састојати од

већег броја појединачних задатака, који неће морати да се изводе један за другим већ паралелно.



Слика 8.9. Усаглашавање интервала извођења превентивног одржавања

Ако имамо компликовани задатак монтаже техничког система ради приступа неким његовим елементима или склоповима у циљу прегледа и увида у његово стање, то може утицати на коначно усаглашавање интервала превентивног одржавања. У том случају, циљ може бити да се избегне понављање ове компликоване активности монтаже у различитим интервалима.

Неопходно је усагласити интервале извођења идентификованих задатака превентивног одржавања, што је изазов за инжењерско особље које се бави планирањем превентивног одржавања, јер се интервали извођења радова из домена превентивног одржавања, који су резултат АПО, не поклапају увек са планираним интервалима из Плана превентивног одржавања за сваког корисника техничког система понаособ.

Основни интервал одржавања треба одредити применом одређене методе вишекритеријумског одлучивања, при чему критеријуми код одлучивања могу бити расположивост техничког система, економичност одржавања и сл.

Приликом одређивања интервала пожељно је да се они одређују тако да се сваки следећи интервал добије мултиплицирањем основног. На пример, ако је основни интервал седмични, онда се он добро уклапа у календар по коме би следећи периоди били: полумесечни, месечни, квартални, полугодишњи, годишњи, четворогодишњи итд.

9. МЕТОДОЛОГИЈА ЗА РЕВИЗИЈУ ПОСТОЈЕЋЕ КОНЦЕПЦИЈЕ ОДРЖАВАЊА СКЛОПОВА И ПОДСИСТЕМА ПОГОНСКИХ АГРЕГАТА СПЕЦИЈАЛНИХ ВОЈНИХ ВОЗИЛА

Методологија за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система, описана у претходном поглављу 8., може да се примени код избора одговарајућих концепција одржавања склопова и подсистема техничких система који су планирани за увођење у оперативну употребу Војске Србије као и код техничких система који су већ у оперативној употреби а у циљу ревизије (оптимизације) њиховог одржавања у делу који се односи на избор одговарајућих концепција одржавања склопова и подсистема датог техничког система.

У овом поглављу, описане се методологија за ревизију постојеће концепције одржавања склопова и подсистема погонског агрегата специјалних војних возила.

Код ревизије постојеће концепције одржавања склопова и подсистема погонског агрегата специјалних војних возила није рационално анализу почети без коришћења искустава стечених спровођењем претходне концепције одржавања, која су од значаја за оптимизацију постојећег одржавања. Такође, уколико се стартује од анализе постојеће концепције одржавања као и документације на основу које је дефинисана дата концепција одржавања уштедело би се много времена јер се не би вршиле непотребне анализе, планиране да се реализују у оквиру LSA.

Главни циљ код ревизије постојеће концепције одржавања погонских агрегата је да се створе потребни услови да се примени методологија тј. њен алгоритам за избор одговарајућих концепција одржавања склопова и подсистема погонског агрегата чиме би се системски, поред раније превентивног и корективног одржавања, сада сагледале могућности и за примену других облика превентивног одржавања у односу на раније примењиване код одржавања погонских агрегата специјалних војних возила.

Што се тиче класичног превентивног одржавања у Копној војсци, оно је прилично заступљено. Обзиром да корективно одржавање није могуће планирати,

расположивост техничких система се нарушава, што представља велики проблем обзиром да су за техничке системе специјалне намене поузданост и расположивост од великог значаја.

Ревизијом постојеће концепције одржавања и избором концепција одржавања за поједине склопове и подсистеме погонског агрегата, применом развијене методологије, треба да се постигне одржавање захтеване поузданости и расположивости, уз могућност смањења и трошкова одржавања.

У сваком случају мора се анализирати да ли у постојећем одржавању погонског агрегата недостаје нека активност превентивног одржавања, због чега се касније могу десити неочекивани откази са евентуално сигурносним или системским последицама.

Овде се морају нагласити нека очекивања у примени методологије. За сваку активност одржавања анализира се техничка изводљивост и ефективност.

Не искључује се и избор корективног одржавања за начине отказа екстраховане из превентивног одржавања, јер се може утврдити да су неке активности одржавања раније одређене са погрешним претпоставкама. Код преузимања ризика при избору корективног одржавања мора се детаљно разрадити поступак задатка одржавања када дође до отказа, узимајући у обзир место коришћења погонског агрегата, потребан кадар за оправку, удаљеност складишта резервних делова и других потребних ресурса за оправку а у циљу одржавања потребног нивоа поузданости и расположивости погонског агрегата.

Конкретно говорећи, може се очекивати следеће:

1. Може се десити да није било предвиђено да се реализује превентивно одржавање за критичне елементе погонског агрегата односно слаба места а може се десити да је и било прекомерно примењивано превентивно одржавање. Значи, избором концепција одржавања ће се утврдити за које начине отказа је несврсисходно одржавање које се већ примењује. Превентивно одржавање треба спроводити само тамо где је утврђено трошење, старење или деградација карактеристика током рада система или времена.

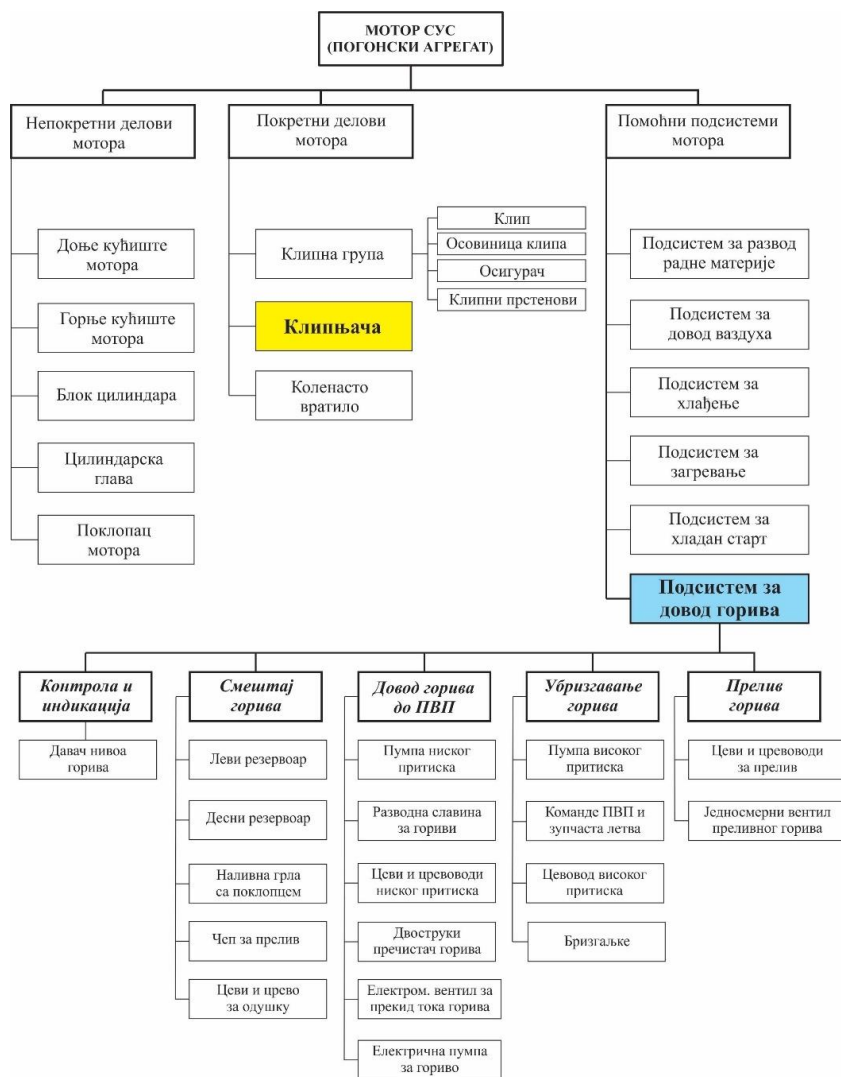
2. Превише одржавања може бити и ако се неке активности одржавања преклапају. Ако се утврди да се неке активности одржавања преклапају, треба сувишне елиминисати.
3. Може се утврдити да су неке активности превише често извођене. Треба продужити интервал у коме су се те активности изводиле, ако се за то утврде основе. Тамо где је то могуће, преласком на одржавање према стању, постиже се потпуно искоришћење ресурса употребљивости датог подсистема или склопа.
4. Може се утврдити где је било недовољно одржавања. Тиме се посебна пажња посвећује избегавању отказа са катастрофалним последицама и вишеструким отказима.
5. Током анализе отказа у посматраном периоду експлоатације, може се десити да се неки откази нису ни могли превенирати одређеним активностима одржавања те да је неопходно применити додатне активности како се не би исти понављали и тиме узроковали смањење поузданости и расположивости и других штетних последица по погонски агрегат.
6. Може се утврдити да ли су се дешавали откази погонског агрегата који су се могли превенирати.

Уочен је проблем да није системски решено прикупљање података о понашању техничких система Копнене војске током њихове експлоатације а самим тим и њихових отказа. Ово представља већи проблем код сагледавања могућности ревизије постојеће програмске шеме одржавања, те се из тих разлога и дефинисала управо квалитативна методологија која дефинише пре свега системски приступ и не зависи у већој мери од доступности статистичких података.

У наставку, показаће се примена методологије за ревизију постојеће концепције одржавања погонских агрегата специјалних војних возила за случај када су расположиви одређени статистички подаци о понашању система током експлоатације. Примена предметне методологије ће бити приказана и потврдиће се на примеру ревизије одржавања дванаестоцилиндричног четворотактног дизел погонског агрегата снаге 735 kW, слика 7.3., уграђеног у специјално војно возило

(тенк М-84А). Као што је у уводном делу речено, на избор погонског агрегата највише утицаја је имало то што се ради о техничком систему који игра кључну улогу по питању покретљивости специјалног војног возила, као једне од три кључне карактеристике возила, и по питању безбедности, јер отказом погонског агрегата на бојишту, посада и само возило постају лака мета за непријатеља. С тим у вези, потребно је посветити посебну пажњу избору адекватне концепције одржавања погонског агрегата, како би се током радног века одржала захтевана расположивост погонског агрегата.

Физичко рашчлањење предметног погонског агрегата (мотора СУС) и функционално рашчлањење његовог подсистема за довод горива је приказано на слици 9.1.



Слика 9.1. Физичко рашчлањење мотора СУС (погонског агрегата) специјалног војног возила и функционално рашчлањење подсистема за довод горива

Подаци о евидентираним отказима предметних погонских агрегата специјалних возила током осмогодишњег периода праћења, као и време и трошкови отклањања евидентираних отказа су дати у Прилогу 1.

На слици 9.2. су дати кораци методологије за ревизију постојеће концепције одржавања склопова и подсистема погонских агрегата специјалних војних возила.



Слика 9.2. Кораци методологије за ревизију постојеће концепције одржавања

Ако се анализирају предложени кораци методологије ревизије постојеће концепције одржавања, види се да се ради о системској анализи у сврху стварања претпоставки за оптимизацију постојећег одржавања применом методологије за избор концепције одржавања склопова и подсистема погонских агрегата специјалних војних возила.

9.1. Анализа понашања погонског агрегата током експлоатације

Код ревизије постојеће концепције одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, први корак који се предузима је анализа понашања погонског агрегата током његове експлоатације са акцентом на анализи евидентираних отказа. Врши се анализа поузданости система са становишта задовољавања пројектованих вредности.

Претходно се прикупљају подаци о утрошеном ресурсу до отказа (мото часови, пређени пут возила и др.), последице насталих отказа, време које је било неопходно за отклањање отказа, локација где се извршило отклањање отказа, стручни профил лица који су извршили отклањање отказа, трошкови настали током отклањања отказа и др. Уколико нису доступни подаци из експлоатације, први корак се прескаче обзиром да методологија није само квантитативна већ је и квалитативна и независи у великој мери од података о понашању датог система у експлоатацији.

9.1.1. Одређивање закона расподеле времена рада до отказа погонског агрегата

Након дефинисања расподеле времена рада до отказа погонског агрегата, којом се може представити законитост понашања погонског агрегата специјалног војног возила током експлоатације, са аспекта појаве неисправности, приступа се анализи до сада предузиманих активности одржавања на погонском агрегату у оквиру постојећих концепција и видова одржавања и по потреби ревизији истих у циљу оптимизације одржавања са аспекта обезбеђења потребне пре свега поузданости и расположивости погонског агрегата.

Подаци о времену рада предметних погонских агрегата до отказа, исказаног у мото часовима (мч), током осмогодишњег периода експлоатације су приказани у табели 9.1. Подаци су евидентирани само за погонске агрегате који су имали отказ. Приказана су 105 времена рада до отказа погонских агрегата, што је више него довољан статистички скуп у односу на оптимални план скраћених испитивања за оцену поузданости [55].

Табела 9.1. Време рада до отказа погонских агрегата специјалних војних возила

Редни број отказа	Време рада до отказа [мч]	Редни број отказа	Време рада до отказа [мч]	Редни број отказа	Време рада до отказа [мч]	Редни број отказа	Време рада до отказа [мч]	Редни број отказа	Време рада до отказа [мч]
1	135	22	345	43	392	64	448	85	523
2	166	23	355	44	397	65	448	86	523
3	221	24	355	45	400	66	449	87	526
4	221	25	360	46	404	67	459	88	526
5	229	26	360	47	404	68	464	89	532
6	248	27	363	48	406	69	466	90	536
7	251	28	367	49	406	70	473	91	546
8	260	29	371	50	407	71	473	92	561
9	263	30	372	51	409	72	474	93	561
10	272	31	379	52	415	73	474	94	569
11	294	32	379	53	415	74	480	95	572
12	294	33	380	54	415	75	480	96	572
13	307	34	382	55	415	76	486	97	581
14	317	35	382	56	416	77	488	98	581
15	317	36	382	57	419	78	495	99	586
16	320	37	384	58	436	79	496	100	605
17	320	38	391	59	436	80	496	101	605
18	322	39	391	60	438	81	498	102	609
19	331	40	391	61	444	82	498	103	615
20	332	41	391	62	447	83	498	104	634
21	345	42	391	63	447	84	521	105	643

Поступак за одређивање закона расподеле времена рада до отказа, на основу емпиријских података, реализован је у три корака. У првом кораку процењени су показатељи поузданости. У другом кораку, а на основу вредности добијених у првом кораку, одређене су теоријске расподеле за апроксимацију емпиријске расподеле, након чега је у трећем кораку утврђена потврда сагласности усвојене теоријске расподеле са емпиријском расподелом.

9.1.1.1. Процена показатеља поузданости

На основу података из табеле 9.1. одређује се закон расподеле функције поузданости.

Из табеле 9.1. види се да је:

- укупан број података (величина узорка): $n=105$,
- минимално време рада до отказа: $t_{\min}= 135$ мч,
- максимално време рада до отказа: $t_{\max}= 643$ мч.

Из података датих у табели 9.1. израчунавају се статистичке мере:

- средња вредност времена рада до отказа: $t_{sr}= 423,5619$ мч,
- стандардна девијација времена рада до отказа: $SD= 105,24$ мч,
- медијана времена рада до отказа: $mediana= 415$ мч,
- ранг (распон) времена рада до отказа: $rang= 508$ мч.

На основу израчунатих статистичких мера, израчунава се вредност коефицијента варијације:

$v=SD/ t_{sr} =0,25$. Како је израчуната вредност коефицијента варијације мања од усвојене ($v=0,5$), може се приступити обради података с циљем одређивања закона расподеле времена рада до отказа погонског агрегата [56].

Број интервала за времена рада до отказа одређује се према формули [56]:

$z=1+3,3 \cdot \log_{10}(n)$ и износи $z = 7,67$, тако да се усваја број интервала: $z = 8$.

Резултати груписања броја отказа, по интервалима времена рада до отказа, приказани су у табели 9.2.

Табела 9.2. Класификација отказа погонских агрегата по интервалима

Редни број интервала	i	1	2	3	4	5	6	7	8
Доња граница интервала	id	135	198.5	262	325.5	389	452.5	516	579.5
Горња граница интервала	ig	198.5	262	325.5	389	452.5	516	579.5	643
Средња вредност интервала	Svint	166.75	230.25	293.75	357.25	420.75	484.25	547.75	611.25
Број отказа у интервалу	ni	3	6	10	27	21	25	15	7

Процењене вредности поузданости су приказани у табели 9.3.

Табела 9.3. Процењене вредности индикатора поузданости

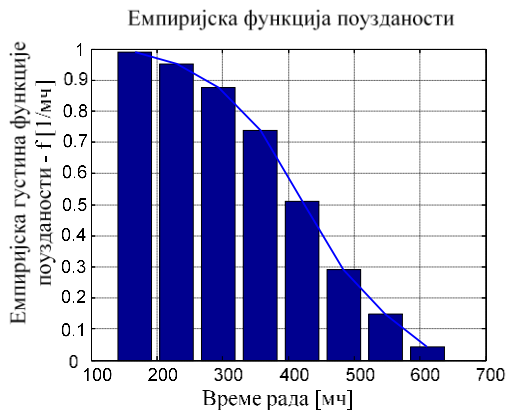
i	ni	Svint	Cnis	f	F	R	λ
1	2	166.75	1	0.000287	0.008772	0.991228	0.000289
2	6	230.25	4	0.00086	0.035088	0.964912	0.000891
3	10	293.75	9	0.001433	0.078947	0.921053	0.001556
4	19	357.25	18.5	0.002723	0.162281	0.837719	0.003251
5	29	420.75	33	0.004157	0.289474	0.710526	0.00585
6	17	484.25	41.5	0.002437	0.364035	0.635965	0.003831
7	13	547.75	48	0.001863	0.421053	0.578947	0.003218
8	9	611.25	52.5	0.00129	0.460526	0.539474	0.002391

Симболи коришћени у табели 9.3. имају следеће значење:

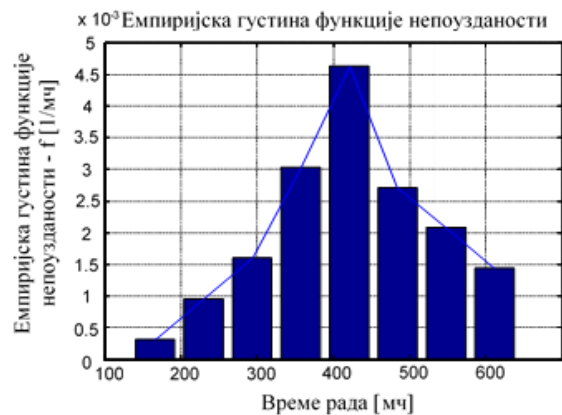
- **i** - редни број интервала,
- **ni** - број отказа у интервалу,
- **Svint** - средња вредност интервала (мч),
- **Cnis** - процењена вредност броја отказа у средини интервала (израчуната као аритметичка средина броја отказа на почетку и на крају интервала);

- $f [1/\text{мч}] = n_i/(n \cdot \Delta t)$ – емпиријска густина функције непоузданости, $n = 105$
величина узорка, $\Delta t = \text{rang}/z$,
- $F = c_{\text{nis}}/n$ - емпиријска функција непоузданости,
- $R = (n - c_{\text{nis}})/n = 1 - F$ - емпиријска функција поузданости,
- $\lambda [\text{мч}^{-1}] = f/R$ - интензитет отказа.

На сликама 9.3. и 9.4. дати су графички прикази процењених показатеља поузданости.



Слика 9.3. Графички приказ емпиријске вредности густине функције непоузданости



Слика 9.4. Графички приказ емпиријске вредности функције поузданости

9.1.1.2. Одређивање расподеле и параметара са оценом сагласности

Са циљем одређивања теоријске расподеле, која би могла да се користи за апроксимацију емпиријске расподеле, вршила се апроксимација емпиријске расподеле са теоријском Вејбуловом (Weibull), експоненцијалном, Рејлијеовом (Rayleigh) и нормалном расподелом. Оцена сагласности емпиријске и теоријске расподеле вршила се тестом Колмогоров-Смирнова, Пирсоновим тестом и тестом Романовског.

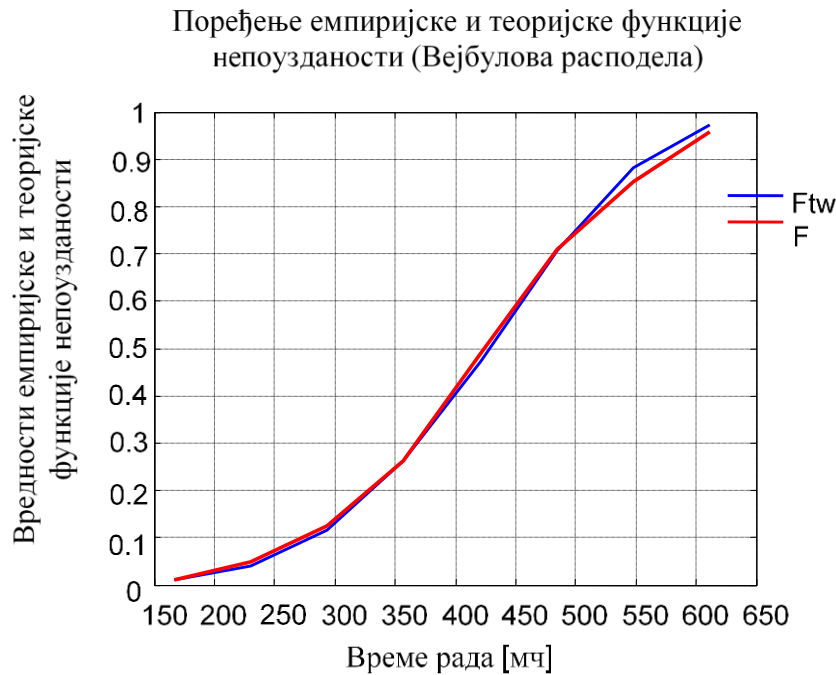
За статистичку обраду података коришћен је Statistics Toolbox for use with MATLAB [57].

Како су квантитативни показатељи одступања (D_n и χ^2) за два од укупно три примењена теста убедљиво најмањи за Вејбулову расподелу, слика 9.5., за расподелу функције поузданости погонског агрегата специјалног возила усвојена

је Вејбулова двопараметарска расподела са параметром размере $\eta_w = 463.6393$ и параметром облика $\beta_w = 4.5746$:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta_w}\right)^{\beta_w}} = e^{-\left(\frac{t}{463.6393}\right)^{4.5746}} \quad (9.1)$$

При израчунавању поузданости према наведеној теоријској расподели, променљива t се изражава у мото часовима [мч] рада.



Слика 9.5. Графички приказ одступања Вејбулове (крива плаве боје) апроксимативне расподеле од емпиријске расподеле (крива црвене боје)

9.1.2. Избор критичних подсистема погонског агрегата

У циљу идентификације подсистема погонског агрегата на којем ће се извршити ревизија постојећих концепција одржавања коришћен је Парето закон, како би даљу пажњу и ресурсе усмерили на побољшању ефикасности активности одржавања које се предузимају у оквиру концепција одржавања најкритичнијих подсистема погонског агрегата.

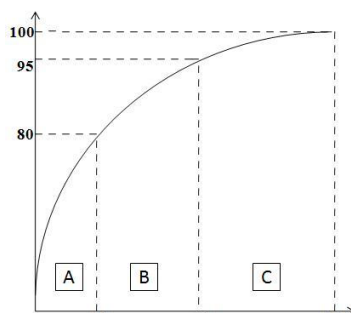
За даље разматрање могућности примене ревизије концепција одржавања погонског агрегата изабран је најкритичнији подсистем погонског агрегата специјалног војног возила - „Подсистем за довод горива“, са становишта броја отказа његових елемената и склопова у посматраном периоду, обзиром да од укупно 105 анализираних отказа погонског агрегата, 74 отказа (70 % од укупних

отказа) су се односила на отказ делова и склопова подсистема за довод горива, слика 9.6, што одговара Парето правилу $70/20/10^3$ [58].

Такође, акценат ће бити дат и анализи специјалног догађаја - отказ погонског агрегата (лом клипњаче) који је проузроковао највеће последице по погонски агрегат.

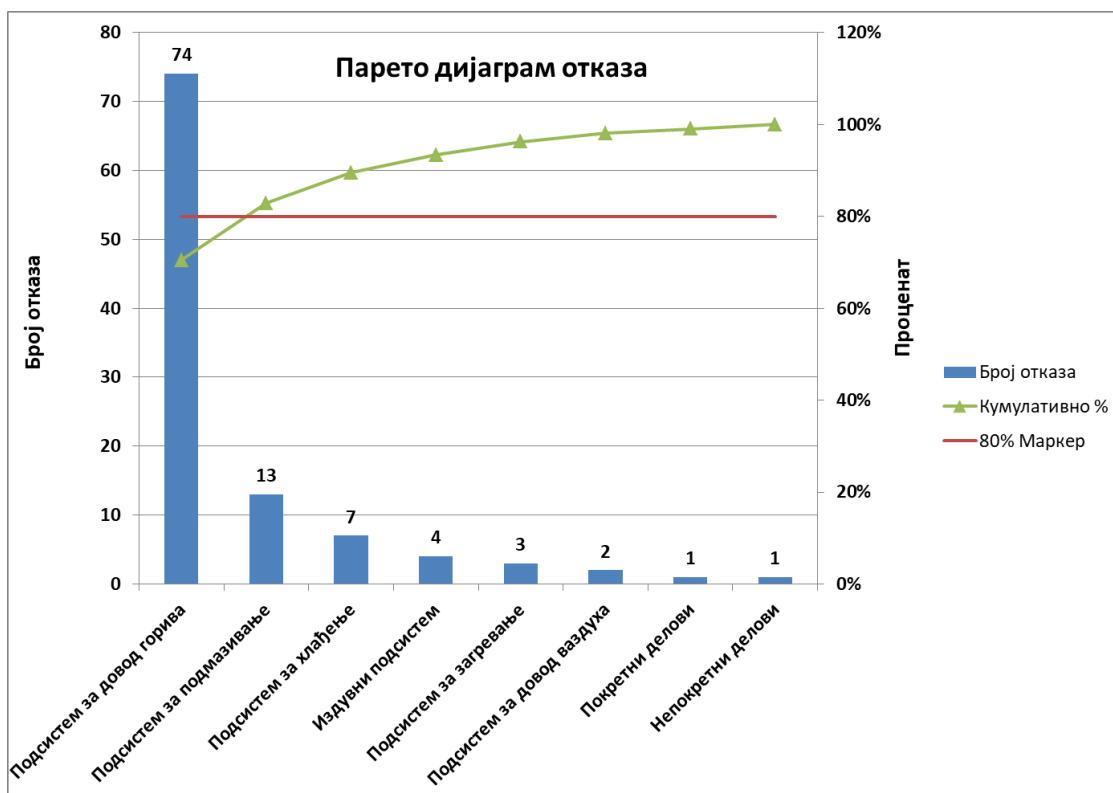
³ Парето закон се често представља помоћу дијаграма који је први пут примењен у области контроле квалитета, у сврхе разврставања проблема на неколико битних (којима би се посветила више времена и ресурса), и велики број мање битних (којима би се посветило мање времена). Тада је овај приступ назван Парето анализа а дијаграм Парето дијаграм. Парето анализа је једноставна графичка техника за рангирање података по њиховој заступљености у неком процесу. Заснован је на принципу који каже да само неколико елемената процеса има одлучујући утицај на одвијање процеса. Овим начином се графички сумирају подаци у циљу фокусирања пажње на главне разлоге појаве одређеног резултата и утврђивања односа између узрока и последице.

Парето анализа је позната и као ABC анализа где се области са најзначајнијим ставкама означавају редом словима А, В, и С. Да би се извршила анализа Парето методом потребно је обликовати кумулативну линију учешћа (утицаја), сабирањем величина процентуалног учешћа (утицаја) за сваки узрок или групу узрока скупа. Кумулативна дистрибуциона линија ("cum" линија) је додатна димензија Парето анализе и она показује кумулативну дистрибуцију догађаја у процентима (укупан проценат догађаја је 100%).



У пословној пракси су предлагане различите вредности за одређивање граница области А, В и С Парето дијаграма. Типичне граничне вредности су:

- $75/20/5$ правило, где је до 75% структуре утицајних елемената у области А (област А представља број узрока који утичу на 75% укупних проучаванх појава), 20% у области В и 5% у области С;
- $70/20/10$ правило;
- $80/15/5$ правило;
- $80/20$ правило.



Слика 9.6. Парето дијаграм отказа склопова и подсистема погонског агрегата (мотора СУС) у посматраном осмогодишњем периоду експлоатације

9.1.2.1. Подсистем за довод горива погонског агрегата (опис подсистема)

Подсистем за довод горива специјалног војног возила [49] је намењен за смештај, пречишћавање и довод потребне количине горива у цилиндре погонског агрегата. Подсистем обезбеђује и гориво потребно за рад подсистема за загревање погонског агрегата, подсистема за хладан старт мотора и подсистема за стварање димне завесе, као и прелив вишка горива из пумпе високог притиска (ПВП), бризгальки и подсистема за загревање мотора.

Подсистем за довод горива, састоји се од: резервоара за гориво, разводне славине за гориво, електричне пумпе за довод горива, пумпе ниског притиска, двоструког пречистача за гориво, пумпе високог притиска, бризгальки, једносмерног вентила за прелив горива, одушка, цеви, црева и прекидача електричне пумпе за гориво.

Пумпа ниског притиска служи да за време рада погонског агрегата континуирано доводи гориво из резервоара преко двоструког пречистача за гориво и електромагнетног вентила за прекид довода горива до пумпе високог притиска.

Причвршћена је на телу пумпе високог притиска за гориво. Пумпа је механичка, а погон добија од брегастог вратила пумпе високог притиска. Веза црева за довод горива и цеви за одвод горива из пумпе ниског притиска остварена је преко специјалних спојница.

Пумпа ниског притиска се састоји од претпречистача за гориво, пумпе за довод горива и ручне пумпе за гориво.

Пумпа високог притиска служи за: расподелу горива по цилиндрима мотора према редоследу њиховог рада, убризгавање одређене количине горива под високим притиском од 175+10 bar у цилиндре мотора зависно од режима рада мотора, одржавање жељеног броја обртаја коленастог вратила мотора, ограничавање максималног и минималног броја обртаја коленастог вратила мотора и за, према потреби, прекид довода горива у цилиндре мотора.

Склоп пумпе високог притиска се састоји од: пумпе високог притиска, регулатора броја обртаја и команде на пумпи високог притиска.

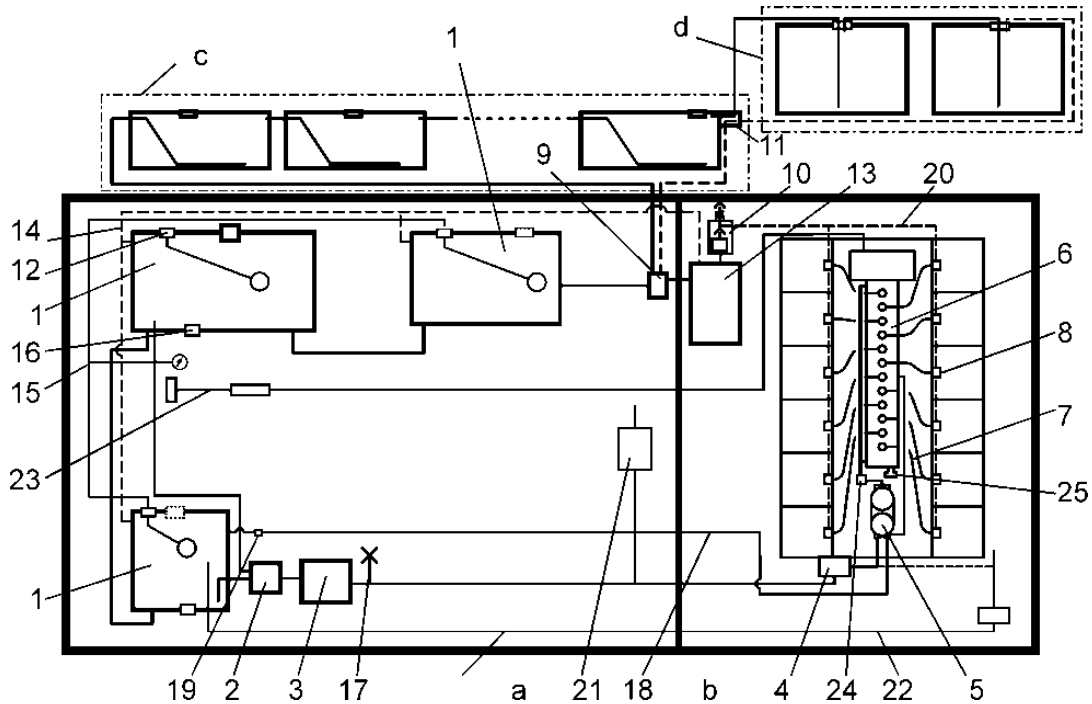
Бризгаљке служе за убризгавање горива у компресиони простор, под притиском од 165 до 175 + 10 bar, под одређеним углом у распршеном стању. Бризгаљке су игличасте, са 4 отвора ($\varnothing 0,35 \text{ mm}$) на распршивачу. Учвршћене су помоћу држача са горње стране главе мотора. Преко прикључка повезане су са цевима високог притиска, а преко прикључака са цевима за одвод вишка горива.

Бризгаљке се састоје од: тела, прикључка за довод горива, распршивача, међуплоче, осовинице и опруге.

На слици 9.7. приказана је блок шема подсистема за довод горива погонског агрегата специјалног војног возила која обухвата све елементе подсистема. Основни елементи подсистема за довод горива смештени су у управно и борбено одељење (а) и у погонско одељење (б), док су на спољашњост возила смештени спољашњи (с) и допунски резервоари (д), уколико постоје на возилу, слика 9.7.

Инсталација за довод горива повезује све резервоаре у јединствену целину и обезбеђује довод горива до цилиндара погонског агрегата. Састоји се од унутрашњих резервоара (1), разводне славине (2), помоћне пумпе (3), пумпе ниског притиска (4), пречистача (5), пумпе високог притиска (6), цеви високог притиска (7) и бризгаљки (8). Код возила која имају спољашње и помоћне резервоаре и они

су део инсталације за довод горива, са којом чине јединствену функционалну целину.



Слика 9.7. Шема подсистема за довод горива погонског агрегата

Спољашњи резервоари међусобно су везани серијски и са унутрашњим резервоарима повезани су преко посебне славине (9) која омогућава да се ови резервоари у случају потребе могу искључити. Славина такође обезбеђује повезивање последњег спољног резервоара са одушком (10) преко које се и остали резервоари повезују са атмосфером. Допунски резервоари (бачве) повезују се на инсталацију преко специјалног прикључка (11) на последњем спољном резервоару, такође у серију, тако да у том случају ваздух улази преко последње бачве у низу.

Инсталација за довод горива конструкцијски је изведена тако да се гориво троши по одређеном редоследу, најпре из помоћних резервоара, потом из спољних, а на крају из унутрашњих. То се обезбеђује на тај начин што је одушак свих резервоара јединствен и што се ваздух пропушта из једног у други резервоар тек пошто је гориво у њему потрошено. С друге стране, оваква конфигурација инсталације обезбеђује да у случају пробоја једног резервоара гориво не исцури из осталих. Унутрашњи резервоари могу да буду повезани на различите начине. Уколико их има више, једна могућност је да буду повезани у серију као и спољашњи, а да се гориво из једног резервоара преко разводне славине шаље у мотор, што је чест

случај код тенкова. Друга могућност је да два (или више) резервоара буде паралелно повезано на разводну славину, која има могућност избора резервоара из којег ће се гориво доводити у мотор. Начин повезивања резервоара одређује и начин њихове попуње. Код серијски повезаних резервоара попуња се обично врши преко наливног грла (12) у један унутрашњи резервоар, преко којег се пуне сви остали. Компензациони резервоар (13) обезбеђује компензацију температурног ширења и повезивање са јединственим одушком. Код паралелне везе унутрашњих резервоара сваки резервоар се посебно попуњава и инсталацијом одушка (14) везан је са атмосфером. Спољни резервоари по правилу се попуњавају сваки посебно преко наливних грла која се на њима налазе.

Контрола нивоа горива у резервоарима може да буде визуелна, преко контролне шипке која се поставља у наливно грло (код спољашњих резервоара) или преко електричних давача (15) са показивачима на инструмент табли возача. Уобичајено је да давачи буду повезани на један показивач на ком се помоћу прекидача бира резервоар чији ниво горива ће се показивати. Испуштање горива из спољних резервоара врши се преко наливних грла, скидањем резервоара, а из унутрашњих преко оточних вентила (16).

Помоћна пумпа за гориво која се изводи као електрична или ручна (код тенкова и једна и друга) има задатак да обезбеди довољан притисак на усису пумпе ниског притиска приликом стартовања погонског агрегата, испуштање ваздуха из подсистема за довод горива, као и за пражњење унутрашњих резервоара преко посебног прикључка (17), код тенкова.

Вишак горива из пумпе високог притиска не иде у инсталацију за повратак вишка горива, како је уобичајено, него преко посебног цевовода (18) и вентила (19) у управном одељењу иде у један од резервоара. На тај начин обезбеђује се да се, укључивањем помоћне пумпе и отварањем вентила, изврши испуштање ваздуха из инсталације за довод горива.

Инсталација за повратак вишка горива (20) обезбеђује да се вишак горива који се појављује у бризгачима, пумпи високог притиска и фином пречистачу враћа у један од резервоара.

Подсистем за довод горива грејача има посебну електричну пумпу (21) која се прикључује на инсталацију за довод горива пре пумпе ниског притиска.

Довод горива подсистема за маскирање (стварање димне завесе) може да се обезбеди на два начина. У првом случају инсталација је засебна (22) и обично се у сисна цев ставља на једну трећину висине последњег унутрашњег резервоара да, због велике потрошње горива подсистема за маскирање не би дошло до потрошње целокупног горива.

Пумпа има управљачки систем са ручном и ножном командом и механичким преносним механизмом (23). Ручном командом (тзв. „ручни гас“) подешава се број обртаја празног хода погонског агрегата, док се ножном командом (тзв. командом гаса) регулише количина убризганог горива, односно снага мотора.

Аутоматски прекид рада погонског агрегата у случају пожара у простору погонског агрегата може да се обезбеди на два начина. Један начин је да се обезбеди да преносни механизам управљачког подсистема пумпе високог притиска (23) има специјални механизам за заустављање рада погонског агрегата, а други да се у инсталацији за довод горива непосредно пре пумпе високог притиска постави електромагнетски вентил (24) за прекид напајања пумпе.

Што се тиче пумпе високог притиска вишегоривост се обезбеђује обезбеђивањем различитог хода зупчасте летве, преко граничника (25).

У посматраном осмогодишњем периоду експлоатације, структура отказа делова и склопова подсистема за довод горива погонских агрегата специјалних војних возила, који су уједно узроковали и отказ специјалног војног возила, је била према следећој табели:

Табела 9.4. Структура отказа елемената и склопова подсистема за довод горива

Подсистем за довод горива				
Назив елемената и склопова подсистема	Пумпа високог притиска	Бризгаљка	Пречистач горива	Вентил за испуштање ваздуха
Број отказа	9	59	2	4
Укупан број отказа	74			

9.1.2.2. Клипњача погонског агрегата специјалног војног возила (опис)

Клипњача је високооптерећени елемент погонског агрегата са унутрашњим сагоревањем који гасну силу са клипа преноси на коленасто вратило погонског агрегата. Због цикличне природе одвијања радног процеса у цилиндрима погонског агрегата са унутрашњим сагоревањем, сви покретни елементи погонског агрегата су изложени наизменично променљивим оптерећењима [59]. Позиција клипњаче у структури погонског агрегата је приказано на слици 9.8.



Слика 9.8. Шема приказа позиције клипњаче у структури погонског агрегата

Тело клипњаче доминантно је оптерећено на притисак дејством гасних сила и на истезање, услед инерцијалних сила. Максимална гасна сила јавља се у такту експанзије, док инерцијална сила своју максималну вредност достиже у такту издувавања. Ове силе генеришу у пресецима тела клипњаче максимални и минимални нормални напон.

Клипњаче као и други машински делови који су изложени променљивом оптерећењу, приликом пројектовања димензионишу се тако да задовоље трајну динамичку чврстоћу. На величину динамичке чврстоће или чврстоће на замор материјала утиче више параметара, али у конкретном случају од пресудног значаја је стање површине тела клипњаче (храпавост) и материјал.

Клипњача погонског агрегата специјалног возила, чији лом ће се анализирати, израђена је од висококвалитетног легираног челика, ознаке 18Н2Н4МА. Овај материјал поседује изузетне механичке особине које не деградирају на повишеним

температурама, али је веома осетљив на концентрацију напона [60]. Због тога је конструкционом документацијом дефинисано да се комплетна површина клипњаче полира. Обрада површине клипњача полирањем, примењује се и у циљу подизања динамичке чврстоће, без кориговања димензија, код повећања снаге погонског агрегата.

9.2. Идентификација досадашњих активности одржавања погонског агрегата специјалног војног возила

Свака прописана активност одржавања погонског агрегата је детаљно анализирана, узимајући у обзир њен интервал извођења, степен стручне спреме њених извршиоца, потребна опрема и алат за њено извођење као и други услови који су неопходни за њено адекватно извршење, посебно са аспекта евидентираних отказа и проблема у функционисању предметних погонских агрегата у експлоатацији.

Такође, извршена је анализа остале техничке документације погонског агрегата која се односи на одржавање, мислећи пре свега на документацију у којој су садржани резултати извршене анализе логистичке подршке на бази које је дефинисана постојећа концепција одржавања, како би се избегло дуплирање анализа код ревизије и више пажње посветило анализама у оквиру LSA за које се установи да су корисне у смислу оптимизације програмске шеме одржавања у делу који се односи на одговарајућу концепцију одржавања.

Обзиром да предметни погонски агрегати имају дефинисан технолошки пројекат одржавања а самим тим поседују и одговарајућу техничку сервисну документацију, из поменуте документације сагледана је комплексност технологије одржавања, време потребно за реализацију исте, степен захтеване стручне спреме извршиоца сервиса као и потребан алат и остала опрема за реализацију сервиса. Такође, садржај превентивног одржавања (основно одржавање и техничко одржавање) је детаљно описано у техничким упутствима предметног погонског агрегата на оперативној употреби у Војсци.

Приликом идентификације активности одржавања дефинисаних у оквиру постојеће концепције превентивног одржавања погонског агрегата специјалног војног возила, посебан акценат је дат на анализи активности одржавања које су се

односиле на одржавање подсистема за довод горива погонског агрегата, поглавље 9.1.2.1. и табела 9.4.

Техничком документацијом за одржавање предметних погонских агрегата подела концепција одржавања је извршена само на превентивно и корективно одржавање. Превентивно одржавање погонског агрегата специјалних војних возила, прописано одговарајућом техничком документацијом, се састоји од основног одржавања (преглед пре употребе, у току и после употребе), периодичног прегледа (који се изводи најмање 2 пута у току месеца), I Техничког прегледа (после пређених 1.600-1.800 километара или 160-180 мото часова рада) и II Техничког прегледа (после пређених 3.300-3.500 километара или 330-350 мото часова рада) [49]. Основно одржавање реализује посада возила уз надзор претпостављеног старешине. Техничке прегледе врши стручно људство из техничке радионице Војске Србије уз учешће чланова посаде возила, који првенствено изводе радове на прању, подмазивању и чишћењу, као и друге радове које им повери стручни орган, који врши надзор и преглед извршних радова.

За предметне погонске агрегате специјалних војних возила освојена је технологија генералног ремонта па самим тим поседује се и одговарајућа техничка ремонтна документација. Увидом у исту могуће је сагледати комплексност технологије извођења генералног ремонта. Предвиђено је да се генерални ремонт погонског агрегата врши након 500 мч рада погонског агрегата.

Током анализе садржаја активности превентивног одржавања дефинисаних техничким упутствима закључено је да нису предвиђене активности на превентивном одржавању склопова и елемената подсистема за довод горива погонског агрегата специјалног возила, који су у посматраном периоду експлоатације имали већи број отказа према табели датој у Прилогу 1. Активности које су дефинисане у оквиру превентивног одржавања подсистема за довод горива су провере исправности заптивача и затегнутости чепова грла за наливање на резервоарима за гориво, дренаже горива на предњем левом резервоару, испуштање талога из резервоара, прање отвора вентила са пловком подсистема за довод горива и прање грубог пречистача горива.

Такође, превентивно одржавање покретних делова погонског агрегата није предвиђено а самим тим и клипњаче до генералног ремонта који се реализује након 500 мч рада погонског агрегата. Управо је замена клипњаче током генералног ремонта погонског агрегата, без претходног испитивања криве интензитета отказа клипњаче и самим тим утврђивања оправданости њене превентивне замене, имала за последицу лом клипњаче и хаварију погонског агрегата, непосредно по реализацији генералног ремонта.

Локализација грешака у раду погонског агрегата није олакшана уградњом одређеног дијагностичког система за надзор исправног рада подсистема за довод горива као ни самог погонског агрегата.

9.3. Примена методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема погонског агрегата специјалног војног возила

Следећи корак у методологији ревизије постојеће концепције одржавања је примена алгорита методологије за избор одговарајућих концепција одржавања склопова и подсистема погонског агрегата специјалног војног возила, која почиње са извршењем анализа или ревизијом анализа у оквиру LSA.

Акценат је дат на извршење оних анализа чији резултати утичу на доношење квалитетне одлуке о избору концепција одржавања склопова и подсистема погонског агрегата, као што су: Анализа поузданости, FMEA, Анализа конфигурације, Анализа погодности одржавања, Анализа погодности за праћење стања (дијагностику) техничког система, АПО и МТА.

У оквиру потпоглавља 9.1. „Анализа понашања погонског агрегата током експлоатације“ извршена је анализа параметара поузданости и одређивање закона расподеле рада погонског агрегата до отказа, тако да се иста неће понављати.

9.3.1. Анализа начина, последица и ризика отказа (FMEA и FMESA)

Најпре се врши екстракција начина отказа из претходно прописаних активности одржавања. То је у ствари, идентификација начина отказа на које се односе

наведене активности одржавања што у ствари представља поступак реверзне FMEA.

Потом се врши провера да ли постоји неки начин отказа који није узет у обзир досадашњим активностима одржавања, што је и најважније за овај корак, као и да ли постоје активности одржавања које су се предузимале а нису дале одговарајуће резултате.

У овом кораку се постојећим и ново откривеним начинима отказа врши оцена последица и ризика отказа. Последице отказа се одређују на исти начин као и у класичној FMEA и FMESA. Најпре се анализирају последице отказа на нивоу елемената погонског агрегата. После тога се анализирају ефекти отказа на следећем вишем нивоу тј. на нивоу погонског агрегата и на крају се анализирају крајњи ефекти отказа за цели сложени технички систем односно у конкретном случају – специјално војно возило.

FMEA, као што је обрађено у поглављу 8.2.1.3.7., је алат који истражује потенцијалне отказе система или процеса и помаже да се утврде одређене активности из домена одржавања како би се избегле идентификоване последице отказа, а уједно помаже у идентификацији начина стварања функционалног отказа.

У табели 9.8. представљена је FMEA за најкритичнији подсистем за довод горива погонског агрегата. Извршена је анализа последица отказа на нивоу елемената погонског агрегата, па на нивоу погонског агрегата и на крају извршена је анализа крајњег ефекта отказа на целокупну мисију специјалног војног возила, са становишта да ли се ради о отказима опасним по безбедност људи, отказима са последицама по функционисање система или отказима без последица по безбедност лица и функционисање система.

Извршена анализа ризика отказа треба да послужи код рангирања појединих елемената и склопова подсистема за довод горива у вези приоритетизације рада на њиховом одржавању, побољшању поузданости, расположивости, економичности одржавања и др.

У циљу категоризације ризика отказа појединих елемената и склопова погонског агрегата, последице отказа у вези безбедности узете су са тежинским фактором од 30 %, последице у вези расположивости 40% и последице везане за трошкове 30%.

Извршена је категоризација ризика отказа у 4 категорије I, II, III и IV у зависности од индекса критичности, као што је приказано у табели 9.5.

Табела 9.5. Категоризација ризика отказа

Група	Индекс ризика
I	3-2.5
II	2.5-2
III	2-1.5
IV	1.5-1

Због једноставнијег и очигледнијег категорисања ризика отказа користи се матрица ризика, представљена табелом 9.6. У матрици ризика извршена је подела на три области отказа: високог ризика, средњег ризика и малог ризика, што је појашњено легендом у табели 9.7.

Табела 9.6. Матрица ризика отказа склопова и подсистема погонског агрегата

	A	B	C	D	E
	Чест отказ	Повремен	Редок	Мало вероватан	Екстремно мало вероватан
I Катастрофалне последице	IA	IB	IC	ID	<u>IE</u>
II Последице опасне по сигурност људи и система	IIA	IIB	IIC	<u>IID</u>	<u>IIIE</u>
III Последице по функционисање система	<u>IIIA</u>	<u>IIIB</u>	<u>IIIC</u>	IIID	<u>IIIE</u>
IV Без последица по функционисање система	IVA	IVB	IVC	IVD	IVE

Табела 9.7. Легенда матрице ризика отказа погонског агрегата

	Висок ризик - IA, IB, IC, ID, IIA, IIB, IIIA
	Средњи ризик - IE, IIC, IID, IIIB, IIIC, IIID, IVA
	Мали ризик - IIIE, IIIE, IVB, IVC, IVD, IVE

У табели 9.8. су дати показатељи којој групи ризика припадају поједини делови и склопови поменутог подсистема погонског агрегата а у табели 9.9. којој групи ризика припада отказ клипњаче.

У овом кораку се постиже кључна активност припреме методологије за одређивање концепција одржавања на основу последица отказа, а не због одржавања техничког система самог по себи. Другим речима циљ је да се управља отказима а не да откази управљају одржавањем.

Учестаност отказа се одређује квалитативно у пет категорија учестаности:

А - чест отказ (више од 10 пута годишње),

В - повремен (1 до 10 пута годишње),

С - редак (0.01 до 1 пута годишње),

Д - мало вероватан (0.001 до 0.01 пута годишње)

Е - екстремно мало вероватан (мање од 0.001 пута годишње)

Табела 9.8. FMEA за подсистем за довод горива погонског агрегата

Елементи и склопови подсистема за довод горива погонског агрегата	Начин и ефекат отказа	Узрок отказа	Група ризика
Пумпа високог притиска са командама	Погонски агрегат не развија пуну снагу	Елементи пумпе не раде (Истрошени похабани елементи је једини узрок отказа)	IIIВ
		Регулатор броја обртаја не ради исправно (Истрошен регулатор или је дошло до пуцања опруге регулатора).	
		Нарушена подешеност команде пумпе високог притиска (Полуга гаса је добила зазор).	
		Није добро подешен угао убризгавања горива (Раздешеност пломбе)	
	Погонски агрегат добија и сувише велике обртаје (може се распасти)	Заглављивање назубљене летве пумпе високог притиска (мотор развија број обртаја већи од максимално дозвољеног)	IIIД

Елементи и склопови подсистема за довод горива погонског агрегата	Начин и ефекат отказа	Узрок отказа	Група ризика
Бризгаљке	Погонски агрегат не развија пуну снагу. Погонски агрегат дими и не развија пуну снагу. Чују се удари у погонском агрегату.	Неисправне бризгаљке (неконтролисано истицање горива кроз распршивач, заглављују се или не затвара добро игла распршивача, лом повратне опруге и сл.)	IIIА
Пумпа ниског притиска	Погонски агрегат не стартује или стартује али после првих обртаја се зауставља.	Пумпа ниског притиска за гориво не доводи гориво до пумпе високог притиска	IIIЕ
Пречистачи горива	Погонски агрегат не може да стартује	Запрљани пречистачи за гориво или затворене цеви (у зимском периоду могуће да се створе ледени чепови).	IIIС
Цевоводи горива и склопови система за довод горива	Чују се удари у погонском агрегату. Погонски агрегат не може да стартује. Погонски агрегат се стартује али после првих обртаја се зауставља.	Доспео ваздух у подсистем за довод горива.	IIIС

Табела 9.9. FMEA отказа клипњаче погонског агрегата

Елемент погонског агрегата	Начин и ефекат отказа	Узрок отказа	Група ризика
Клипњача	Хаварија погонског агрегата	Лом клипњаче	IE

Категорисање је прилагођено за квалитативан начин, али очито је да се ипак морају дефинисати груба бројчана ограничења међу категоријама. Као и у читавој анализи, категорисање се врши на основу експертске оцене.

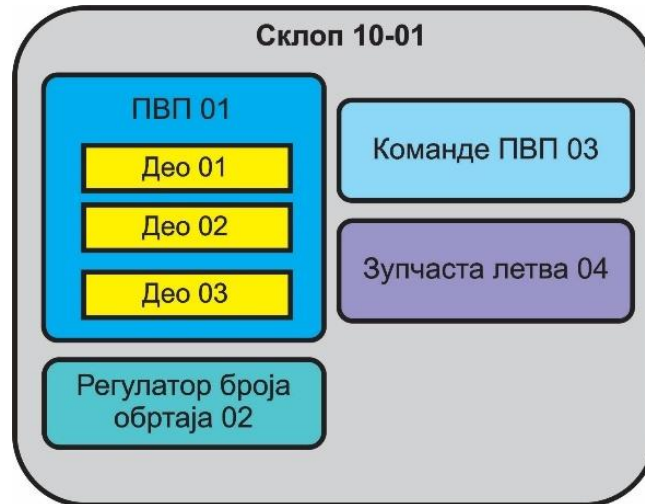
Идеја је да се одреде потенцијални откази са прихватљивим и неприхватљивим ризиком и тиме смањи број начина отказа за који ће се вршити избор концепција одржавања. Ако су откази у региону малог ризика, онда је то прихватљив ризик, те се доноси одлука о томе да никакво превентивно одржавање не треба планирати - значи према потреби, када наступи отказ примењиваће се корективно одржавање.

9.3.2. Анализа задатка одржавања (МТА)

За предметни погонски агрегат је освојен генерални ремонт, тако да је за сваки елемент, подсклоп и склоп погонског агрегата у техничкој ремонтној документацији описан поступак његове дефектације и оправке, укључујући и неопходне логистичке захтеве за оправку као што су: профил кадра за одржавање, списак резервних делова, потрошни материјал, алат, опрема и др.

Анализом техничке документације и у разговору са стручним лицима надлежним за извршење одржавања погонских агрегата, дошло се до закључка да није дефинисана процедура код отклањања отказа погонског агрегата као што је нпр. место отклањања истог (на локацији где се десио отказ, техничкој радионици, ремонтном заводу), као и то да ли се отказали склоп (нпр. Пумпа високог притиска) мења са исправним склопом из складишта или не, па се накнадно врши оправка отказалог склопа и др.

Обзиром да је новом методологијом предвиђено да се у оквиру Анализе задатка одржавања (МТА) дефинише процедура отклањања отказа, као што је и описано у поглављу 8.2.1.3.10., у оквиру кога је описан садржај активности код МТА, начин доделе задатка одржавања ће се показати на склопу пумпе високог притиска (ПВП), чија је шема разлагања приказана на слици 9.9.

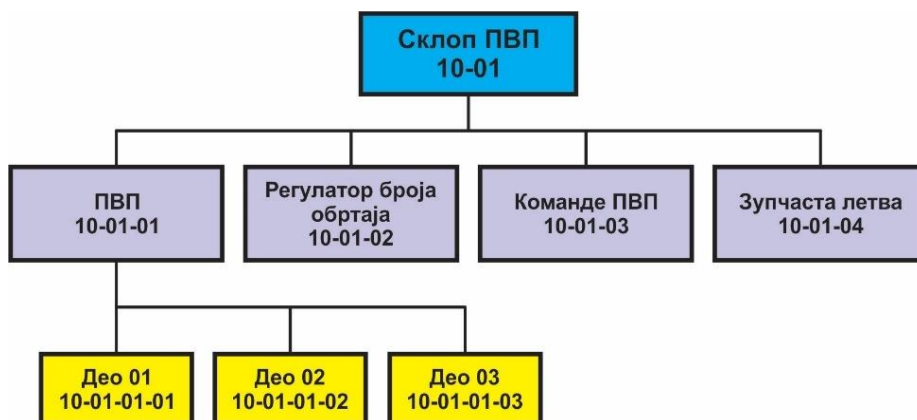


Слика 9.9. Склоп ПВП

Елементи склопа ПВП су приказане у табели 9.10. са припадајућим својствима.

Табела 9.10. Рашчлањивање пумпе високог притиска (ПВП)

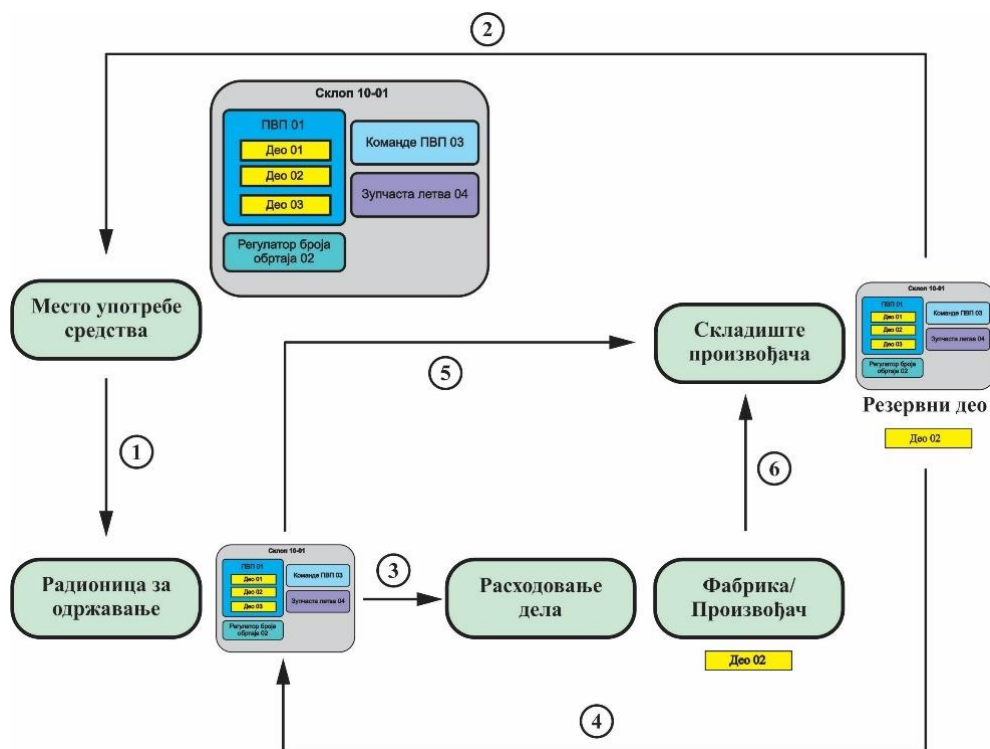
Идентификатор рашчлањеног елемента (склопа)	Назив	Тип елемента	Следећи виши рашчлањени елемент (склоп)
10-01	Склоп ПВП	Кандидат LSA	-
10-01-01	ПВП	Оправљива у радионици код корисника	10-01
10-01-01-01	Део 01 (кућиште)	Оправљив код произвођача	10-01-01
10-01-01-02	Део 02 (брегасто вратило)	Неопррављив	10-01-01
10-01-01-03	Део 03 (елементи ПВП са пропусним вентилом)	Оправљив код произвођача	10-01-01
10-01-02	Регулятор броја обртаја	Оправљив код произвођача	10-01
10-01-03	Команде ПВП	Неопррављив	10-01
10-01-04	Зупчаста летва	Неопррављив	10-01



Слика 9.10. Раичлањивање склопа ПВП 10-01

Потребно је пажљиво документовање сваке информације која је од кључног значаја да се изврше активности одржавања. Постоји неколико потенцијалних решења да се отклони отказ. У случају отказа брегастог вратила, део 02 ПВП (10-01-01-02), једно од могућих решења је дато према следећем:

Отказ брегастог вратила склопа ПВП 10-01



Слика 9.11. Отказ брегастог вратила склопа ПВП 10-01 – оправка склопа 10-01 заменом

Догађај: Отказ брагастог вратила (није оправљив)

LSA кандидат: Склоп 10-01

Опис процедуре одржавања:

1. Изградити неисправни склоп 10-01 на радној (оперативној) локацији корисника
2. Примити резервни склоп (10-01) из складишта корисника
3. Уградити нови склоп 10-01 на радном месту корисника (замена склопа 10-01) - отказ оправљен, производ може се поново користити
4. Извадити неисправно брегасто вратило из пумпе високог притиска (10-01-01-02) из склопа 10-01, потом расходовати неисправно брегасто вратило ПВП
5. Примити резервни део (ново брегасто вратило ПВП) из складишта корисника. Оправити отказали склоп 10-01 заменом новог брегастог вратила ПВП
6. Вратити оправљени склоп 10-01 у складиште исправне технике корисника
7. Наручити ново брегасто вратило са тржишта (од произвођача) за складиште - обновити залихе корисника

Задатак отклањања отказа: Замена склопа 10-01

Проистекли задаци у вези са одржавањем: Расходовање неисправног дела пумпе високог притиска. Оправка отказалог склопа 10-01 уградњом новог брегастог вратила (10-01-01-02) пумпе високог притиска.

Пратеће активности одржавања: Поновно наручивање брегастог вратила (10-01-01-02) склопа 10-01.

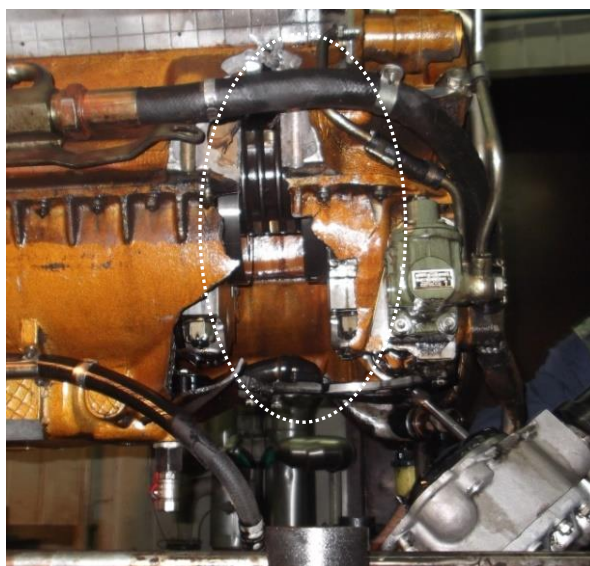
9.3.2.1. Анализа специјалног догађаја - лом клипњаче погонског агрегата који је проузроковао највећу штету на погонском агрегату

Посебно место у оквиру МТА заузима анализа специјалног догађаја, као једног од иницијатора активности одржавања у оквиру задатка корективног одржавања. Због отказа односно лома клипњаче погонског агрегата који је узроковао највећу штету на погонском агрегату, поменути отказ клипњаче је третиран као специјални отказ и извршена је његова анализа у циљу утврђивања главних узрока његовог настанка

како би се у будуће могле предузети одговарајуће мере како се не би више понављао.

9.3.2.1.1. Опис проблема

Током лабораторијског испитивања 12 - цилиндричног “V” дизел погонског агрегата дошло је до хаварије погонског агрегата због лома клипњаче првог левог цилиндра погонског агрегата, слика 9.12. Пројектовани радни век предметног погонског агрегата је 500 мч. По истеку експлоатационог ресурса од 500 мч, на предметном погонском агрегату су у склопу генералног ремонта измењени поједини делови и склопови у складу са техничком ремонтном документацијом укључујући и клипњаче. Након генералног ремонта, предметни погонски агрегат је до хаварије имао 130 мч рада у експлоатацији.



Слика 9.12. Оштећења горњег и доњег кућишта погонског агрегата

С тим у вези, извршена је детаљна анализа отказа клипњаче погонског агрегата специјалног војног возила, који се десио у посматраном периоду експлоатације специјалног војног возила и при томе проузроковао хаварију погонског агрегата са највећим оштећењима од свих евидентираних отказа.

Поред наведеног, циљ је био да се дефинише поступак откривања узрока специјалног отказа и њему сличних атипичних отказа погонских агрегата специјалних војних возила укључујући и дефинисање предузимања даљих мера

како се такви откази не би у будуће понављали (модернизација конструкције, побољшање концепције одржавања и сл.).

Основне карактеристике предметног погонског агрегата су приказане у табели 9.11.

Табела 9.11. Спецификација погонског агрегата специјалног војног возила

<i>Параметар</i>	<i>Вредност</i>
<i>Снага</i>	1000 KS
<i>Максимални број обртаја</i>	2000 o/min
<i>Пречник</i>	0.150 m
<i>Ход клипа</i>	0.180 m
<i>Радна запремина</i>	38,88 l
<i>Број цилиндара</i>	12
<i>Тежина</i>	1.090 kg

Сви контролни параметри погонског агрегата: температуре уља, расхладне течности, издувних гасова, као и притисци ваздуха, уља и гасова у картеру били су у дозвољеним границама током испитивања. Ови параметри очитавани су и бележени у протокол испитивања на сваких 15 минута рада мотора.

Последњи запис мерених величина направљен је на почетку четвртог сата рада погонског агрегата на максималном оптерећењу и броју обртаја $n=1800$ o/min, непосредно пре прекидања испитивања због хаварије погонског агрегата. Све контролне величине биле су у оквиру задатих граница.

У кратком периоду након лома клипњаче, неконтролисано кретање дела поломљене клипњаче које је за летећи рукавац коленастог вратила остало везано великом песницом, изазвало је највећа оштећења погонског агрегата. Овај део клипњаче пробио је доње кућиште погонског агрегата (картер мотора), померио је уљну пумпу из њеног лежишта, пробио је горње кућиште погонског агрегата у зони предњег левог ослонца погонског агрегата, док је претходно са доње стране ударио у челичну ослону плочу, везану за предњи леви стуб носача погонског агрегата пробног стола, кога је откинуо у корену. Такође, смрскао је слободни крај цилиндарске кошуљице и на крају се зарио у међуцилиндарски гребен који се деформисао и напукао.

Додатна оштећења настала су од неконтролисаног кретања помоћне клипњаче и клипа првог десног цилиндра. Површина лома на делу клипњаче која је малом песницом везана за клип, слика 9.13., знатно је деформисана због вишеструког сударања са другим делом клипњаче, до тренутка заустављања погонског агрегата.



Слика 9.13. Клип са делом поломљене клипњаче

9.3.2.1.2. Поступак анализе отказа клипњаче погонског агрегата

Поступак анализе отказа, који је примењен ради одређивања основних узрока отказа клипњаче погонског агрегата, ће бити детаљно описан у наставку овог поглавља.

Идентификација подручја концентрације напона клипњаче изведена је применом анализе коначних елемената (FEA) у CATIA V5R22 Generative Structural Analysis Workbench. За ову сврху, веродостојни 3D модел клипњаче, развијен је коришћењем CATIA V5R22 при чему је примењено максимално оптерећење клипњаче.

Након уклањања погонског агрегата са пробног стола за испитивање, извршен је визуелни преглед сломљене клипњаче, делова погонског агрегата и склопова, као и исправности брызгалки горива. Сломљена клипњача је подвргнута екстерној визуелној контроли помоћу голог људског ока у примљеном стању.

Следећи корак је био детаљна фрактографска анализа површина лома клипњаче. Макрофрактографска испитивања су обављена како би се открило место настанка

пукотине на клипњачи, пружајући информације о механизму грешака и најинтересантнијим подручјима за даљу анализу. Макроскопска анализа површине прелома извршена је на стереомикроскопу Leica M205A, опремљеним рачунарским системом и софтвером за прикупљање слика и обраду података. Површине прелома су претходно биле очишћене ултразвуком. Након тога, површина прелома је анализирана помоћу скенирајућег електронског микроскопа високих перформанси (SEM) JEOL JSM-6610LV.

Да би се одредио квалитет машинске обраде клипњаче, испитана је површинска храпавост. Тестирање је обављено на уређају Taylor-Hobson Surtronic 3 за мерење храпавости.

Да би се проверио квалитет материјала клипњаче, извршена је анализа хемијског састава, као и структурно и механичко испитивање. Хемијски састав материјала клипњаче одређен је оптичком емисионом спектрометријом на Veeco Compact PORT HLC уређају. Добијени резултати упоређени су са стандардном спецификацијом челика за клипњачу.

Узорак за металографски преглед је одсечен под правим углом у односу на уздужну осу клипњаче, у близини површине прелома. Припрема металографског узорка састојала се од стандардних процедура за брушење, полирање и нагрзање са одговарајућим реагенсом. Брушење је изведено на шмиргл папиру П150, П240, П320, П400, П600, П1200 и П2500, а затим полирање, које је изведено дијамантном пастом 7/5 μm и 5/3 μm , респективно. Микроструктура је развијена потапањем узорка у раствор 5% Нитал реагенса.

Узорак је испитиван у полираном стању под металографским светлосним микроскопом Leitz-Metalloplan, опремљеним системом камере и софтвером за прикупљање слика и обраду података. Циљ металографског испитивања је био да се утврди материјална микроструктура и открије присуство било каквих недостатака који су могли довести до отказа. Макроструктура је развијена коришћењем дубоког језгра на механички припремљеном површинском узорку, у 50% раствору хлороводоничне киселине, на температури од 80 степени током 60 минута, у складу са захтевима стандарда СОРС 1710.

Тестови истезања су спроведени на узорцима узетим са велике песнице клипњаче. Тестови за затезање су обављени према ASTM E8M-11 при брзини напрезања од

$3.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ на машини за тестирање Shimadzu Servopulser. Мерење тврдоће је спроведено методом HRC. Такође, на попречном пресеку клипњаче, извршено је мерење микротврдоће (HV 1). Мерење микротврдоће по Викерсу спроведено је помоћу дигитално контролисане машине за тестирање тврдоће (HVS-1000), применом силе од 9,807 N за 15 s. Испитивање тврдоће Rockwell (HRC) извршено је на стандардној машини за тестирање тврдоће WILSON 2R.

9.3.2.1.3. Резултати извршених анализа отказа клипњаче

Непосредно по скидању погонског агрегата са пробног стола приступило се прегледу и анализи склопова погонског агрегата и насталих оштећења како би се пронашао узрок хаварије погонског агрегата. Том приликом је установљено следеће:

- После скидања доњег кућишта погонског агрегата констатовано је да на цилиндрима погонског агрегата нема трагова заривавања, као и да на доњем зупчастом разводу нема оштећења, осим што је зупчаник на вратилу тахогенератора избачен из спреге са погонским зупчаником у тренутку када је део клипњаче ударио и откинуо овај део погонског агрегата.
- Провером рада бризгачке првог левог цилиндра, установљено је да бризгачка не цури, да је притисак одизања игле бризгачке 250 bar, и да бризгачка остварује квалитетно распршивање горива. Овим је отклоњена сумња да је услед нерегуларног убризгавања дошло до топљења и заривавања клипа.
- Скидањем глава оба реда цилиндара и увидом у стање површина комора сагоревања у клиповима, утврђено је да се у свим цилиндрима процес сагоревања одвијао регуларно.
- Изградња првог левог клипа са делом сломљене клипњаче обављено је без икаквог отпора.
- Када је скинута пумпа високог притиска заједно са погоном и разводником ваздуха, установљено је да је пукао гребен доњег дела цилиндарског блока мотора између цилиндара због задирања дела сломљене клипњаче.

- После скидања поклопаца ослоначких лежишта установљено је да су лежишта и рукавци коленастог вратила у добром стању без трагова заривавања и оштећења.

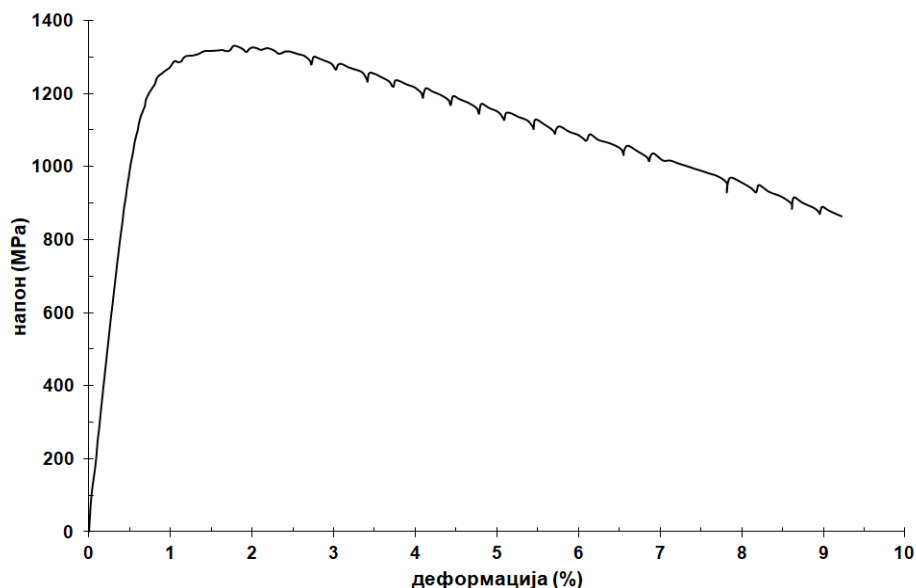
Након реализованих претходно наведених активности и извршених анализа закључено је да је главни узрок хаварије погонског агрегата лом клипњаче, па се у наставку више пажње фокусирао на утврђивање узрока настанка лома саме клипњаче.

Моделирање клипњаче методом коначних елемената

Израђени 3D модел клипњаче се састоји од 4-нодалним линеарним тетраедерним чврстим елементима који генеришу модел коначних елемената од 578.472 чворова и 367.226 елемената.

Механичке особине материјала, за израду 3D модела клипњаче, узете су из стандардне спецификације за легирани челик 18Н2Н4МА.

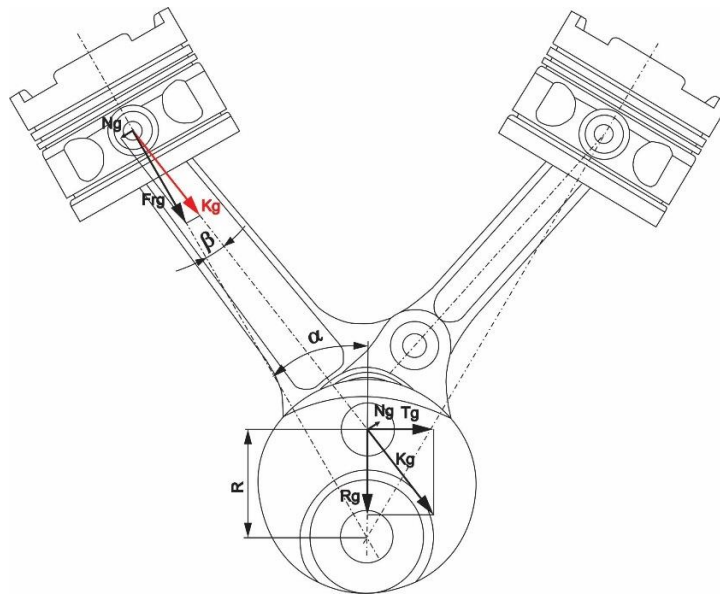
Типичне вредности механичких особина су око 1220 МПа за границу еластичности, 1330 МПа за затезну чврстоћу и 9.22% за јединачно издужење. Добијене вредности одговарају захтевима из стандарда ГОСТ 4543-71 и у складу са захтеваним механичким особинама. Добијени типични дијаграм напон-деформације приказан је на слици 9.14.



Слика 9.14. Дијаграм напон-деформација материјала клипњаче – типичан изглед.

Силе моторног механизма предметног дизел мотора се разликују за главне и помоћне цилиндри мотора, слика 9.15., услед различитих кинематских величина и маса покретних делова.

Због тога се изводи прорачун посебно за силе главног цилиндра, а посебно за силе помоћног цилиндра, а затим се врши њихово суперпонирање на летећем рукавцу коленастог вратила мотора. На тај начин се на сваком колелу коленастог вратила мотора добија резултантна сила од одговарајућег цилиндра (главног и помоћног).



Слика 9.15. Распоред сила главног (левог) цилиндра погонског агрегата

На осовиницу главног клипа делује гасна сила F_{gg} и инерцијална сила праволинијских осцилаторних маса F_{ig} , које се могу алгебарски сабрати пошто су колинеарне и на тај начин се добија резултујућа сила F_{rg} на осовиници клипа [61]:

$$F_{rg} = F_{gg} + F_{ig} \quad [\text{N}] \quad (9.2)$$

где је:

$$F_{gg} = A_{kl} \cdot (p_g - p_k) = \frac{D_{kl}^2 \pi}{4} \cdot (p_g - p_k) \quad [\text{N}] \quad (9.3)$$

$$F_{ig} = -a_g \cdot m_{og} \quad [\text{N}] \quad (9.4)$$

У једначинама (9.3) и (9.4) поједине величине имају следеће значење:

- D_{kl} - пречник клипа [m],
- p_g - притисак у главном цилиндру добијен индицирањем или прорачуном [Pa],

- p_k - притисак картерских гасова добијен мерењем на пробном столу, који је у нормалним условима близак атмосферском притиску [Pa],
- a_g - убрзање праволинијских осцилаторних маса главног цилиндра [m/s^2],
- m_{og} - редукована праволинијска осцилаторна маса главног цилиндра у коју улазе маса клипа, клипних прстенова, осовинице, осигурача осовинице и редуковане масе главне клипњаче [kg].

Резултујућа сила на клипу се разлаже на компоненту нормално на осу цилиндра (нормална сила N_g) и на компоненту у правцу осе главне клипњаче (сила у клипњачи K_g):

$$N_g = F_{rg} \cdot \operatorname{tg} \beta \quad [\text{N}] \quad (9.5)$$

$$K_g = \frac{F_{rg}}{\cos \beta} \quad [\text{N}] \quad (9.6)$$

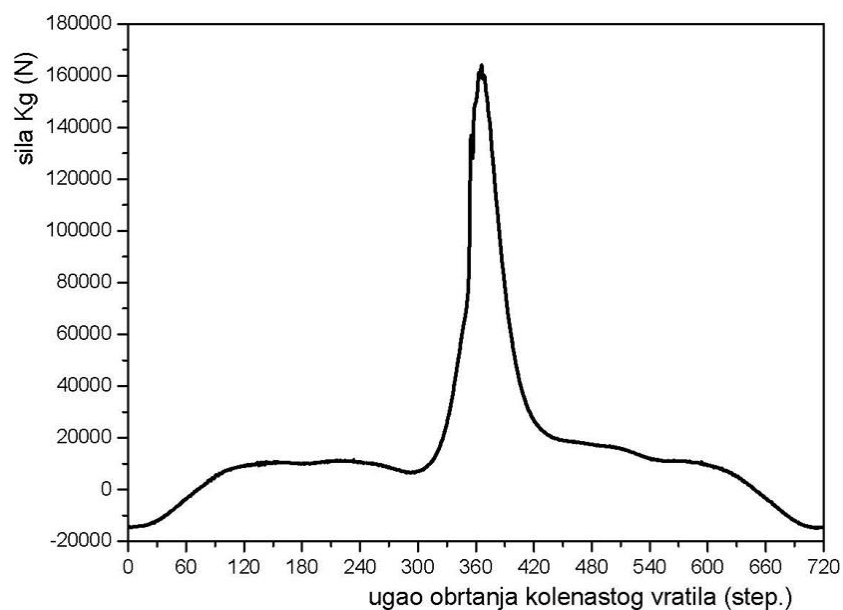
Сила у клипњачи делује на летећи рукавац и она се разлаже на компоненту у правцу тангенте на путању осе летећег рукавца (тангенцијална сила T_g) и компоненту у правцу радијуса колена (радијална сила R_g). Када се силе T_g и R_g редукују на осу обртања коленастог вратила, добија се индицирани обртни момент који потиче од главног цилиндра мотора.

$$T_g = K_g \sin(\alpha + \beta) \quad [\text{N}] \quad (9.7)$$

$$R_g = K_g \cos(\alpha + \beta) \quad [\text{N}] \quad (9.8)$$

$$M_{ig} = T_g \cdot R \quad [\text{Nm}] \quad (9.9)$$

Сила у помоћној клипњачи није узимана у обзир, код одређивања меродавног оптерећења за прорачун напонског стања главне клипњаче, јер је њен утицај занемарљив. За анализу напонског стања клипњаче, коришћена је максимална сила у клипњачи до које се дошло прорачуном $K_g = 160.000$ [N], слика 9.16.



Слика 9.16. Kg сила у главној клипњачи (меродавна за анализу методом коначних елемената)

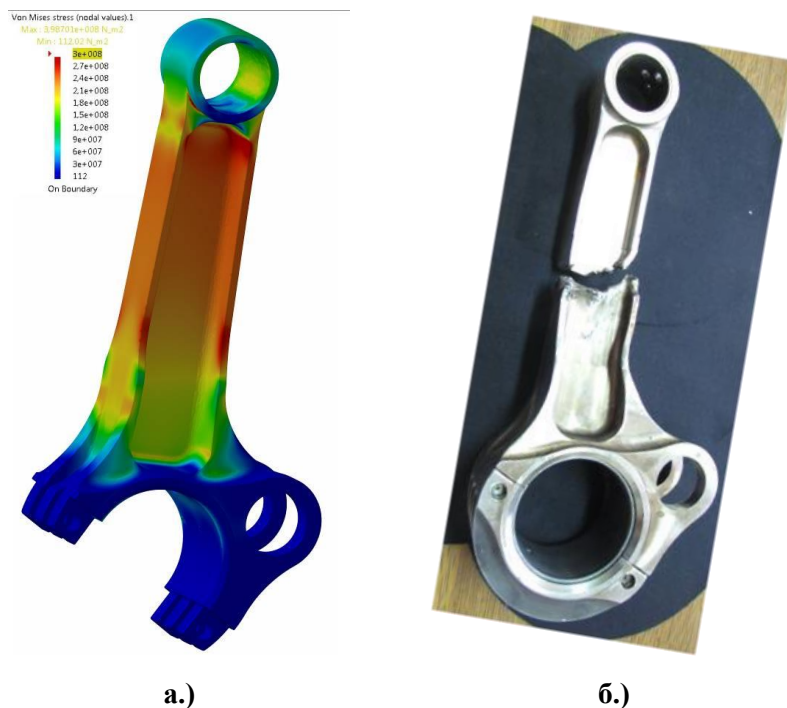


Слика. 9.17. Модел клипњаче

Максимална сила Kg је узета у центру мале песнице клипњаче у правцу осе клипњаче, слика 9.15. Одговарајућа ограничења су додељена клипњачи. Чворови унутрашње цилиндричне површине велике песнице клипњаче су били фиксирани са ограничењем свих степени слободе. Померања су била слободна у остатку клипњаче.

Поље напона клипњаче добијено према критеријуму Вон Мисес и визуализација поља напона Вон Мисес је приказана на слици 9.18. а).

Анализа напонског стања клипњаче показала је да је максимална вредност напона клипњаче износила 398,7 МПа, у делу клипњаче где се претпоставља да је инициран прелом клипњаче.



Слика. 9.18. а.) Поље напона у клипњачи б.) Изглед поломљене клипњаче

Визуелни преглед

Након растављања делова поломљене клипњаче од клипа и летећег рукавца коленастог вратила хаварисаног погонског агрегата, приступило се визуелном прегледу делова поломљене клипњаче. Том приликом је уочено да је лом клипњаче настао на удаљености од 15 cm од центра осовинице велике песнице клипњаче, слика 9.19. а.).

Визуелним прегледом и испитивањем под стерео микроскопом, уочена су значајна оштећења оригиналне преломне површине клипњаче, настала услед неконтролисаног кретања клипњаче након катастрофалног лома, слика 9.20., до заустављања мотора.

Анализа преломне површине урађена је на делу клипњаче означеном са „део II“, слика 9.19. а.).

Анализом преломне површина није установљено место настанка прелине, нити уочено присуство трагова који би упућивали на могућност да је до лома клипњаче дошло услед замора материјала. Анализу је у значајној мери онемогућило присутно оштећење преломне површине, настало услед кретања клипњаче након катастрофалног лома.

Трагови машинске обраде на спољној површини клипњаче нису детектовани (слика 9.21.). Такође, у радијалном прелазу између равних површина примећено је присуство заједа. У тим подручјима, машински нож продирао је у радијус и направио удубљење.

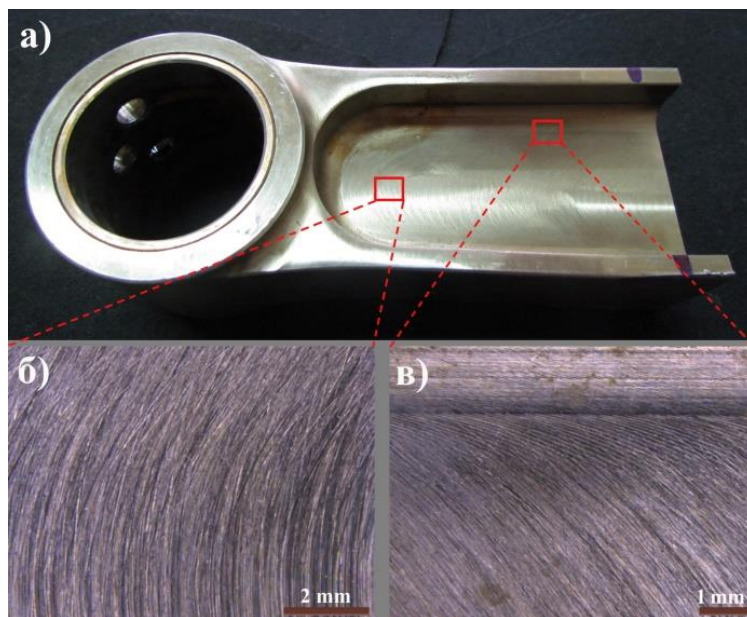
На попречном пресеку тела клипњаче нису примећени заједи. Трагови машинске обраде на површини клипњаче потврђени су помоћу SEM микроскопа (слика 9.22.).



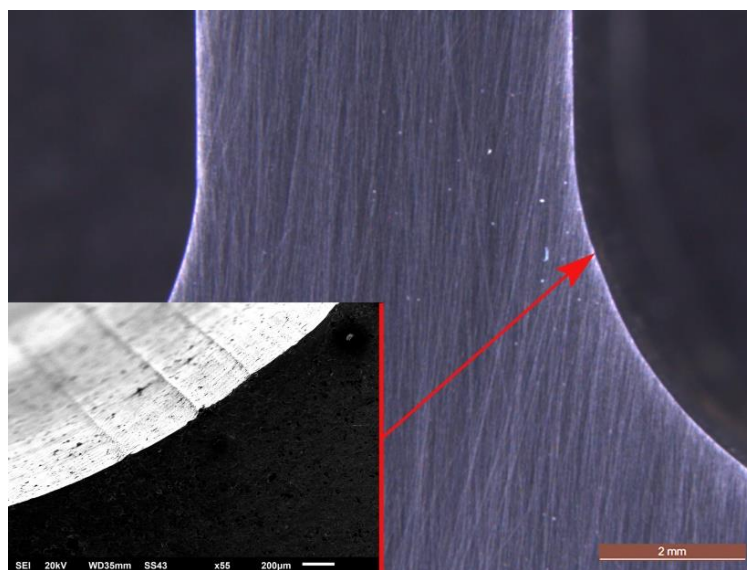
Слика 9.19. (а) Поломљена клипњача (б) Металографски узорак за макроструктурно испитивање (пресек А-А)



Слика 9.20. Механичко оштећење површине лома клипњаче



Слика 9.21. а.) Трагови машинске обраде на површини тела клипњаче; б.) и в.) увећан приказ трагова машинске обраде на површини тела клипњаче



Слика 9.22. Пресек клипњаче: трагови обраде на прелазу са равног дела према странама

Површинска хрпавост

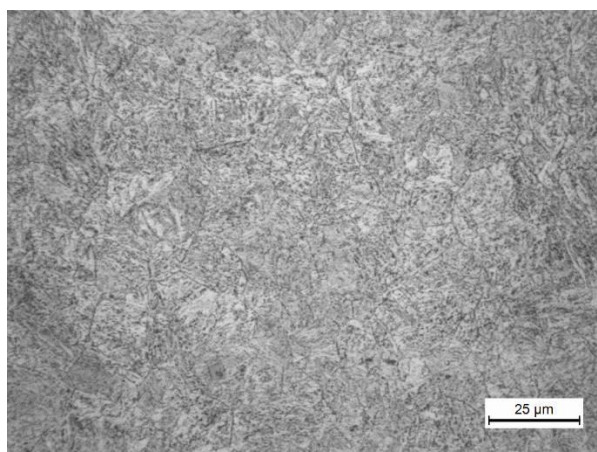
Хрпавост површине клипњаче измерена је на означеном делу клипњаче, приказаног на слици 9.23. Просечна вредност хрпавости површине (R_a) је $1,6 \mu\text{m}$. Ова вредност, према SRPS M.A1.026 [62], одговара N7 класи површинске хрпавости. Према техничкој документацији, хрпавост класе треба да буде N1, што одговара вредностима R_a од $0,006$ до $0,025 \mu\text{m}$.



Слика 9.23. Мерење површинске хравности клипњаче

Металографија

Макроструктура узорка је приказана на слици 9.24. Није примећено видљиво присуство неметалних укључака, као ни недозвољених металуршких недостатака, као што су порозност, празнине, пукотине, мехурићи итд. Такође, нису откривени ни недостаци ковања.



Слика 9.24. Микроструктура материјала клипњаче

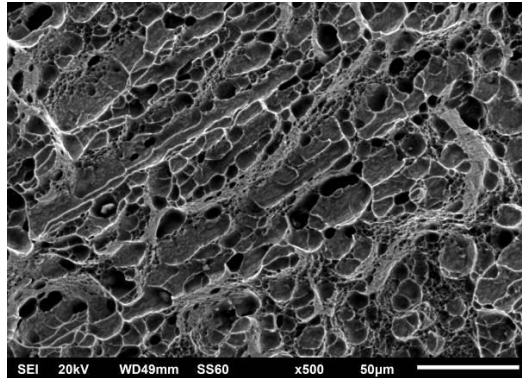
Микроструктура материјала је хомогена, fino зрнаста и одговара структури каљеног мартензита без присуства сегрегације.

Микрофрактографија

Да би дошли до детаљне информације о механизму који је довео до отказа, преломне површине су посматране помоћу скенирајућег електронског микроскопа високих перформанси - SEM.

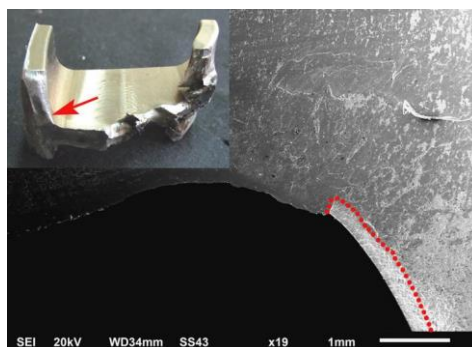
Посматрана преломна површина је након катастрофалног лома била изложена механичком деловању друге преломне површине и стога значајно оштећена, те механизам лома није било могуће са сигурношћу одредити. На малим,

неоштећеним, деловима посматране преломне површине нису уочени показатељи (линије замора) који упућују на заморни карактер лома. Потребно је нагласити да се линије замора тешко уочавају код мартензитних и беинитних структура а које су овде присутне. Такође, није уочено ни присуство радијалних гребена који би указали на нестабилан лом, односно крти карактер лома. С друге стране, резултати анализе површине лома открили су дуктилни карактер прелома (слика 9.25.).



Слика 9.25. SEM фотографија површине прелома клипњаче која показује сферна "удубљења" што одговара микроскопским празнинама које иницирају стварање пукотина

У зони радијуса тела клипњаче, у веома уском неоштећеном појасу преломне површине, непосредно уз спољашњу ивицу, слика 9.26., уочено је присуство „стрија“. Присуство и порекло „стрија“ није могуће са сигурношћу објаснити, тј. да ли су се оне јавиле као последица лома или евентуално представљају трагове замора материјала. Део узорка клипњаче, изван означеног дела тачкастом линијом црвене боје, је додатно сабијен након иницијације лома до застављања рада коленастог вратила мотора и у истом се не могу уочити додатни показатељи који би могли указати на узрок настанка лома клипњаче.



Слика 9.26. SEM фотографија дела преломне површине клипњаче (црвена стрелица на макрографи у горњем левом углу) која приказује стрије (површина означена црвеном тачкастом линијом на SEM слици)

Хемијски састав

Резултати анализе хемијског састава клипњаче су приказани у табели 9.12.

Садржај главних легирајућих елемената (C, Cr, Ni), уз присуство Мо, одговара хемијском саставу челика ознаке 18Н2Н4МА према GOST 4543-71 [60].

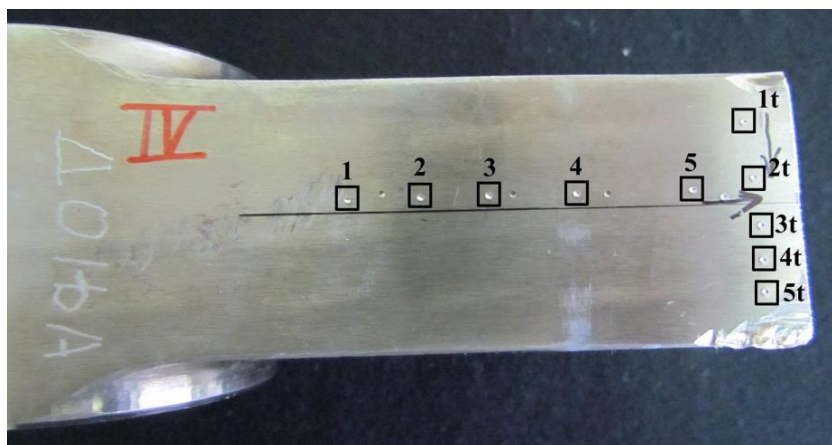
Табела 9.12. Хемијски састав клипњаче дефинисан стандардном спецификацијом и резултати одређивања хемијског састава клипњаче (%)

	Учешће појединих елемената [%] у легираном челику 18Н2Н4МА								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	Cu
Средња вредност хемијског састава клипњаче (добијена мерењем)	0.159	0.313	0.44	1.558	3.96	0.328	0.021	0.005	0.098
Стандардна спецификација за легирани челик (18Н2Н4МА) према GOST 4543-71	0.14- 0.20	0.17- 0.37	0.25- 0.55	1.35- 1.65	4.00- 4.00	0.30- 0.40	≤0.02 5	≤0.02 5	≤0.30

Мерење тврдоће

Површинска тврдоћа је мерена у одређеним тачкама тела клипњаче, према слици 9.27., а микротврдоћа је мерена на попречном пресеку тела клипњаче, према слици 9.28. Резултати измерене површинске тврдоће и микротврдоће су приказани у табелама 9.13. и 9.14.

Вредности тврдоће и микротврдоће су уједначене, без значајних међусобних одступања. Средње вредности површинске тврдоће од 38 HRC и микротврдоће од 392 HV одговарају отпуштеном стању челика 18Н2Н4МА.



Слика 9.27. Места на клипњачи где је мерена површинска тврдоћа

Табела 9.13. Површинска тврдоћа клипњаче

	Мерне тачке									
	1	2	3	4	5	1t	2t	3t	4t	5t
Тврдоћа (HRC)	38.5	37	37	37	33	36	36	33.5	36	38



Слика 9.28. Линије узорка на којим је извршено мерење микротврдоће клипњаче

Табела 9.14. Средња вредност микротврдоће клипњаче

	Микротврдоћа HV1 Линија мерења					
	A	A1	A2	A3	A4	A5
Средња вредност	398	389	387	382	397	400

9.3.2.1.4. Анализа резултата добијених испитивањем

Визуелним прегледом делова и склопова растављеног погонског агрегата, није уочена никаква нерегуларност која би могла да буде узрок лома клипњаче првог

левог цилиндра. Због тога се пажња приликом тражења узрока лома усмерила на саму клипњачу.

Фрактографска анализа није могла потврдити да је замор главни узрок отказа клипњаче. Уочене тзв. „стрије“ на делу радијуса преломне површине, не могу са сигурношћу да укажу на замор материјала обзиром да немају у потпуности специфичан облик карактеристичан за замор и није могуће са сигурношћу потврдити да ли су се оне јавиле као последица лома или евентуално представљају трагове замора материјала.

Металографска испитивања нису открила присуство металуршких грешака и недостатака у материјалу клипњаче. Хемијска анализа састава материјала клипњаче и измерене вредности тврдоће материјала клипњаче су потврдиле вредности дате у стандардизованој спецификацији материјала клипњаче за легирани челик 18Н2Н4МА.

Испитивањем површине узорка примећени су трагови машинске обраде на површинама дела узорка. Такође, уочени су заједи од ножа и оштра линија на прелазу од равног дела ка бочним странама, на ком је машински нож ушао у радијус. У условима високоцикличних променљивих оптерећења уочени недостаци обраде представљају потенцијална места иницијације прслине. У том смислу, нарочито је неповољно уочено присуство заједа који се простире целом дужином радијалног прелаза од равног дела ка бочним странама тела клипњаче.

Поред видљивих трагова машинске обраде, примећено је и да је ниво храпавости површине знатно већи од нивоа који се захтева у техничкој документацији. Повећање површинске храпавости високо оптерећених делова изложених високим цикличним променама напонског стања може бити један од узрока отказа структуре услед пада динамичке чврстоће материјала и смањења века иницирања пукотина.

Ово је подржано посматрањем неадекватног нивоа полирања површине тела клипњаче. Наиме, микроскопски снимци довели су до закључка да спољашњи заобљени делови попречног пресека тела клипњаче пројектовани као "I" профил нису били полирани, како је предвиђено у пројектној документацији.

Иницијална тачка прелома је вероватно настала на једној од осам тачака конвексног заобљења пресека тела клипњаче, што је део клипњаче са максималном вредношћу напона (398,7 МПа), у складу са анализом напонског стања.

9.3.2.1.5. Закључак анализе узрока отказа клипњаче

Максимална вредност напона клипњаче на месту где се догодио лом и виши ниво храпавости површине од дозвољене, који је додатно имао утицај на смањење динамичке чврстоће материјала клипњаче, идентификовани су као главни узроци лома клипњаче [59].

Поред наведеног, погонски агрегат је радио на максималном оптерећењу дуже време што је додатно утицало да дође до лома клипњаче.

У циљу превенције отказа клипњаче предлаже се:

- Повећање радијуса заобљења на местима тела клипњаче са повећаном концентрацијом напона, ради смањења концентрације напона клипњаче;
- У оквиру завршне обраде извршити полирање клипњаче;
- Побољшати контролу израде делова погонског агрегата током серијске производње.

9.3.3. Анализа превентивног одржавања

Након идентификовања могућих начина отказа делова/подсистема за довод горива погонског агрегата укључујући и отказе који су се догодили током експлоатације, анализирани су криве интензитета отказа у зависности од времена. Том приликом дошло се до закључка да ни за један идентификовани начин отказа подсистема за довод горива и покретних делова погонског агрегата (клипњаче) није могуће са довољном прецизношћу предвидети “Р-Ф” интервал односно временски интервал између потенцијалног и функционалног отказа како би се имало довољно времена да се предузму мере на отклањању уоченог отказа. На основу претходно наведеног намеће се закључак да за отказе за које се донесе одлука да се превенирају требаће одредити временске рокове и интервале током којих ће се реализовати прегледи склопова/подсистема па у зависности од техничког стања истих предузимати даље мере из домена одржавања у циљу одржавања њихове функционалности.

За неке од предузетих активности превентивне замене током генералног ремонта погонског агрегата након 500 мч рада, закључено је да су биле контрапродуктивне као што је замена клипњача, имајући у виду да је након остварених 130 мч рада погонског агрегата после ремонта дошло до лома клипњаче и самим тим хаварије погонског агрегата односно отказа са највећим последицама по погонски агрегат. Обзиром да је након спроведених анализа специјалног отказа-лома клипњаче закључено да је лоша завршна обрада главни узрок отказа-лома клипњаче, закључак је да клипњача није замењена да се не би ни десила хаварија погонског агрегата. Крива интензитета отказа клипњаче не одговара облику „В“ и „С“ за које одговара превентивна замена већ крива облика „А“, слика 9.6.

На овом случају је показано да није оправдано мењати одређене елементе и склопове погонског агрегата по истеку дефинисаног експлоатационог ресурса од 500 мч, а да се претходно не изврши анализа карактеристике отказа таквог елемента и склопа као и њихово тренутно техничко стање.

9.3.4. Анализа конфигурације погонског агрегата

Обзиром да отказ узрокован заглављивањем зупчасте летве ПВП при раду погонског агрегата на максималном броју обртаја може проузроковати веће последице по функционисање погонског агрегата, иако у посматраном периоду експлоатације није евидентиран такав отказ, експертском анализом се дошло до закључка да се поред одржавања према стању поменутог склопа размотри и варијанта измене конфигурације датог склопа односно његова модернизација. Модернизациони сет би обухватио електронски регулатор, који се састоји од три основна склопа:

- електронске јединице,
- актуатора,
- индуктивног давача броја обртаја ("pick-up"), који је упарен са назубљеним диском који је причвршћен и обрће се заједно са коленастим вратилом мотора, или брегастим вратилом пумпе високог притиска.

Извршена је експертска анализа могућности усавршавања зупчасте летве ПВП погонског агрегата и дошло се до закључка да би се постигла знатна побољшања као што су:

- Електронска јединица која поседује програмабилан софтвер, са великим бројем параметара који се могу подешавати према конкретном погонском агрегату. Нпр.: минималан број обртаја на празном ходу, номинални број обртаја, максимални број обртаја према регулаторској карактеристици, максимална стопа (процент) циклусне количине горива (обично се постави на 95-97% како би се обезбедила резерва ако затреба);
- Електронском јединицом се може извршити "калибрација" извршног органа актуатора (који помера зупчасту летву), и она "памти" крајње положаје тог органа. Софтверу се приступа преко рачунара путем USB везе. Широки појас параметара за пропорционално-интеграцијско-деривацијску регулацију (PID- регулацију) оставља могућност њиховог оптималног избора, који обезбеђује стабилан рад погонског агрегата, без нежељених "скокова", уз релативно брз одзив, при промени жељеног броја обртаја;
- Жељени број обртаја се бира преко потенциометра, тако да се на возилу и погонском агрегату избегавају системи полуга од "папучице гаса" до регулационог органа на пумпи високог притиска. Као улазне величине електронске јединице могу се користити и сигнали са сензора температура и/или притиска моторног уља, течности за хлађење, надпуњеног ваздуха, и обезбедити аутоматско смањење стопе горива ако неки од ових параметара пређе очекиване вредности;
- Преко рачунара се у реалном времену, путем дијаграма могу, пратити промене свих важних параметара рада погонског агрегата, како жељених, тако и остварених (број обртаја, потрошња горива, температура или притисак неког радног флуида...);
- Актуатор је са електронском јединицом повезан каблом, и састоји се од електро-мотора и извршног органа који управља зупчастом летвом пумпе високог притиска. Монтира се на погодном месту на кућиште пумпе високог притиска. Далеко је једноставније конструкције од класичних регулатора броја обртаја, без опруга, металних кугли које се померају сагласно изазваној центрифугалној сили, итд;

- Индуктивни давач броја обртаја ("pick-up") упарен са назубљеним диском је такође повезан са управљачком јединицом електричним кабловима. Сигнали у облику четвртки или синусоида, који се генеришу при наиласку зуба или међузубља обртног назубљеног диска поред фиксног индуктивног давача, обрађују се електронској јединици и добија се информација о тренутном броју обртаја погонског агрегата. Ово решење "безконтактног" мерења угаоне брзине, тј. броја обртаја вратила, карактерише изузетна једноставност, дуг радни век, уз врло мале измене конструкције погонског агрегата (повезивање назубљеног диска са обртним вратилом и фиксирање сензора на растојању око 0.5 mm од зуба обртног, назубљеног диска).

Претходно наведене вишеструке предности усавршавања склопа ПВП указују на оправданост приступања модернизацији. Поред наведене оправданости, треба напоменути и то да се техно-економском анализом [63], дошло до закључка да би цена овако једног електронског склопа била већа од цене механичког регулатора ПВП за 50%. Међутим, имајући у виду претходно изнете предности уградње предметног електронског склопа у погонски агрегат, незнатно виша цена не би требала бити препрека код предметног усавршавања, имајући у виду и то да се ради о техничком систему за специјалну намену где цена није одлучујући фактор.

9.3.5. Анализа погодности за одржавање и праћења стања (дијагностике) погонског агрегата

Поступци одржавања, самим тим и погодности за одржавање погонског агрегата су дефинисани важећом техничком ремонтном документацијом погонског агрегата. Анализирана је могућност побољшања погодности одржавања код изабраног подсистема за довод горива, којом приликом се није дошло до значајнијих помака. Предложеном модернизацијом склопа ПВП би се поред побољшања поузданости и сигурности функционисања датог склопа, поједноставило праћење рада основних параметара погонског агрегата као и његово одржавање.

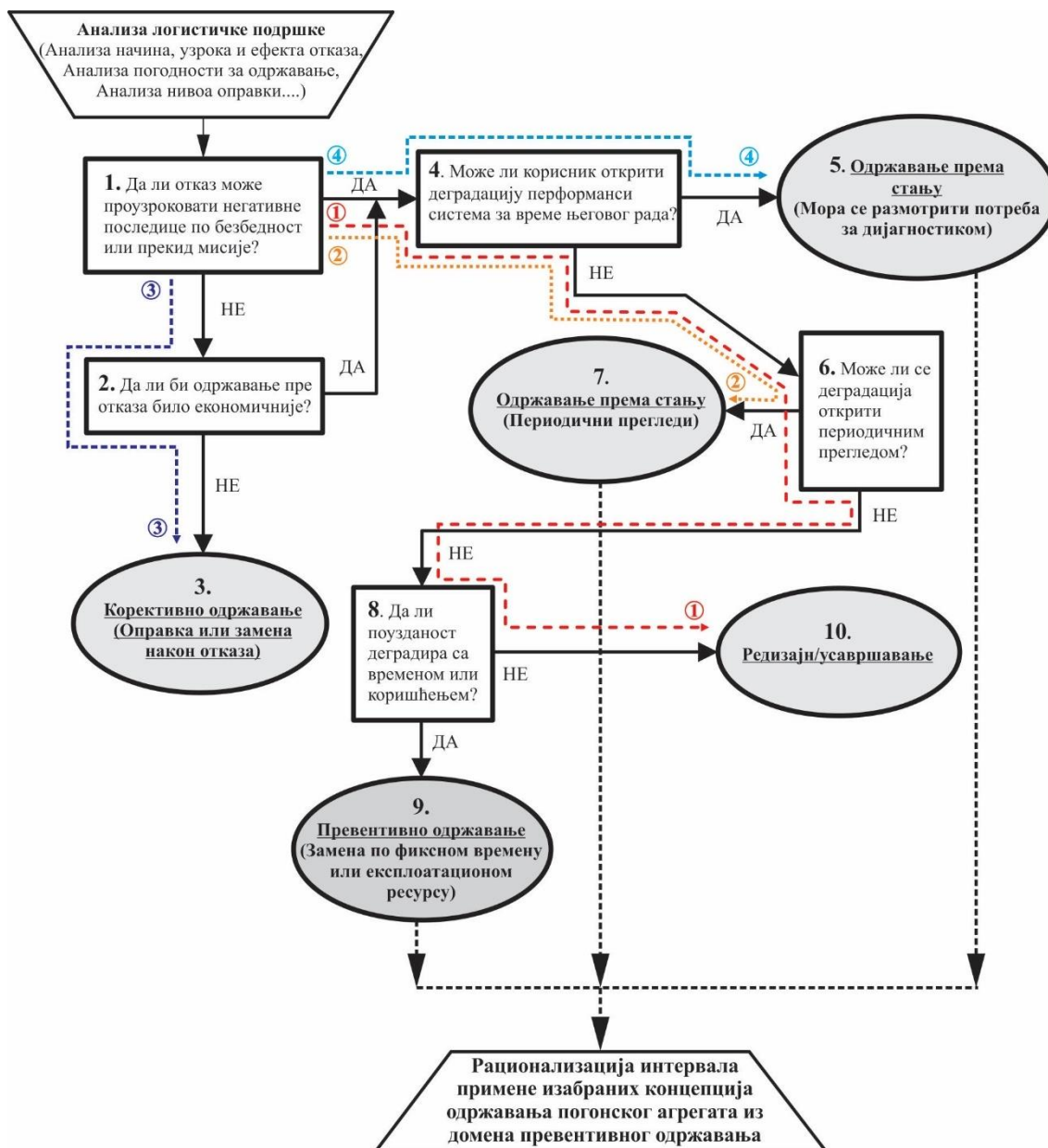
Такође, анализирана је могућност примене дијагностичке опреме за праћење стања одређених склопова и подсистема за довод горива током периодичних прегледа погонског агрегата. Своју оправдану примену би имали „фибрескопи“ код

утврђивања стања унутрашњих делова резервоара горива, а чија могућа примена је описана у поглављу 5. „Дијагностика стања техничких система“.

9.3.6. Избор концепција одржавања склопова и подсистема погонског агрегата специјалног војног возила

Након извршених претходно наведених анализа, долази се до података који омогућују доношење квалитетне одлуке код избора концепције одржавања за поједине склопове и подсистеме погонског агрегата специјалног војног возила. Алгоритам методологије, који је детаљно објашњен у претходном поглављу 8.2.2. и приказан на слици 9.29., се користио за доношење одлуке о избору одговарајуће концепције одржавања или предлога за модернизацију одређених склопова подсистема за довод горива погонског агрегата специјалног војног возила и покретног елемента погонског агрегата - клипњаче који је узроковао највећу штету. Ревизијом концепције одржавања и применом алгоритма методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема, треба да се постигне пре свега добијање захтеване расположивости погонског агрегата уз могућност смањења и трошкова одржавања.

Такође као императив дат је и задатак да се код постојећег одржавања анализира да ли недостаје нека од превентивних активности одржавања, због чега би се касније могли десити неочекивани откази са евентуалним сигурносним или системским последицама.



Слика 9.29. Алгоритам за избор концепција одржавања слопова и подсистема погонског агрегата

9.3.6.1. Избор концепције за одржавања подсистема за довод горива погонског агрегата

Анализиран је сваки претпостављени начин отказа, последице отказа као и ризик отказа према алгоритму методологије за избор концепције одржавања. Код разматрања могућности и одређивања концепције одржавања по појединим елементима и склоповима подсистема за довод горива погонског агрегата главни услов је био да расположивост погонског агрегата не буде мања од 0,97 у складу са

захтевом који се поставља према техничким системима средње сложености у Војсци Србије [64].

Што се тиче раније примењиваних видова превентивног одржавања (основног и техничког одржавања), предложено је да се и даље примењује основно одржавање са истим садржајем и техничко одржавање (I и II технички преглед) са допуњеним садржајем и измењеним временским роковима реализације.

Такође, донета је одлука да се сви превентивни прегледи који утврђују стање потенцијалног отказа сврстају у категорију одржавања према стању.

Концепције одржавања које су разматране код избора за одржавање подсистема за довод горива су: превентивно одржавање, одржавање према стању као посебан облик превентивног одржавања и рад до отказа односно корективно одржавање. Изабране концепције одржавања по појединим склоповима и елементима подсистема за довод горива погонског агрегата су илустроване у табели 9.15.

Табела 9.15. Изабране концепције одржавања по појединим елементима и склоповима подсистема за довод горива погонског агрегата

Елементи и склопови подсистема за довод горива погонског агрегата	Р. бр.	Концепција одржавања	Опис активности одржавања	Учестаност (мч)
Пумпа високог притиска (ПВП) са командама	1	Одржавање према стању (слика 9.29., линија 2-2)	Провера подешености команди ПВП и по потреби њено подешавање. Посада не може да изврши подешавање команди ПВП већ механичар.	100
	2	Одржавање према стању (слика 9.29., линија 2-2)	Демонтирање и испитивање ПВП на пробном столу укључујући и регулатор броја обртаја. Погонски агрегат се не вади из возила. Активност реализује стручна екипа ремонтног завода.	200

Елементи и склопови подсистема за довод горива погонског агрегата	Р. бр.	Концепција одржавања	Опис активности одржавања	Учестаност (мч)
	3	Одржавање према стању, слика 9.29., линија 2-2 (Размотрити могућност усавршавања, линија 1-1)	Расклапање, дефектација и евентуална оправка ПВП. Потом склапање, испитивање са подешавањем ПВП на пробном столу. Провера подешеност угла убризгавања и по потреби подешавање истог. Погонски агрегат се вади из возила. Активност реализује стручна екипа ремонтног завода.	400
Бризгаљке	4	Одржавање према стању (слика 9.29., линија 2-2)	Демонтирање и испитивање бризгаљки на пробном столу. У зависности од резултата испитивања врши се замена или се постојећа ремонтује. Активност реализује стручна екипа ремонтног завода.	200
Пумпа ниског притиска (ПНП)	5	Корективно одржавање (Предузимање активности после отказа) (слика 9.29., линија 3-3)	У досадашњој експлоатацији се показало да је пумпа ниског притиска (ПНП) изузетно поуздан склоп без отказа. Предлог је да ПНП ради до отказа, без предузимања активности на њеном превентивном одржавању.	-
Пречистачи горива	6	Одржавање према стању (слика 9.29., линија 4-4)	Обзиром да замену улошка условљава квалитет горива и његова запрљаност, потребно је вршити визуелни преглед улошка финог пречистача и мерити му масу пошто је запрљани два пута тежи од новог улошка. Уколико током контроле пречистача у предвиђеном времену улошци пречистача не задовољавају декларисане карактеристике потребно их је заменити.	100

Елементи и склопови подсистема за довод горива погонског агрегата	Р. бр.	Концепција одржавања	Опис активности одржавања	Учестаност (мч)
Цевоводи горива и склопови система за довод горива	7	Одржавање према стању (слика 9.29., линија 4-4)	Појава ваздуха у подсистему за довод горива је последица нестанка горива, пуцања цеви, нехерметичности подсистема на пречистачима горива. Проверу и испуштање ваздуха из подсистема вршити на свака 100 мч рада погонског агрегата. Проверу врши механичар.	100

Обзиром да је отказ заглављивања зупчасте летве ПВП, према поузданости и учестаности појаве, сврстан у категорију IID, након извршене експертске оцене предложено је да се поред одржавања према стању поменутог склопа размотри и варијанта модернизације тог дела погонског агрегата, а што је у складу са алгоритмом ново дефинисане методологије за доношење одлуке, (слика 9.29. - испрекидана линија 1-1) за потенцијалне отказе код којих се деградација карактеристика не може уочити периодичним прегледима и код којих поузданост не деградира са временом или коришћењем. Више о модернизационом сету који би заменио постојећи механички склоп је изнето претходно у оквиру Анализе конфигурације, поглавље 8.1.3.

9.3.6.2. Избор концепције одржавања за склоп погонског агрегата који је проузроковао највећу штету

Због отказа клипњаче погонског агрегата, који је узроковао хаварију погонског агрегата а након извршене анализе као специјалног отказа (у складу са анализама које се спроводе у оквиру МТА у делу који се односи на анализу специјалног отказа, слика 8.7.), предложено је да се предузму мере на побољшању конструкцијске израде клипњаче дакле модернизација (у складу са алгоритмом за доношење одлуке о концепцији одржавања слика 9.29.- испрекидана линија 1-1), као и побољшању контроле израде клипњаче у складу са прописаном технолошком документацијом. Такође, закључено је да поред већ предузиманих активности на превентивном одржавању нема потребе за додатним активностима као и то да на

досадашњем степену развоја не постоји дијагностички уређај којим би се могло пратити стање покретних делова погонског агрегата током експлоатације.

9.3.6.3. Рационализација интервала одржавања

Након избора концепације одржавања за поједине склопове и подсистеме добија се скуп активности одржавања различитих временских интервала, које је са становишта ефикасности потребно груписати у одређене програмске шеме одржавања или уклопити у постојеће. Један од разлога може бити тај да се неке активности изводе капацитетима посаде возила а неке захтевају капацитете и ресурсе ремонтног завода као што су пробни столови за испитивање појединих склопова погонског агрегата укључујући и пробни сто за испитивање погонског агрегата.

На пример, две или више активности одржавања захтевају ремонтне капацитете, а треба да се изводе у различитим, блиским интервалима. Тада је боље, са становишта трошкова и поузданости, да се изводе у једном интервалу, као што је то објашњено у поглављу 8.2.3.

Овде се проблем рационализације интервала неће детаљно разматрати те су дате само основне напомене, имајући у виду да нису познати интервали оптималног одржавања осталих подсистема погонског агрегата као и осталих склопова и система возила што би требало узети у обзир.

У конкретном случају подсистема за довод горива, основни интервал одржавања појединих склопова и елемената подсистема за довод горива одредиће се као компромисно решење на бази критеријума максималне расположивости и трошкова одржавања.

9.3.6.3.1. Модел превентивног одржавања погонског агрегата специјалног војног возила на бази критеријума максималне расположивости

За погонске агрегате специјалних војних возила најприкладнија је примена критеријума оптимизације интервала превентивног одржавања по моделу максималне расположивости.

За примену модела одржавања на бази расположивости потребно је познавање времена које је погонски агрегат провео у раду, времена које је погонски агрегат провео чекајући на рад у исправном стању као и времена током којег су предузимане одређене активности из домена превентивног и корективног одржавања на погонском агрегату. Вредност расположивости може се одредити коришћењем израза:

$$A(t) = \frac{t_r + t_{\check{c}r}}{t_r + t_{\check{c}r} + t_p + t_{kor} + t_d} \quad (9.10)$$

где су:

t_r - време у раду,

$t_{\check{c}r}$ - време чекања на рад у исправном стању,

t_p - време превентивног одржавања,

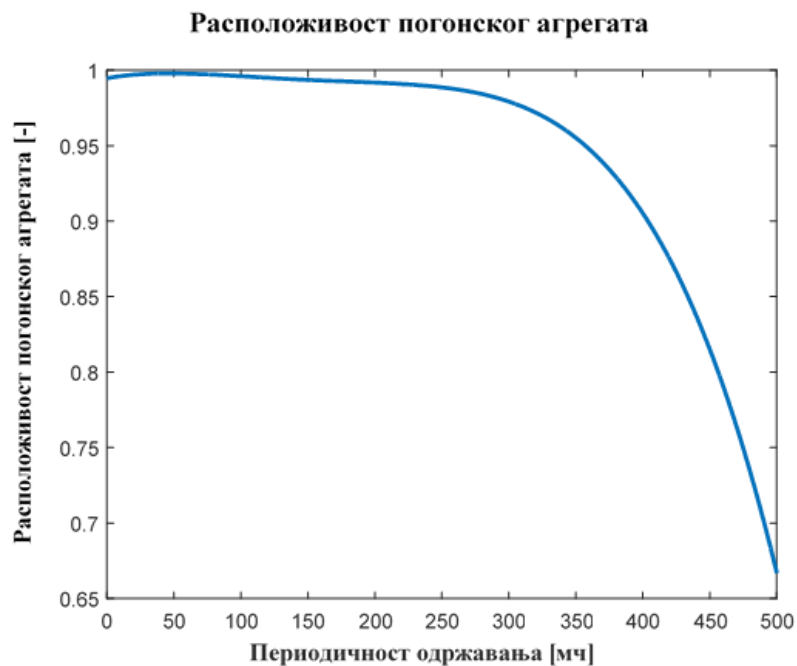
t_{kor} - средње време корективног одржавања за посматрани интервал,

t_d - додатно време за оправку ($t_d = t_{\check{c}o} + t_l$), које се састоји од времена чекања на оправку ($t_{\check{c}o}$) и логистичког времена (t_l),

Варирањем периодичности времена између превентивних одржавања добија се функционална зависност расположивости од периодичности одржавања, на основу које се може одредити периодичност одржавања која даје максималну расположивост.

Подаци о временима корективног одржавања као и о додатном времену за оправку погонских агрегата су преузети из табеле дате у Прилогу 1, на бази прикупљених података из експлоатације за 150 специјалних војних возила током осмогодишњег периода експлоатације.

На слици 9.30. је дат графички приказ зависности расположивости од периодичности одржавања погонског агрегата специјалног војног возила. На основу слике 9.30. може се закључити да се максимална расположивост погонских агрегата специјалних војних возила ($A_{\max} = 0,9979$) добија за периодичност одржавања $t_r = 50$ мч, јер за ту периодичност одржавања функција $A(t_r)$ достиже свој максимум, па се може сматрати да је то оптимална периодичност одржавања погонског агрегата специјалног војног возила за критеријум максималне расположивости.



Слика 9.30. Графички приказ зависности расположивости од периодичности превентивног одржавања погонског агрегата

9.3.6.3.2. Модел превентивног одржавања погонског агрегата специјалног војног возила на бази критеријума минималних трошкова

Оптимизација система одржавања може се вршити и на основу модела који као критеријум оптимизације користи минималне трошкове одржавања. Овим моделом се одређује оптимални интервал периодичности спровођења поступака превентивног одржавања погонских агрегата возила посебне намене који даје најмање трошкове уз обезбеђење захтеване поузданости.

Средња цена одржавања по јединици времена рада се може изразити у следећем облику [65]:

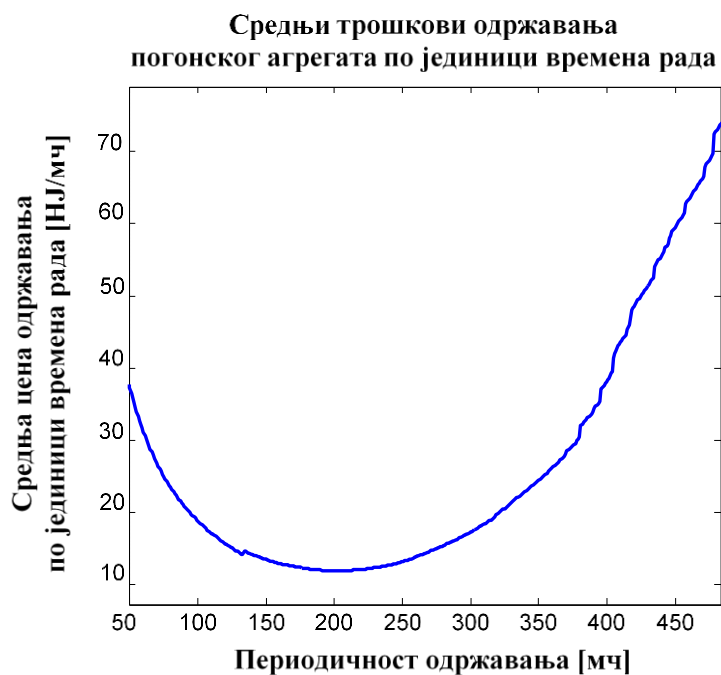
$$C(t) = \frac{C_k - (C_k - C_p) \cdot R(t)}{\int_0^t R(t) dt} \quad (9.11)$$

где су:

- $C(t)$ - средња цена одржавања по јединици времена рада,
- C_k - трошкови корективног одржавања,
- C_p - трошкови превентивног одржавања,
- $R(t)$ - функција поузданости,

t - време рада погонског агрегата специјалног војног возила до замене елемента или склопа.

Применом наведеног израза за трошкове одржавања, за различите периоде превентивног одржавања погонског агрегата, добијене су средње цене одржавања по јединици времена рада у функцији периодичности одржавања погонског агрегата, које су приказане у виду дијаграма на слици 9.31.



Слика 9.31. Графички приказ зависности средњих трошкова одржавања по јединици времена рада од периодичности одржавања погонског агрегата специјалних војних возила

Подаци о трошковима превентивног (C_p) и корективног (C_k) одржавања су преузети из обрачунске документације ремонтног завода за одржавање борбених возила⁴.

Као резултат дискретизације и на основу слике 9.31. може се закључити да се најмањи средњи трошкови одржавања по јединици времена рада ($C_{min} = 11,97$ [НЈ/мч]) добијају за периодичност одржавања погонског агрегата при $t_r = 203$ мч, јер за ту периодичност одржавања функција $C(t_r)$ достиже свој минимум, па се може сматрати да је то оптимална периодичност одржавања погонског агрегата специјалних војних возила за критеријум минималних трошкова.

⁴ Интерна документација Техничког ремонтног завода „Чачак“

9.3.6.3.3. Компромисно решење за одређивање најповољнијег периода превентивног одржавања погонског агрегата специјалног војног возила

Како се оптимална периодичност спровођења поступка превентивног одржавања одређена према критеријуму максималне расположивости и према критеријуму минималних трошкова одржавања разликују, неопходно је наћи компромисно решење и одредити вредност тражене оптималне периодичности спровођења поступака превентивног одржавања, узимајући у обзир и један и други критеријум оптималности. За решавање овог задатка примењена је, као једна од метода вишекритеријумског одлучивања, метода аналитичког хијерархијског процеса - АНР (Analytic Hierarchy Process) [66].

Скуп алтернатива „i” представља се скупом индекса алтернатива. Проблем се представља матрицом $L=[l_{ik}]$. Са l_{ik} је означена вредност критеријума оптималности „k” за алтернативу „i”:

$l_{i1} = A_i$ – вредност критеријума оптималне расположивости за алтернативу „i”,

$l_{i2} = C_i$ – вредност критеријума оптималних трошкова за алтернативу „i”.

Разматра се период времена рада t_r до 500 мч у којем оба критеријума оптималности достижу локалне екстреме.

За одређивање оптималног периода превентивног одржавања, с обзиром на критеријум максималне расположивости (A) и минималних средњих трошкова одржавања $C(t)$, интервал од 0 до 500 мч дискретизује се кораком 1.

У општем случају, критеријуми оптималности су различите природе, имају различите вредности и различите јединице мере. То значи да вредности критеријума оптималности, за једну алтернативу i нису упоредиви. Из тог разлога потребно је спровести процедуру нормализације којом се све вредности „ l_{ik} ” пресликавају у интервал $[0, 1]$.

При коришћењу векторске нормализације проблем одлучивања може се представити матрицом: $L = [l_{ikn}]$, где је l_{ikn} – нормализована вредност критеријума оптималности „k” за алтернативу „i”.

Свакој разматраној алтернативи придружује се одређена вредност и то:

- Нормализована вредност критеријума оптималности расположивости за алтернативу „i” (нормализација је извршена коришћењем израза за векторску нормализацију и уз примену бенефитног критеријума оптималности):

$$l_{i1n} = \frac{l_{i1}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{501} (l_{i1})^2}} \quad (9.12)$$

- Нормализована вредност критеријума оптималности трошкова за алтернативу „i” (нормализација је извршена коришћењем израза за векторску нормализацију и уз примену трошковног критеријума оптималности):

$$l_{i2n} = \frac{\frac{1}{l_{i2}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{501} (\frac{1}{l_{i2}})^2}} \quad (9.13)$$

Најбоља алтернатива „i“ је она за коју фактор „a_i“ има највећу вредност израчунату према изразу:

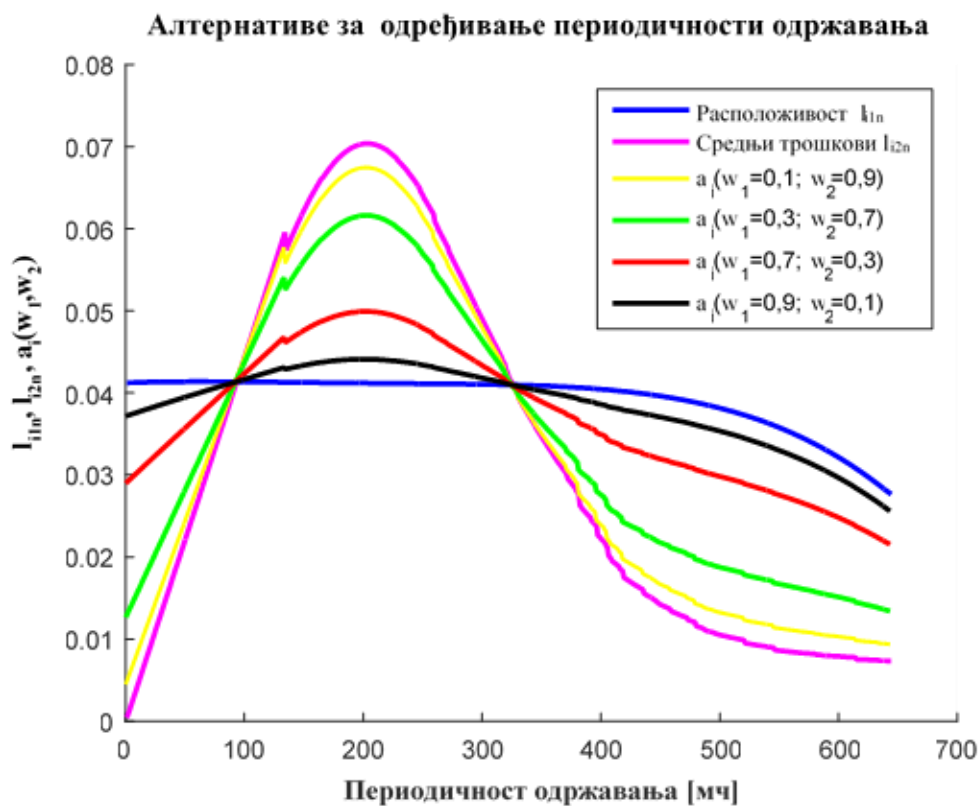
$$a_i = \frac{\sum_{k=1}^2 w_k \cdot l_{ikn}}{\sum_{k=1}^2 w_k} \quad (9.14)$$

где су w_k - тежински коефицијенти.

Тежински коефицијенти су варијабилни и зависе од захтева корисника за максималном расположивости возила посебне намене у односу на расположиви буџет за одржавање, односно којем критеријуму оптималности корисник даје предност. Зато су испитивани следећи гранични случајеви:

- Када критеријум оптималности расположивости има већи значај у односу на критеријум оптималности трошкова, односно када су тежински коефицијенти w₁=0,9 и w₂=0,1;
- Када критеријум оптималности расположивости има мањи значај од критеријума оптималности трошкова, односно када су тежински коефицијенти w₁=0,1 и w₂=0,9.

Графички приказ свих алтернатива добијен варирањем тежинских коефицијената дат је на слици 9.32.



Слика 9.32. Графички приказ зависности алтернатива (распољивости и средњих трошкова одржавања по јединици времена рада) од периодичности одржавања погонског агрегата

Као резултат дискретизације и на основу претходне слике одређене су периодичности одржавања погонског агрегата специјалног војног возила у зависности од вредности тежинских коефицијената и приказане су у следећој табели 9.16.

Табела 9.16. Интервали периодичности одржавања погонског агрегата у зависности од тежинских коефицијената

Тежински коефицијент	$w_1=0,1$ $w_2=0,9$	$w_1=0,3$ $w_2=0,7$	$w_1=0,7$ $w_2=0,3$	$w_1=0,9$ $w_2=0,1$
Периодичност одржавања t_r (мч)	203	203	202	200

Добијена су различита времена периодичности одржавања и крећу се од минимално 200 мч до максимално 203 мч. Узимајући у обзир намену специјалног

војног возила, критеријум расположивости погонског агрегата специјалног војног возила мора бити важнији од критеријума оптималних трошкова.

Усваја се да је најповољнији период превентивног одржавања погонског агрегата 200 мч, узимајући у обзир да је критеријум максималне расположивости важнији, са тежинским коефицијентом 0,9 од критеријум минималних трошкова одржавања, као мање важан, са тежинским коефицијентом 0,1.

9.3.6.3.4. Одређивање интервала превентивног одржавања погонског агрегата специјалног војног возила

Обзиром да је на бази досадашњих евидентираних података о понашању предметних погонских агрегата у експлоатацији и претходно спроведеног прорачуна утврђено да је најповољнији интервал превентивног одржавања погонских агрегата 200 мч, предлог је да се интервал I техничког преглед погонског агрегата специјалног војног возила повећа са постојећег (180 мч) на 200 мч са додатним активностима одржавања датим у табели 9.15. (осим активности на редном броју 3.), обзиром да је утврђено да постојећи садржај I техничког преглед није био довољан да спречи појаву отказа одређених елемената и склопова подсистема за довод горива погонског агрегата.

Карактеристичне су бризгаљке које су у посматраном периоду експлоатације имале мању поузданост од захтеване, са високом учестаности отказа. Док се не изврши експертска анализа отказа бризгаљки, предлаже се строжије време провере стања бризгаљки па је дефинисан период испитивања рада бризгаљки на сваких 200 мч, што није био до сада случај.

Предлог је да се II технички преглед уместо постојећег интервала (350 мч) врши након 400 мч проширујући садржај активности одржавања према табели 9.15., вађењем погонског агрегата из возила и комплетним тестирањем и дефектацијом на пробном столу како погонског агрегата тако и његових подсистема. У зависности од стања погонског агрегата предузимале би се даље активности на довођење истог у функционално исправно стање.

На основу претходно изнетог, може се закључити да је предлог да се генерални ремонт погонског агрегата не ради обавезно на 500 мч како је предвиђено техничком документацијом, него да се током II Техничког прегледа (након 400 мч

рада) да се изврши снимање спољне брзинске карактеристике погонског агрегата на пробном столу у лабораторији. Уколико је одступање спољно-брзинске карактеристике веће од 5%, потребно је да се приступи демонтажи погонског агрегата до делова који су предвиђени за дефектацију и евентуалну оправку или замену у складу са прописаним активностима генералног ремонта. Током досадашње праксе је више пута потврђено да уколико је одступање спољне-брзинске карактеристике погонског агрегата веће од 5% од декларисане, то указује на одређене проблеме у раду погонског агрегата (заптивеност радног простора погонског агрегата је испод дозвољене и сл.) за које је потребно предузети активности из домена генералног ремонта.

Уколико је одступање спољно-брзинске карактеристике мање од 5%, предлог је да се погонски агрегат не раставља односно да се не нарушава његова херметизација, већ само елементи и склопови подсистема погонског агрегата који су предвиђени да се прегледају у оквиру одржавања према стању. На предложени начин, најмање што се добија је избегавање трошкова 100% обавезног замењивог материјала током генералног ремонта погонског агрегата као и ангажовање људских ресурса током генералног ремонт погонског агрегата који нису занемарљиви и крећу се до 1.000 норма часова [67].

У прилог претходно изнетом предлогу иду и закључци спроведене анализе специјалног догађаја - лома клипњаче погонског агрегата, којом приликом је утврђено да није оправдано мењати одређене елементе и склопове погонског агрегата по истеку дефинисаног експлоатационог ресурса од 500 мч, а да се претходно не изврши анализа карактеристике отказа таквог елемента или склопа и њихово тренутно техничко стање. Обзиром да интензитет криве отказа клипњаче не одговара облику „В“ и „С“, слика 8.6., за које одговара превентивна замена већ крива облика „D“, превремена замена постојеће клипњаче са новом клипњачом лошијег квалитета је имала за последицу хаварију погонског агрегата односно вероватно би се и избегла хаварија да предметне клипњаче нису замењене.

Превентивно одржавање покретних делова погонског агрегата није дефинисано у постојећој техничкој документацији за одржавање па самим тим није се ни планирало до генералног ремонта. Обзиром да је током анализе отказа клипњаче недвосмислено закључено да је узрок отказа био лоша обрада и конструкцијска

изведба клипњаче а не неадекватно одржавање, предложене су одређене активности у циљу превенције таквих отказа у будуће укључујући и модернизацију клипњаче, као једне од могућих опција у алгоритму за доношење одлуке о концепцији одржавања, (испрекидана линија 1-1 слика 9.29.).

9.4. Образложење оправданости изабраних концепција одржавања

Време потребно за спровођење превентивног одржавања подсистема за довод горива применом нових концепција одржавања у поређењу са претходном концепцијом одржавања је повећано у делу који се односи на време потребно да се спроведе одржавање према стању али то је занемљарљиво у односу на ефекат који се постиже, добијајући захтевану поузданост и расположивост техничког система што је за технику специјалне намене од пресудног значаја.

Поред тога, примењену методологију код избора концепције одржавања за дати подсистем погонског агрегата требало би применити и на остале подсистеме погонског агрегата, на основу чега би се тек тада могло у потпуности сагледати и анализирати ефекат који се постиже применом нових концепција одржавања у односу на постојеће. Процена је да на бази анализираних података о отказима осталих подсистема погонског агрегата, додатне активности одржавања у оквиру ново изабраних концепција одржавања за остале склопове и подсистеме погонског агрегата би се могле уклопити у већ предложене интервале одржавања према стању, који су одређени за најкритичније елементе и склопове погонског агрегата.

Обзиром да заглављивање назубљене летве пумпе високог притиска код максималног броја обртаја погонског агрегата доводи до хаварије погонског агрегата, предложена модернизација предметног склопа погонског агрегата на бази резултата експертске анализе и објашњења датог у поглављу 8.3.3 се може сматрати оправданим или увођење одржавања према стању склопа у интервалима провере стања од 200 мч.

На предметном подсистему погонског агрегата за довод горива нису уочени потенцијални скривени откази који могу довести до вишеструког отказа. Отказ давача нивоа горива може узроковати прекид рада погонског агрегата уколико

резервоари остану без горива а давач показује да горива има довољно. Обзиром да постоји и механички изведени давач, отказ наведеног уређаја није био предмет разматрања могућности усавршавања.

У оквиру досадашњег превентивног одржавања није било дефинисано да се поједини елементи подсистема за довод горива замењују по истеку одређеног временског ресурса, тако да није ни разматрана могућност да се такво превентивно одржавање замени са неким активностима у оквиру одржавања према стању.

Поред наведеног, предложена измена и у ремонтном циклусу погонског агрегата да се не ради ремонт као обавезан на 500 мч, већ да се током II Техничког прегледа (након 400 мч) изврши увид у техничко стање кроз снимање спољне брзинске карактеристике погонског агрегата, па у зависности од стања да се предузимају даље мере, се такође сматра оправданим јер је потврђено да је контрапродуктивно растављати па потом мењати елементе и склопове погонског агрегата након истека одређеног ресурса а да се пре тога није извршила анализа карактеристике отказа таквог елемента или склопа и његово тренутно техничко стање.

Може се констатовати да је са техничке стране гледано нова програмска шема одржавања у делу који се односи на концепцију одржавања побољшана у односу на постојећу. Ако се коректно изводи, може се очекивати већа односно захтевана поузданост и расположивост техничког система. На предложени начин се омогућује знатно боље и искоришћење радног века појединих елемената и склопова погонског агрегата.

Овај пример показује да се и за системе који имају дефинисане концепције и видове одржавања, применом развијене методологије за избор концепције одржавања може извршити анализа која ће показати могућност за побољшање поузданости и расположивости датог техничког система као што је то погонски агрегат специјалних војних возила.

10. НЕОПХОДНИ УСЛОВИ ЗА ПРИМЕНУ НОВЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ

Након приказа методологија за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничког система и за ревизију постојеће концепције одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, у наставку анализираће се шта је потребно за успешну примену предложених методологија.

За имплементацију методологија неопходан је адекватан стручни радни тим, састављен од експерата из појединих области на челу са обученим лидером тима који добро познаје методологије.

10.1. Способности лидера тима

У проактивним тимским техникама (*RCM, FMEA, FTA, HAZOP...*) лидер тима мора олакшати имплементацију методологије која се користи. Мора бити компетентан у областима: методологије за избор концепција одржавања, познавања система који се анализира, администрације пројекта, комуникације и управљања сесијама. Добро би било да је то особа којој је то главни задатак који обавља. Према литератури [45, 15], његове типичне обавезе су:

- Организује и усмерава све активности везане за пројекат.
- Планира, терминира и води сесије.
- Осигурава да сви чланови тима разумеју процес који се проводи. Препознаје потребу за обуком из примене методологије и изводи је за чланове којима је потребна.
- Осигурава да се методологија коректно примењује. Делује као технички експерт који разрешава све дилеме чланова тима, везане за примењену методологију.
- Осигурава да се пројекат заврши у складу са планом.
- Обезбеђује сву техничку и административну документацију за чланове тима. Процењује потребу и обезбеђује повремено присуство специјалиста.

- Документује све фазе избора концепција одржавања пазећи на стриктну примењивост.

10.2. Састав и обука чланова тима

Тим који ће вршити анализу по новој методологији мора бити мултидисциплинаран а задатак се реализују у оквиру LSA која се ради током целог животног циклуса техничког система почевши од најраније фазе – истраживања и развоја.

У тиму морају бити експерти који имају знања о раду система, стечена његовом дугогодишњом свакодневном употребом, те људи са детаљним знањем о конструкцији и одржавању система [15]. Значи, у тиму морају бити корисници на систему који се анализира, те један одржавалац тог система. Даље, мора бити познавалац планирања и организације одржавања, као и један искусан инжењер-технолог машинске или електро-струке, а у неким случајевима пројектант из научно-развојне институције. Пет-шест експерата је оптималан број у радном тиму. Ако се планира више експерата у радном тиму, то кочи рад и брзину тима, а ако их има мање – постоји опасност да неће бити знања потребних за доношење неких одлука. Важна чињеница која се узима у обзир јесте што су сви ти потребни кадрови нормално базирани у ремонтном заводу, или у његовој близини. Тако се може постићи да њихово одсуство са редовних задатака, због учешћа у аналитичком процесу, буде сведено на задовољавајућу меру.

Чланови тима морају проћи почетну обуку из садржаја и примене методологије избора концепција одржавања. Након тога обавезно направити кратки пилот-пројекат за један технички систем који има освојену технологију и један пилот-пројекат за технички систем који нема освојену технологију одржавања. Тиме ће се чланови тима извежбати у раду и охрабрити демонстрираним успехом. Успех пројекта зависи од тимског рада који треба да траје релативно дуго.

10.3. Висок ниво техничких знања и техничке библиотеке

Под високим нивоом техничких знања подразумева се да су чланови тима експерти у познавању техничког система који се анализира. Без обзира на то, потребне су и

одређене библиотеке генеричких података о отказима. Првенствено су од интереса квалитативни подаци о начинима отказа и трошковима корективног одржавања.

10.4. Контрола резултата анализе

Резултати анализе LSA, где су укључени и резултати FMEA и избора концепција одржавања се документују што је објективни доказ да је процес одржавања дефинисан. Тиме су резултати потпуно отворени за контролу, за потребе накнадне анализе или дораде, јер је одржавање процес који живи и који се мења. Контрола и дорада такође треба да буду документоване, што је такође објективни доказ да су поступци потврђени и да су измене под контролом. Контрола резултата анализе се мора извршити веома брзо након анализе. Мора се утврдити да ли су предузети сви неопходни кораци да би се осигурала коректна анализа којом се предлажу концепције одржавања, чијим спровођењем ће се осигурати циљеви поузданости, расположивости, безбедности и економичности на потребном нивоу. Дефинисаност, јасноћа поступка и документованост су веома важни за Војску, као инвеститора. Тиме је омогућена контрола и верификација процеса, без обзира да ли га (у потпуности или само за неке системе) изводи ремонтни завод или нека цивилна фирма. У контроли су битна два фактора. Као прво врши се контрола процеса што значи да се мора контролисати да ли су сви кораци коректно спроведени. Као друго врши се контрола садржаја, на начин да се утврди да ли су добијене коректне информације и закључци који се односе на систем и процес чији су они саставни део. То конкретно значи да се контролише: тип и ниво анализе, дефинисање функција, дефинисање функционалних отказа, дефинисање начина отказа, дефинисање последица отказа, дефинисање ризика и интензитета отказа, дефинисање активности одржавања и дефинисање иницијалног интервала. У случају потребе за накнадном анализом, у сврху проактивног одржавања, тако се може врло брзо доћи до потребних података о резултатима претходне анализе. Даље, када се разрађује технологија одржавања, потпуно су доступни сви подаци о предложеним концепцијама.

10.5. Могући разлози неуспеха примене нове методологије

Већ је било говора о негативним странама избора концепција одржавања заснованог на RCM методологији. Основни проблем је сложеност и дуготрајност задатка. Као највећи проблем се издваја реализација анализа у оквиру LSA од којих је свакако најкомпликованија FMEA. Тако се недостатак компетентног руководиоца анализе или недостатак људских ресурса, поставља као критичан, јер се ради о најстручнијим кадровима који се морају ангажовати и на другим задацима.

Остали најчешћи разлози неуспеха пројекта могу бити [15]:

- Недостатак подршке претпостављене команде;
- Лош састав тима;
- Недостатак визије коначних резултата анализе;
- Отпочињање спровођења концепција одржавања пре завршетка анализе;
- Континуиране грешке у спровођењу методологије;
- Недостатак потребних информација о техничком систему;
- Недостатак мерљивог успеха у почетном делу рада на примени методологије. Резултати се могу показати обично након 12 месеци.

Реализација задатка примене нове методологије одржавања може проћи неуспешно ако није адекватно финансијски подржан. На почетку се очекују трошкови обуке руководиоца задатка, трошкови израде софтвера и трошкови саме анализе. Обука руководиоца задатка за примену нове методологије је неопходна, јер је један од кључева успеха и његова обученост и способност за тај задатак. Методологија избора се дели на две велике фазе: Анализа логистичке подршке и избор концепције одржавања. У тим областима руководиоца задатка не сме имати никакве дилеме. Најпре је потребна обука из опште примене инжењерских метода и анализа које се реализују у оквиру LSA (FMEA, FMEDA, LORA...). Након тога би се приступило упознавању са специфичностима ове методологије и нарочито њеног дела који се односи на селекцију концепција одржавања.

Овде се мора нагласити да још један разлог за неуспех задатка може бити недостатак средстава за развој властитог софтвера заснованог на развијеној

методологији. Покушај да се то реши адекватним табелама сигурно да није практично и дуготрајно решење. Овде се мора нагласити да софтвер не решава постављени задатак, већ само олакшава анализу и омогућује оптималну брзину у раду. Софтвер заснован на новој методологији би веома много помогао у организацији унешених информација FMEA и корака алгоритма методологије за избор концепција одржавања, олакшању административних послова, различитим прорачунима, те управљању већим бројем докумената.

11. ПРОЦЕНА ЕФЕКТА МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА ИЗБОР КОНЦЕПЦИЈА ОДРЖАВАЊА СКЛОПОВА И ПОДСИСТЕМА ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА

Примена нове методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система, било да се ради о техничким система чија се употреба планира у Војсци Србије или код ревизије постојећих концепција одржавања техничких система који су већ на употреби у Војсци Србије, треба да допринесе одређеним побољшањима у односу на ранији начин чије су неке од негативности биле: недовољно садржајно превентивно одржавање, недостатак јединствених и јасних критеријума код избора концепције одржавања и као највећа примедба је та што садржај активности у оквиру превентивног одржавања није омогућавао одржавање потребне поузданости и расположивости техничких система.

Побољшање поузданости и расположивости треба да се покаже након нешто дужег периода одржавања по новој методологији, што износи најмање један ремонтни циклус погонског агрегата. Суштинска добит побољшања поменутих кључних параметара се очекује првенствено због примене додатних активности на превентивном одржавању и увођење одржавања према стању код подсистема за довод горива који се показао као најкритичнији а уједно и подсистем са најскупљим одржавањем. Такође, укључењем експерата за одржавање у најранијој фази животног циклуса техничког система треба да допринесе избору одговарајућих концепција одржавања склопова и подсистема техничких система.

Тренутно преовладава превентивно одржавање с тим да се слаба места подсистема за довод горива специјалних војних возила нису уопште третирали нити предузимале мере за њихово отклањање.

Суштинска позадина појевтињења одржавања се очекује првенствено због значајне примене одржавања према стању најкритичнијег подсистема погонског агрегата. Поред тога што се већ постојеће превентивно одржавање проширује и са одржавањем према стању, постиже се и смањење манифестовања неких од негативности које ремонт носи са собом: уношење периода дечијих болести, осетљивост на расклапање итд. Применом одржавања према стању постиже се максимално искоришћење ресурса техничког система, односно продужење

ремонтног циклуса појединих подсистема, чиме се повећава расположивост техничког система. Колико је то значајно види се из податка да генерални ремонт специјалног војног возила може да траје и до 6 месеци због проблема обезбеђења недостајућих резервних делова. Методологија је заснована на давању приоритета важној опреми по различитим критеријумима, од којих је први безбедност људи и позданост и расположивост специјалног војног возила. Неважни системи су искључени из превенције, што је такође извор смањења трошкова. Поузданост и расположивост система ће се повећати, такође због избора концепција и активности одржавања које задовољавају критерије техничке изводљивости и ефикасности.

Корисници и одржаваоци специјалних војних возила као учесници анализе детаљно и још боље упознавају своје техничке системе. Од корисника се, такође очекује висока мотивисаност, јер добијају значајну улогу у дефинисању методологије одржавања. Након учешћа у анализи они у потпуности схватају шта одржавање може постићи и шта се треба учинити да би се то постигло. Спремни су за многе интервенције и правилно провођење процедура. Након анализе њима је сва документација доступна, тако да кад се све узме у обзир очекује се и далеко мањи број отказа узрокованих неправилном употребом.

Очекује се повећана мотивисаност учесника у анализи. Учешће у раду радног тима је прилика за већину да активно и одговорно учествује у пословима за које никад раније нису знали ко и како их ради, а тиче се њиховог свакодневног ангажмана. То је све раније долазило готово, као документација произвођача, а сада су у ситуацији да је они креирају.

Веома значајна новина је комплетна документованост анализе и њених резултата, што омогућује потпуну отвореност и погодност за контролу и измене. Одржавање треба да буде процес који живи, који се развија и мења, тако да документованост омогућује јасну основу за било коју ревизију или измену. Речено је да се документованост мора постићи изградом властитог софтвера заснованог на развијеној методологији. Документованост потврђује да су процеси дефинисани и јасни, да се тако могу контролисати, а временом да се могу побољшавати и стандардизовати.

12. МОГУЋНОСТИ ЗА ШИРУ УПОТРЕБУ МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА ИЗБОР КОНЦЕПЦИЈА ОДРЖАВАЊА СКЛОПОВА И ПОДСИСТЕМА ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА

За ширу употребу методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система битно је да се знају њени најопштији и посебни оквири. Основна претпоставка је да се одржавањем може постићи само инхерентна поузданост техничког система, с тим да се у случају немогућности избора технички изводљиве и ефективне активности одржавања препоручује допуштање отказа или модернизација. Према томе, кад год проблем остаје у подручју употребе и одржавања сложених техничких система, постоје могућности за њену примену. Методологија може да се примени код ревизије постојећег одржавања одређеног техничког система, било да се располаже са одређеним статистичким подацима о отказима током експлоатације или не, уз коришћење квалитативних искустава корисника и експертских знања одржавалаца и код развијања нових техничких система или њихове набавке.

Веома битно је познавање и владање методологијом. У самој КоВ се у перспективи могу променити околности. Може се поставити задатак за избор концепција одржавања у ситуацији када је извршена набавка неког специјалног војног возила за потребе Војске. Возило може бити ново или модернизовано возило старије генерације. Задатак избора концепција одржавања за читаво возило је у таквој ситуацији велики проблем, јер не постоје никаква искуства ни послужилаца, ни одржавалаца као ни подаци о извршеним анализама у оквиру LSA и из експлоатације. Такав задатак би требао изводити радни тим, који је стекао искуство у примени методологије на нашим возилима, за које постоји искуство у употреби.

Пошто нема искустава на која се може ослонити, критичан момент јесте постојање техничке документације и познавање методологије. Овде би више требало инсистирати на учешћу представника пројектаната или произвођача система, чије експертско знање долази до изражаја при FMEA одабраних система. Избор концепција одржавања треба првенствено да покрије важне отказе са критичним

последицама. Основна препорука јесте да се у што мањој мери предлаже превентивна замена. Превентивну замену треба бирати само према специфичним препорукама пројектанта и произвођача. Одржавање према стању треба да се максимално користи. У свим случајевима концепције морају задовољити услове техничке изводљивости и ефективности. Интервали који се предлажу треба да буду подложни провери и контроли у далеко већој мери од возила за које је постојало искуство у употреби и одржавању. Једна од олакшица при анализи може бити да нови системи увек имају неке стандардне подсистеме или склопове [15].

Што се тиче примене у другим видовима Војске, системи на које би се методологија могла применити би обухватао комплексне системе ратног ваздухопловства и против ваздушне одбране као и речне флотиле на употреби у Војсци Србије. Због специфичности тих система методологија би се морала прилагођавати.

У својој конкретној примени методологија за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система ипак садржи добар део општости, јер не препоручује специфичне активности одржавања. Због тога се за изузетно критичне системе у специфичним привредним областима у алгоритму методологије може предвидети избор континуираног мониторинга или избор редунданције, као ефикасних, али често и скувих решења.

Већа примена би се могла остварити на индустријским системима, нарочито оним који су карактеристични по ремонтима, као што су жељезаре и термоелектране. У индустрији је често неадекватно основно одржавање, па би примена развијених методологија и поступака била изузетно корисна.

13. ЗАКЉУЧАК

Одржавање техничких система Копнене Војске тренутно се заснива на методологији одржавања која препознаје само две основне концепције одржавања а то су превентивно и корективно одржавање. У новим нормативно правним документима, који регулишу предметну област у Војсци, као концепција одржавања егзистира и комбинација превентивног и корективног одржавања, али њена адекватна примена није методолошки још разрађена. Анализирајући досадашњи приступ одржавању техничких система у Копненој Војсци, може се закључити следеће: примена основних модела превентивног одржавања (замена елемената и склопова по фиксном временском или експлоатационом ресурсу) и корективног одржавања, не праћење нових научних сазнања и метода у откривању потенцијалних отказа а самим тим и примене адекватне концепције одржавања, нерешен начин прикупљања података о понашању техничких система током њихове употребе а који би се могли на ваљан начин искористити у циљу побољшања постојећег система одржавања, не успостављање везе између носиоца развоја техничких система, јединице која се бави одржавањем дотичног техничког система и корисника техничког система у циљу праћења система у раду и евентуално благовременог покретања поступка реконструкције техничког система или реинжењеринга уколико је поузданост неког од елемената или подсистема техничког система мања од пројектоване (отклањање слабих места), и др.

Претходно изнети закључци су били повод да се изврши анализа могућности побољшања постојеће методологије одржавања као кључног сегмента система одржавања техничких система на употреби у Копненој Војсци, а у циљу стварања потребних услова за одржавање захтеване поузданости и расположивости техничких система током њиховог радног века. Имајући у виду и то да су концепције одржавања главна обележја методологије одржавања а како до сада није развијена јасна методологија одржавања на основу које се може извршити избор одговарајућих концепција одржавања техничких система, акценат у дисертацији је управо дат на дефинисању методологије за избор одговарајућих концепција одржавања склопова и подсистема техничких система.

Обзиром да је истраживање могућности дефинисања одговарајуће методологије за избор концепција одржавања било обимно за један сложени технички систем као што је специјално војно возило (нпр. тенк), предмет истраживања у овој дисертацији био је усмерен на дефинисање методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, која ће омогућити стварање услова за одржавање захтеване поузданости и расположивости предметних погонских агрегата током њиховог пројектованог радног века. На избор погонских агрегата за предмет истраживања највише је имало утицаја то што погонски агрегати представљају виталне и кључне техничке системе за обезбеђење одговарајуће покретљивости специјалних војних возила, као једне од три кључне карактеристике специјалних војних возила.

У складу са дефинисаним предметом и циљем истраживања, извршен је преглед релевантних библиографских извора и остварених резултата у предметној области истраживања. Анализирани су и укратко представљени резултати седам релевантних радова са критичким освртом (поглавље 2). На бази проучаваних радова из предметне области и постављеног циља дисертације, закључено је да је методологија одржавања према поузданости (RCM) најпогоднија основа за развој нове методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила. Поред RCM методологије, а у циљу сагледавања могућности примене и других познатих методологија одржавања као полазне основе код реализације циља истраживања ове дисертације, описане су и методологија тоталног продуктивног одржавања (TPM) и методологија одржавања према раду (OOM), чија основна обележја се у мањем делу поклапају са RCM методологијом а у већем делу допуњују (поглавље 3).

Обзиром да главно обележје сваке методологије одржавања представљају одређене концепције одржавања, детаљније су појашњене концепције одржавања (поглавље 4) чија је примена актуелна како у нашој Војсци тако и у оружаним снагама других држава, а у циљу стицања бољег увида у предности и недостатке појединих концепција одржавања.

Имајући у виду да се квалитетни поступак одржавања техничких система према стању, као посебног облика превентивног одржавања и облика одржавања коме се у данашње време све више тежи код одржавања сложених техничких система, не

може реализовати без примене дијагностике (праћења) техничког стања, детаљније је описана дијагностика техничког система односно возила (поглавље 5) са становишта сагледавања могућности примене појединих облика и метода дијагностике код специјалних војних возила и њихових погонских агрегата.

Успешно планирање, пројектовање и реализација сложених техничких система захтева системски прилаз, те је из тих разлога системском инжењерству посвећена посебна пажња (поглавље 6) као научној области чији принципи су узети у обзир код дефинисања методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила. Акцент је дат на примени системског инжењерства код пројектовања техничког система, што подразумева укључење и већег броја захтеваних пројектних параметара код пројектовања техничког система из области анализе логистичке подршке са тежиштем на пројектовању техничког система који ће бити погодан за одржавање, како би се по развоју и увођењу у оперативну употребу техничког система омогућило и ефективно одржавање захтеване поузданости и расположивости датог система. Ово посебно из разлога како би се спречила досадашња пракса да се о одговарајућој концепцији одржавања размишља тек по увођењу техничког систему у оперативну употребу, кад је већ сувише касно за било какав утицај на конструкцију техничког система са становишта његове погодности за одржавање као и за извршење одређених анализа које претходе избору најповољније концепције одржавања. Посебан акценат је дат на Анализи логистичке подршке (LSA), као саставном делу системског инжењерства, која се врши током целог животног циклуса техничког система а чији резултати анализа су предложени да се користе код избора одговарајућих концепција одржавања техничких система у складу са ново дефинисаном методологијом за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система.

Анализиране су специфичности погонских агрегата специјалних војних возила (поглавље 7), у делу који се односи на њихову употребу и одржавање, а које треба имати у виду код дефинисања концепција одржавања. Закључено је да је један од основних проблема код сагледавања могућности унапређења система одржавања техничких система на употреби у Копненој војсци па самим тим и погонских агрегата непостојање уређеног система за прикупљање података о понашању техничких система у експлоатацији. Анализирајући недовољност података за

статистичку обраду и непрецизност података о одржавању и отказима који постоје у евиденцији Копнене војске, констатовано је да се због тога мора још више узети у обзир знање и искуство које поседују корисници и одржаваоци технички система на употреби у Копненој војсци.

Потом је дефинисана оригинална методологија за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничког система (поглавље 8). Методологија се базира на RCM методологији а резултати LSA се користе као улазни подаци у алгоритам методологије за избор одговарајућих концепција одржавања појединих склопова и подсистема техничког система. На избор RCM методологије као основе за развој методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила највише утицаја имало је то што поменута методологија акценат даје на очувању функције система и што избору одговарајуће концепције одржавања за поједине склопове техничког система, претходи детаљно сагледавање карактеристика потенцијалних отказа датих склопова и начин њиховог спречавања. Као новина ново дефинисаном методологијом је предвиђено да се концепција одржавања склопова и подсистема као и погодност техничког система за одржавање разматра још током фазе пројектовања и развоја техничког система тако да се пројектант суочава са знатно већим бројем захтевних параметара него што је то раније био у случај а у циљу стварања одређених предуслова за ефективније и ефикасније одржавање предметних техничких система. Ново дефинисана оригинална методологија је детаљно појашњена, почев од анализа које је неопходно спровести у оквиру LSA од најраније фазе животног циклуса, преко оригиналног алгоритма методологије за избор концепција одржавања до образложења којим треба оправдати изабране концепције одржавања. Систематичност FMEA анализе, као једне од анализа које се врше у оквиру LSA, омогућује увид у све потенцијалне начине отказа на нивоу узрока. Такође, код FMEA уведено је формирање матрице ризика отказа склопова и подсистема техничког система, на основу последица и интензитета отказа, ради избора концепције одржавања.

Све концепције одржавања се равноправно узимају као могућност за избор, под условом да задовољавају посебно дефинисане захтеве техничке изводљивости и ефективности односно да се обезбеди захтевана поузданост, расположивост и безбедност техничког система. Не искључује се могућност и модернизације неког

од склопова и подсистема техничког система, као једне од могућих опција у алгоритму методологије, ако ниједна концепција одржавања није одговарајућа са становишта обезбеђења захтеване поузданости, расположивости и безбедности. Током фазе употребе техничког система, предвиђено је да се врши ажурирање анализе логистичке подршке и по потреби ревизија постојећих концепција одржавања појединих склопова и подсистема техничког система а након тога и редефинисање програмске шеме одржавања. Вишегодишња повратна веза и процес сталног побољшавања иницијалне програмске шеме одржавања током фазе употребе ствара добру основу за одрживост ефективнијег система одржавања.

Потом је приказана примена, такође ново развијене оригиналне методологија за ревизију постојеће концепције одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, која садржи претходно описану методологију за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система (поглавље 9). На бази прикупљених података о отказима погонских агрегата специјалних војних возила, извршено је одређивање параметара поузданости и теоријске расподеле времена рада погонског агрегата до отказа које најбоље апроксимира емпиријску расподелу. На основу резултата испитивања, за теоријску расподелу времена рада до отказа погонског агрегата усвојена је Вејбулова двопараметарска расподела. Методологија ревизије концепција одржавања је примењена и верификована на подсистему за довод горива погонског агрегата, који се показао као најкритичнији након извршене Парето анализе, јер је имао око 70% евидентираних отказа у посматраном периоду експлоатације, и покретном елементу погонског агрегата - клипњачи, чији је отказ проузроковао највећу штету на погонском агрегату. Код примене методологије ревизије полази се од резултата примене постојеће концепције одржавања која се подвргава реверзној FMEA анализи као и резултата других анализа у оквиру LSA за које се проценило да би њихови резултати позитивно допринели дефинисању одговарајућих концепција одржавања склопова подсистема за довод горива. Након спроведених анализа у оквиру LSA, извршен је избор концепција одржавања за елементе и склопове подсистема за довод горива као и интервали за њихове извођење, након примене методе вишекритеријумског одлучивања уз претходно дефинисани услов да критеријум захтеване расположивости има коефицијент значајности 90% а критеријум економичности

10%. У поређењу са постојећом концепцијом превентивног одржавања подсистема за довод горива погонског агрегата, ново изабраним концепцијама одржавања се предлажу додатне активности у виду одржавања према стању критичних склопова и елемената подсистема погонског агрегата које нису обухваћене постојећом концепцијом превентивног одржавања. У циљу оптимизације интервала одржавања, предлог је да се предложене додатне активности одржавања обухвате већ постојећим I и II техничким прегледом уз незнатно продужење временског интервала за њихово извршење. Дефинисаном оригиналном методологијом за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система могу се адекватно изабрати концепције одржавања и без података из експлоатације, на начин да се користе експертска знања од стране корисника и одржавалаца погонског агрегата специјалних војних возила што је једна од одлика ове квалитативне методологије. Иако није било током посматраног периода експлоатације евидентираних отказа склопа ПВП и зупчасте летве, експертском анализом се дошло до закључка да би заглављивање зупчасте летве ПВП при максималном броју обртаја погонског агрегата могло проузроковати хаварију погонског агрегата, те је с тим у вези предложена одређена модернизација датог склопа ПВП увођењем електронски управљачке јединице односно одржавања према стању датог склопа ПВП док се не реши модернизација. Код избора концепција одржавања, највећи акценат се ставља на могућност примене одржавања према стању. Ако је неизвесност толика да ни једна концепција не може задовољити постављене критеријуме и ако се ради о систему чији је отказ критичан по безбедност људи и функционалност система преостаје обавезна реконструкција или модернизација.

Код примене методологије ревизије концепције одржавања код покретних елемената погонског агрегата, у оквиру Анализе задатка одржавања (МТА) LSA дефинисан је оригинални поступак за откривање узрока отказа клипњаче погонских агрегата специјалних војних возила, као специјалног догађаја и једног од иницијатора непланског одржавања. Након визуелног прегледа, фрактографске анализе, металографских испитивања, хемијске анализе, испитивања површине узорка и прорачуна напонског стања клипњаче као главни узроци лома клипњаче идентификовани су неадекватна машинска обрада, изостанак полирања и највише

напонско стање у делу клипњаче где се десио лом клипњаче. У циљу превенције отказа клипњаче предложено је да се: повећа радијус заобљења на местима тела клипњаче са повећаном концентрацијом напона, ради смањења концентрације напона клипњаче, да се у оквиру завршне обраде предвиди полирање клипњаче као и да се побољша контрола израде клипњаче током серијске производње. На основу наведених резултата оригиналног поступка за анализу узрока отказа клипњаче може се извести општи закључак да је дефинисани оригинални поступак анализе примењив не само код отказа клипњаче, већ и код отказа осталих машинских делова изложених променљивим динамичким оптерећењима. Поступак анализе утврђивања узрока отказа омогућује форензичким инжењерима да утврде тачан узрок отказа и на основу тога предложи адекватне превентивне активности. Значај дефинисаног поступка анализе огледа се и у чињеници да од тачности резултата анализе отказа директно зависи и ефикасност и успешност предложених и спроведених мера.

Поред наведеног, спроведеном анализом специјалног догађаја - лома клипњаче погонског агрегата, је утврђено да није оправдано мењати одређене елементе и склопове погонског агрегата по истеку дефинисаног експлоатационог ресурса од 500 мч, а да се претходно не изврши анализа карактеристике отказа таквог елемента и склопа и његово тренутно техничко стање. Обзиром да интензитет криве отказа клипњаче не одговара облику криве интензитета отказа за које одговара превентивна замена, превремена замена постојеће клипњаче са новом клипњачом лошијег квалитета је имала за последицу хаварију погонског агрегата. Ово је један од разлога који је утицао да се предложи да се генерални ремонт погонског агрегата избаци као обавезан након 500 мч рада, већ да се током II Техничког прегледа (након 400 мч) изврши снимање спољне брзинске карактеристике погонског агрегата на пробном столу у лабораторији. Уколико би одступање спољно-брзинске карактеристике било веће од дозвољеног предлог је да се приступи монтажи погонског агрегата до делова који су предвиђени, ради њихове дефектације и евентуалне оправке или замене у складу са прописаним активностима генералног ремонта. На овај начин, погонски агрегат би се растављао тек кад би се за то указала стварна потреба и створили би се услови за максимално искоришћење корисног животног века погонског агрегата.

Након детаљне разраде и приказане примене и верификације ново развијене методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система и методологије за ревизију постојеће концепције одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, описани су потребни услови за квалитетну примену нове методологије одржавања (поглавље 10), као и очекујући ефекти нове методологије одржавања (поглавље 11) и могућности за њену ширу употребу (поглавље 12).

Постављени циљ истраживања да се изврши усавршавање постојећег система одржавања погонских агрегата специјалних војних возила у делу који се односи на развој нове методологије одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, која ће омогућити стварању услова за одржавање захтеване поузданости и расположивости предметних погонских агрегата током њиховог пројектованог радног века, је остварен према следећем:

- Развијена је нова оригинална методологија за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система на употреби у КоВ;
- Развијена је оригинална методологија за ревизију постојеће концепције одржавања погонских агрегата специјалних војних возила и верификована на најкритичнијем подсистему за довод горива погонског агрегата у складу са Парето анализом, уз постављени услов да се одржи захтевана расположивост погонских агрегата специјалних војних возила.
- Дефинисан је оригинални поступак за откривање узрока лома клипњаче погонског агрегата, као специјалног отказа, који је проузроковао највећу штету на погонском агрегату специјалних војних возила. Дефинисани поступак подразумева и дефинисање одређених активности које је неопходно предузети како се такви откази у будуће не би понављали. Поред наведеног, оригинални поступак откривања узрока отказа је примењив и код отказа осталих машинских елемената изложених променљивим динамичким оптерећењима.

Основна хипотеза докторске дисертације, да се за дате услове реалног система и утицаје околине може дефинисати нова методологија одржавања погонских

агрегата специјалних војних возила у циљу стварања услова за одржавање захтеване поузданости и расположивости предметних погонских агрегата, је потврђена ново развијеном оригиналном методологијом за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система и њеном применом у оквиру оригиналне методологије за ревизију постојеће концепције одржавања погонских агрегата специјалних војних возила.

Постојећа методологија одржавања погонских агрегата специјалних војних возила на употреби у Копненој војсци, која се базира само на превентивној и корективној концепцији одржавања, може се адекватно побољшати у циљу постизања ефективнијег одржавања предметних погонских агрегата. Претходно изнето је потврђено на примеру примене нове методологије код најкритичнијег подсистема погонског агрегата - подсистема за довод горива, где су за поједине склопове и подсистеме подсистема за довод горива дефинисани додатни модели превентивног одржавања као што је одржавање према стању (за бризгаљке, пумпу високог притиска) а за неке елементе као што је клипњача, предложена је и модернизација обзиром да није било могуће дефинисати концепцију одржавања која би могла гарантовати одрживост захтеване поузданости и расположивости погонског агрегата.

Анализа начина и ефеката отказа погонских агрегата специјалних војних возила је извршена на бази прикупљених података о отказима погонских агрегата у посматраном осмогодишњем периоду експлоатације. Резултати анализе отказа су углавном коришћени код одређивања поузданости погонских агрегата и формирања матрице ризика, која је уведена као новина код FMEA.

Ново дефинисана методологија за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система је квалитативна, обзиром да и без статистичких података о отказима техничких система током експлоатације, даје могућност да се на бази извршених анализа које се раде у оквиру LSA, а које се углавном ослањају на искуства корисника и одржаваоца таквог система, долази до одређених података који представљају основу за избор одређених концепција одржавања за поједине елементе, склопове и подсистеме техничких система.

Имајући у виду да су у складу са постављеним циљем развијене оригиналне методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система и ревизију постојеће концепције одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, које су дефинисане на бази RCM методологије, чиме је потврђена хипотеза да методологија RCM може бити основа за развој нове методологије у циљу постизања ефективнијег одржавања погонских агрегата;

Свака од изабраних концепција одржавања за поједине склопове и подсистеме најкритичнијег подсистема погонског агрегата је детаљно образложена како би се потврдила оправданост њиховог избора, а методом вишекритеријумског одлучивања је одређен интервал извођења изабраних концепција одржавања, при чему је знатно више вреднован критеријум расположивости у односу на критеријум економичности, у складу са постављеним циљем да се новом методологијом допринесе стварању услова за одржавање захтеване поузданости и расположивости погонских агрегата односно ефективности система одржавања.

Научни допринос дисертације је остварен у:

- Дефинисању оригиналне методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система. Кораци при избору концепције одржавања су јасно дефинисани одговарајућим оригиналним алгоритмом, што на крају резултује усаглашавањем интервала извођења изабраних концепција одржавања. У оквиру методологије по први пут је уведена LSA, чији се подаци поред захтеване одрживости расположивости, поузданости и безбедности користе као основа код избора одговарајућих концепција одржавања склопова и подсистема техничких система. Такође, код FMEA која се ради у оквиру LSA, уводи се формирање матрице ризика отказа склопова и подсистема, на основу последица отказа и квалитативног интензитета отказа, ради избора концепција одржавања. Методологија је и квалитативна обзиром да уколико се не располаже са одређеним статистичким подацима о отказима система током експлоатације, њена примена је могућа коришћењем одређених квалитативних искустава корисника и експертских знања одржавалаца система;

- Дефинисању оригиналне методологије за ревизију постојеће концепције одржавања погонских агрегата специјалних војних возила, на бази методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система, са образложењем остварених позитивних ефеката применом методе вишекритеријумског одлучивања (критеријум расположивости и економски критеријум). У оквиру ове методологије је коришћена Парето анализа за одређивање критичних подсистема за које је потребно извршити ревизију постојеће концепције одржавања;
- Дефинисању оригиналног поступка за анализу узрока отказа клипњаче као специјалног догађаја базираног на примени више нумеричких и експерименталних анализа и испитивања. Приказани поступак је примењив и на утврђивање узрока отказа осталих машинских елемената изложених променљивом динамичком оптерећењу.

Како би се максимално искористили бенефити од развијене оригиналне методологије за избор концепција одржавања склопова и подсистема техничких система и створили услови за њену ефективнију примену неопходно је предузети одређене активности. Као прво, потребно је пројектовати информациони систем за праћење стања техничких система односно у конкретном случају погонских агрегата специјалних војних возила у експлоатацији, као део командно-информационог система који се односи на логистичку подршку. На тај начин би се регулисало системско прикупљање података о понашању система током његове употребе и самим тим створили услови за благовремену проверу ефеката примењене методологије за избор концепција одржавања датог техничког система и по потреби покретање поступка ревизије постојеће концепције одржавања уколико би резултати примењене концепције одржавања показали да одступају од захтеване.

Обзиром да већи број анализа које се раде у оквиру LSA, захтевају веће ангажовање људских ресурса, имплементација софтвера за подршку у извршењу предметних анализа LSA би са пројектованим информационом системом за праћење стања техничких система током њихове употребе и одржавања знатно побољшало ефективност примене предметне методологије одржавања.

Развој методологије за избор резервних делова у подршци одржавању погонских агрегата специјалних војних возила и његова интеграција у алгоритам методологије за избор концепција одржавања, би требао бити један од следећих корака у даљем истраживању у предметној области како би се створили услови за благовремено обезбеђење резервних делова за потребе извршења појединих активности одржавања из домена изабраних концепција одржавања склопова и подсистема техничких система.

Пројектовање, израда и уградња информационог и контролног система код виталних склопова и подсистема техничких система односно у конкретном случају код погонских агрегата специјалних војних возила би знатно побољшало ефикасност примене концепције одржавања која се односи на одржавање према стању, под условом да је уградња информационог и контролног система ефективна и ефикасна.

14. ЛИТЕРАТУРА

- [1] "Правилник о одржавању наоружања и војне опреме у Министарству одбране и Војсци Србије", Службени војни лист, број 06/2013.
- [2] Stanley N., Howard H., "Reliability-Centered Maintenance". Washington DC: Defense, Documentation Center, AD-A066-579. 1979.
- [3] Биочанин С., "Оптимална периодичност одржавања возила посебне намене", докторска дисертација, Машински факултет, Источно Сарајево, 2012.
- [4] Техничко упутство "Борбено возило пешадије БВП М-80А - Опис, руковање, основно и техничко одржавање", књига 1, Војна штампарија Београд, 1988.
- [5] Алексић М., "Методологија избора концепција одржавања комплексних бродских система", докторска дисертација, Војна академија, Београд, 2006.
- [6] Lai K.K., 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.
- [7] Milkie C.M. and Perakis A. N., "Statistical Methods for Planning Diesel Engine Overhauls in the U. S. Coast Guard", Naval Engineers Journal, Spring 2004.
- [8] Крстић Б., Деспотовић М., Крстић И., Крстић В., "Одређивање оптималне периодичности превентивног одржавања погонског мотора применом вишекритеријумске оптимизације", Трактори и погонске машине, 2009.
- [9] Петровић Г., Маринковић З., Милосављевић П., "Одређивање оптималног термина превентивног одржавања применом теорије Марковљевих процеса", Конференција одржавања „КОД-2009“ Бар, 2009.
- [10] Rajpal P.S., Shishodia K.S., Sekhon G.S., "An artificial neural network for modeling reliability, availability and maintainability of a repairable system", Reliability Engineering and System Safety 91 (2006) str.809–819.
- [11] Wright E. and others authors, "Defense Acquisition Management a Reader", Inc., New York, Bloomington, 2010.

- [12] "Applying MSG-3 to Out of Production Aircraft", Aircraft Technology Engineering & Maintenance, Issue 50, February-March 2001.
- [13] "Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment", National Aeronautics and Space Administration - NASA, September 2008.
- [14] Dunn S., "Reinventing the maintenance process: towards zero downtime", Queensland Maintenance Conference Proceedings, Queensland, Australia, May 1998.
- [15] Алексић М., Петковић Д., Станојевић П., "RCM Одржавање према поузданости", књига, Машински факултет Универзитета у Зеници, Зеница, 2011.
- [16] Moubray, J., "The Responsible Custodianship of Physical Assets", Aladon Ltd, 2002.
- [17] Smith, A., "Reliability-Centered Maintenance", McGraw Hill Publishing Co., Inc. 1993.
- [18] Nakajima S., "Introduction to Total Productive Maintenance", Productivity Press, Portland, OR, 1988.
- [19] Минић С., Арсенић Ж., "Модели одржавања техничких система", књига, Војноиздавачки завод, Београд, 1998.
- [20] Steven B., "Total Productive Maintenance", књига, The McGraw-Hill Companies, САД, 2006.
- [21] Минић С., "Истраживање модела превентивног одржавања према стању и њихова примена на моторним возилима", Магистарски рад, Машински факултет, Београд, 1988.
- [22] Тодоровић Ј., "Одржавање моторних возила - основи теорије одржавања", Машински факултет, Београд, 1994.
- [23] NES 45, Defence Standard 02-45 Issue 2 Ministry of Defence, Foxhill, BATH, July 2000.

- [24] Минић С., Тодоровић Ј., "Концепција и модел превентивног одржавања техничких система према стању са провером параметара стања", Војнотехнички гласник, број 6, Београд, 1994.
- [25] Васић Б., "Неодређености у одржавању", НИРО ОМО, Београд, 1997.
- [26] MIL-STD-1629A, 24 NOVEMBER 1980.
- [27] Зеленовић Д., Тодоровић Ј., "Ефективност система у машинству", Научна књига, Београд, 1990.
- [28] Арсенић, Ж., Васић, Б.: "Ефективност техничких система", Машински факултет, Београд, 1991.
- [29] Поповић, В., Васић, Б., и други, "Недоследности традиционалне FMEA и могућности њене модификације", XXVIII Научно-Стручни Скуп о одржавању машина и опреме, Будва, 2003.
- [30] "Failure Mode, Effect and Criticality Analysis", Warwick Manufacturing Group School of Engineering University of Warwick, Coventry, CV4 7AL, UK.
- [31] "Fault Tree Handbook with Aerospace Applications", NASA Office of Safety and Mission Assurance NASA Headquarters Washington, DC 20546 August, 2002.
- [32] McCormick N. J., "Reliability and risk analysis - methods and nuclear power applications", Academic Press, New York, 1981.
- [33] Вујошевић М., Макајић-Николић Д., "Моделирање процеса отказа и одржавања применом петријевих мрежа", Техничка дијагностика 2, Београд, 2003.
- [34] Roland J. Duphily, "Root Cause Investigation Best Practices Guide", Acquisition Risk and Reliability Engineering Department Mission Assurance Subdivision, AEROSPACE REPORT NO. TOR-2014-02202, May 30, 2014.
- [35] Woodhouse, J., "Combining the best bits of RCM, RBI, TPM, TQM, Six-Sigma and other solutions", The Woodhouse Partnership Ltd., July 2001.
- [36] Адамовић Ж., "Техничка дијагностика", Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1998.

- [37] Rebecca K. F., Bipin Sh., Anthony J. O., "The Use of a Checklist and Qualitative Notebooks for an Interactive Process of Teaching and Learning Qualitative Research", Lamar University, Beaumont, Texas, The Journal of Effective Teaching Vol. 11, No. 1, 2011, 62-79.
- [38] Pavel F., Jan K., Tomas S., David V., Jaroslav Z., "Some Risk Assessment Methods and Examples of their Application", Technical University of Liberec, <http://risk.rss.tul.cz/>.
- [39] "HAZOP Guidelines", Sydney NSW Australia 2000, January 2011.
- [40] Крстић Б., "Експлоатација моторних возила и мотора", књига, Машински факултет, Крагујевац, 1997.
- [41] Клинар И., Торовић Т., Николић Н., Антонић Ж., "Дијагностика клипно-цилиндарских склопова мотора СУС", Факултет техничких наука, Трактори и погонске машине, Vol. 9. No.2. p. 36-41, Нови Сад, 2004.
- [42] Адамовић Ж., "Логистички систем одржавања", Привредни преглед, Београд, 1989.
- [43] Перић С., "Развој метода дијагностике стања са аспекта физичко хемијских и триболошких карактеристика уља код моторних возила", докторска дисертација, Војна академија, Београд, 2009.
- [44] Бугарић У., Петровић Д., "Моделирање система опслуживања", књига, Машински факултет, Београд 2008. године.
- [45] "International procedure specification for Logistics Support Analysis LSA, S3000L", Aero Space and Defence Industries Association of Europe - ASD, Issue 1 2010-04-01.
- [46] Yong Chen, Xi Chen, He Ren, "Reliability Based Aircraft Maintenance Optimization and Applications", Academic Press, March 2017.
- [47] "Life-Cycle Cost/Capability Analysis for Defence Systems", AMRL, Defence Science and Technology Organisation, Department of Defence, PORT MELBOURNE VIC 3207.

- [48] Мудека С., Ракић С., "Конструкција борбених возила", књига, Војна академија, Београд 2008. године.
- [49] Техничко упутство "Тенк М-84 - Опис, руковање, основно и техничко одржавање", књига 1, Војна штампарија Београд, 1988.
- [50] Military Standard: Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, MIL-STD-1629A, 1980.
- [51] Wilcox R, Karaszewski Z, Ayyub B., "Methodology for Risk-Based Technology Applications to Marine System Safety". In: Ship Structure Symposium 1996. (стр. 150)
- [52] Тодоровић, Ј., "Практични проблеми примене метода одржавања према ризику", XXVIII Научно-стручни скуп о одржавању машина и опреме, Будва, 2003.
- [53] "Norsok Standard Z-013 - Risk and emergency preparedness analysis" Rev. 2, 2001-09-01, Norwegian Technology Centre, 2001.
- [54] Moubray, J., "Reliability-centered Maintenance II", Industrial Press, 1997.
- [55] Ђатић Д., "Развој и примена метода теорије поузданости", Монографија, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2005.
- [56] Ivanović, G., Stanivuković, D., "Поузданост - анализа и пројектовање", Техничка управа ССНО, 1988.
- [57] "Statistics Toolbox For Use With MATLAB", The Math Works, R2015a.
- [58] Koch R., "The 80/20 Principle", књига, NICHOLAS BREALEY PUBLISHING, London, 1999.
- [59] Rakic S., Bugaric U., Radisavljevic I., Bulatovic Z., "Failure analysis of a special vehicle engine connecting rod", Engineering Failure Analysis 79 (2017) 98-109.
- [60] State Standard of the Russian Federation "GOST 4543-71. Standard specifications for structural alloy steel bars", 1971.
- [61] Спасић, В., "Проблем торзионих осцилација коленастог вратила мотора са унутрашњим сагоревањем", Магистарска теза, Машински факултет Универзитета у Београду, Београд 1990.

- [62] SRPS M.A1.026 Surface Roughness Institute for Standardization of Serbia (2011) (www.iss.rs).
- [63] Булатовић Ж. и други аутори, "Техно-економска анализа модернизације склопа пумпе високог притиска погонског агрегата тенка М-84А", Војнотехнички инстиут, Београд, 2015.
- [64] СОРС 1096/85, "Тактичко-технички захтеви за развој техничких материјалних средстава", 1985.
- [65] Вукадиновић С., Теодоровић Д., "Елементи теорије поузданости и теорије обнављања техничких система", друго-допуњено издање, Привредни преглед - Београд, 1979.
- [66] Saaty T.L., "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process", EJOR 48, 9, 1990.
- [67] Техничко-ремонтна документација за генерални ремонт тенковског мотора В46-ТК, Технички ремонтни завод „Чачак“, 2009.

Преглед коришћених ознака

R_s	-	стварни ниво поузданости
R_d	-	дозвољени ниво поузданости
t_k	-	периодичност контроле нивоа поузданости
λ	-	интензитета отказа
T_{Frec}	-	учестаност задатка оправке (1/година)
AOR	-	годишњи оперативни захтеви [радни сати/годишње]
MTBF	-	средње време између отказа [радни сати]
FMR	-	коэффициент начина отказа
γ_{corr}	-	корекциони фактор MTBF (у случају посебних услова на местима инсталације)
γ_{MB}	-	корелациони фактор за конверзију различитих мерних јединица AOR и MTBF
i	-	индекс за идентификацију FMR једног начина отказа у оквиру анализираног система
k	-	број различитих начина отказа
n	-	укупан број података (величина узорка)
t_{min}	-	минимално време рада до отказа
t_{max}	-	максимално време рада до отказа
t_{sr}	-	средња вредност времена рада до отказа,
SD	-	стандардна девијација времена рада до отказа,
mediana	-	медијана времена рада до отказа,
rang	-	ранг (распон) времена рада до отказа
v	-	коэффициент варијације
z	-	број интервала за време рада до отказа
n_i	-	број отказа у интервалу,
S_{vint}	-	средња вредност интервала
i_d	-	доња граница интервала,

i_g	-	горња граница интервала,
c_{nis}	-	процењена вредност броја отказа у средини интервала (израчуната као аритметичка средина броја отказа на почетку и на крају интервала);
f	-	емпиријска густина функције непоузданости,
F	-	емпиријска функција непоузданости,
R	-	емпиријска функција поузданости,
D_n	-	одступање између теоријске и емпиријске расподеле код теста Колмогоров- Смирнова
χ^2	-	одступање између теоријске и емпиријске расподеле код теста Пирсона
η_w	-	параметар размере Вејбулове двопараметарске расподеле
β_w	-	параметар облика Вејбулове двопараметарске расподеле
F_{gg}	-	гасна сила која делује на осовиницу главног клипа
F_{ig}	-	инерцијална сила праволинијских осцилаторних маса
F_{rg}	-	резултујућа гасна сила на осовиници клипа
D_{kl}	-	пречник клипа
p_g	-	притисак у главном цилиндру мотора добијен индицирањем или прорачуном
p_k	-	притисак картерских гасова добијен мерењем на пробном столу, који је у нормалним условима близак атмосферском притиску
a_g	-	убрзање праволинијских осцилаторних маса главног цилиндра
m_{og}	-	редукована праволинијска осцилаторна маса главног цилиндра у коју улазе маса клипа, клипних прстенова, осовинице, осигурача осовинице и редуковане масе главне клипњаче
N_g	-	нормална компонента резултујуће силе на клипу
K_g	-	компонента резултујуће силе у правцу осе главне клипњаче

T_g	-	тангенцијална сила клипњаче
R_g	-	радијална сила клипњаче
M_{ig}	-	индицирани обртни момент главног цилиндра мотора
R_a	-	храпавост површине
$A(t)$	-	расположивост погонског агрегата,
t_r	-	време у раду,
$t_{\check{r}}$	-	време чекања на рад у исправном стању,
t_p	-	време превентивног одржавања,
t_{kor}	-	средње време корективног одржавања за посматрани интервал,
t_d	-	додатно време за оправку,
$t_{\check{o}}$	-	време чекања на оправку,
t_l	-	логистичко време за транспорт техничког система до радионице на оправку,
$C(t)$	-	средња цена трошкова одржавања погонског агрегата по јединици времена рада,
C_k	-	трошкови корективног одржавања,
C_p	-	трошкови превентивног одржавања,
t	-	време рада погонског агрегата специјалног војног возила до замене елемента или склопа.
l_{ik}	-	вредност критеријума оптималности „k” за алтернативу „i”
l_{i1}	-	вредност критеријума оптималне расположивости за алтернативу „i”,
l_{i2}	-	вредност критеријума оптималних трошкова за алтернативу „i”
w_k	-	тежински коефицијент
a_i	-	фактор за одређивање најбољих алтернатива

Списак слика

3.1.	Карактеристике отказа компоненти авиона [11]	23
3.2.	Историјски развој RCM [11]	24
3.3.	Алгоритам за доношење одлуке о активностима одржавања-RCM [13].....	26
3.4.	Компоненте RCM програма [13]	28
3.5.	Методологија одржавања према раду [19]	37
4.1.	Концепције одржавања техничких система.....	39
4.2.	Подручје примене превентивних замена елемената система [22]	42
4.3.	Концепција превентивног одржавања према стању са провером параметара стања [19].....	44
4.4.	Концепција превентивног одржавања према стању са контролом нивоа поузданости [18]	45
5.1.	Унутрашњост резервоара горива тенка М-84.....	62
5.2.	Унутрашњост радног простора хаварисаног мотора тенка М-84.....	62
5.3.	Унутрашњост радног простора цилиндра мотора тенка М-84А.....	62
5.4.	Унутрашњост цевовода система за довод горива тенка М-84А.....	62
5.5.	Пример испитивања пукотина помоћу пенетраната.....	63
6.1.	Матрица - животни циклус система/процеса пројектовања [44].....	68
6.2.	Преглед трошкова који указује на значај LSA током раних фаза животног циклуса техничког система [45]	71
6.3.	Приказ видљивих и невидљивих трошкова техничких система [47].....	71
7.1.	Структура специјалног војног возила [48]	73
7.2.	Композиција тенка М-84А [49]	74
7.3.	Мотор В46-ТК.....	76

8.1.	Кораци (алгоритам) методологије за избор одговарајућих концепција одржавања склопова и подсистема техничког система.....	87
8.2.	Примена методологије за избор концепције одржавања склопова и подсистема техничког система у току његовог животног циклуса.....	88
8.3.	LSA у фазама животног циклуса техничког система [45].....	89
8.4.	Кораци FMEA.....	101
8.5.	Груписање начина отказа у оквиру LSA [45]	103
8.6.	Криве промене интензитета отказа у времену [2].....	110
8.7.	Корелације у оквиру Анализе задатка одржавања [45]	115
8.8.	Рационализација интервала одржавања.....	127
8.9.	Усаглашавање интервала извођења превентивног одржавања.....	128
9.1.	Физичко рашчлањење мотора СУС (погонског агрегата) специјалног војног возила и функционално рашчлањење подсистема за довод горива..	133
9.2.	Кораци методологије за ревизију постојеће концепције одржавања.....	134
9.3.	Графички приказ емпиријске вредности густине функције непоузданости.....	139
9.4.	Графички приказ емпиријске вредности функције поузданости.....	139
9.5.	Графички приказ одступања Вејбулове (крива плаве боје) апроксимативне расподеле од емпиријске расподеле (крива црвене боје)	140
9.6.	Парето дијаграм отказа склопова и подсистема погонског агрегата (мотора СУС) у посматраном осмогодишњем периоду експлоатације.....	142
9.7.	Шема подсистема за довод горива.....	144
9.8.	Шема приказа позиције клипњаче у структури погонског агрегата.....	147

9.9.	Склоп ПВП.....	156
9.10.	Рашчлањивање склопа 10-01.....	157
9.11.	Отказ брегастог вратила склопа ПВП 10-01 – оправка склопа 10-01 заменом.....	157
9.12.	Оштећења горњег и доњег кућишта погонског агрегата.....	159
9.13.	Клип са делом поломљене клипњаче.....	161
9.14.	Дијаграм напон-деформација материјала клипњаче – типичан изглед.....	164
9.15.	Распоред сила главног (левог) цилиндра погонског агрегата.....	165
9.16.	Kg сила у главној клипњачи (меродавна за анализу методом коначних елемената)	167
9.17.	Модел клипњаче.....	167
9.18.	а.) Поље напона у клипњачи б.) Изглед поломљене клипњаче.....	168
9.19.	а.) Поломљена клипњача б.) Металографски узорак за макроструктурно испитивање (пресек А-А)	169
9.20.	Механичко оштећење површине лома клипњаче.....	169
9.21.	а.) Трагови машинске обраде на површини тела клипњаче; б.) и в.) увећан приказ трагова машинске обраде на површини тела клипњаче.....	170
9.22.	Пресек клипњаче: трагови обраде на прелазу са равног дела према странама.....	170
9.23.	Мерење површинске храпавости клипњаче.....	171
9.24.	Микроструктура материјала клипњаче.....	171
9.25.	SEM фотографија површине прелома клипњаче која показује сферна "удубљења" што одговара микроскопским празнинама које иницирају стварање пукотина.....	172

9.26.	SEM фотографија дела преломне површине клипњаче (црвена стрелица на макрографу у горњем левом углу) која приказује стрије (површина означена црвеном тачкастом линијом на SEM слици).....	172
9.27.	Места на клипњачи где је мерена површинска тврдоћа.....	174
9.28.	Линије узорка на којим је извршено мерење микротврдоће клипњаче.....	174
9.29.	Алгоритам за избор концепција одржавања слопова и подсистема погонског агрегата.....	181
9.30.	Графички приказ зависности расположивости од периодичности превентивног одржавања погонског агрегата.....	187
9.31.	Графички приказ зависности средњих трошкова одржавања по јединици времена рада од периодичности одржавања погонског агрегата специјалних војних возила.....	188
9.32.	Графички приказ зависности алтернатива (расположивости и средњих трошкова одржавања по јединици времена рада) од периодичности одржавања погонског агрегата.....	191

Списак табела

2.1.	Упоредни приказ радова из области докторске дисертације.....	20
8.1.	Заглавље табеларног извештаја FMEA у оквиру LSA [45].....	100
8.2.	Расподела учестаности начина отказа [45].....	104
8.3.	Вероватноће детекције отказа [45].....	104
8.4.	Категоризација последица отказа техничког система.....	106
8.5.	Матрица ризика отказа.....	108
8.6.	Легенда матрице ризика отказа.....	108

8.7.	Најповољније активности одржавања у зависности од типова елемената техничког система.....	116
8.8.	Симболи формуле за прорачун учестаности задатка оправке (8.1.).....	119
9.1.	Време рада до отказа погонских агрегата специјалних војних возила.....	136
9.2.	Класификација отказа погонских агрегата по интервалима.....	138
9.3.	Процењене вредности индикатора поузданости.....	138
9.4.	Структура отказа елемената и склопова подсистема за довод горива.....	146
9.5.	Категоризација ризика отказа.....	152
9.6.	Матрица ризика отказа склопова и подсистема погонског агрегата.....	152
9.7.	Легенда матрице ризика отказа погонског агрегата.....	152
9.8.	FMEA за подсистем за довод горива погонског агрегата	153
9.9.	FMEA отказа клипњаче погонског агрегата.....	154
9.10.	Рашчлањивање пумпе високог притиска (ПВП).....	156
9.11.	Спецификација погонског агрегата специјалног војног возила.....	160
9.12.	Хемијски састав клипњаче дефинисан стандардном спецификацијом и резултати одређивања хемијског састава клипњаче (%).....	173
9.13.	Површинска тврдоћа клипњаче.....	174
9.14.	Средња вредност микротврдоће клипњаче.....	174
9.15.	Изабране концепције одржавања по појединим елементима и склоповима подсистема за довод горива погонског агрегата.....	182
9.16.	Интервали периодичности одржавања погонског агрегата у зависности од тежинских коефицијената.....	191

ПРИЛОГ 1. Подаци о евидентираним отказима погонских агрегата специјалних војних возила током осмогодишњег периода експлоатације

**Подаци о евидентираним отказима погонских агрегата специјалних војних возила
током осмогодишњег периода експлоатације**

Р. бр.	Фабрички број спец. војног возила	Датум пријаве отказа	Датум отклањања отказа	Пређени пут возила [km]	Мото часова рада погонског агрегата до отказа [мч]	Називи отказалих елемената и склопова погонског агрегата	Цена материјалне компоненте код отклањања отказа [НЈ]	Укупно време за отклањање отказа ($t_{kor} + t_d$) [h]
1	138	05.08.97.	12.08.97.	805	135	Клипњача	25,000	120
2	5	11.11.97.	11.11.97.	1301	166	Бризгаљка	440	23
3	72	18.10.97.	18.10.97.	1139	221	Бризгаљка	440	23
4	72	18.10.97.	18.10.97.	1139	221	ЦРЕВО 10-7X140	50	13
5	70	04.11.97.	04.11.97.	622	229	Бризгаљка	110	23
6	6	12.01.98.	12.01.98.	1411	248	Бризгаљка	220	23
7	127	04.11.97.	04.11.97.	1389	251	Бризгаљка	110	23
8	73	07.10.97.	07.10.97.	1314	260	Бризгаљка	550	23
9	9	10.11.97.	10.11.97.	1911	263	Бризгаљка	110	23
10	55	26.10.97.	26.10.97.	1693	272	Бризгаљка	220	23

Р. бр.	Фабрички број спец. војног возила	Датум пријаве отказа	Датум отклањања отказа	Пређени пут возила [km]	Мото часова рада погонског агрегата до отказа [мч]	Називи отказалих елемената и склопова погонског агрегата	Цена материјалне компоненте код отклањања отказа [НЈ]	Укупно време за отклањање отказа ($t_{kor} + t_d$) [h]
11	101	28.09.97.	28.09.97.	1672	294	Бризгаљка	110	23
12	101	21.09.97.	21.09.97.	1672	294	ЦРЕВО 10-7X20	50	13
13	135	09.09.97.	09.09.97.	1636	307	Заптивач на чепу за испуштање уља	10	5
14	87	03.11.97.	03.11.97.	942	317	Бризгаљка	110	23
15	101	09.12.97.	09.12.97.	1765	317	Бризгаљка	110	23
16	33	26.10.97.	26.10.97.	1908	320	Бризгаљка	330	23
17	33	18.01.98.	18.01.98.	1908	320	Бризгаљка	330	23
18	39	29.10.97.	29.10.97.	2269	322	Бризгаљка	220	23
19	5	12.10.97.	12.10.97.	2816	331	Бризгаљка	330	23

Р. бр.	Фабрички број спец. војног возила	Датум пријаве отказа	Датум отклањања отказа	Пређени пут возила [km]	Мото часова рада погонског агрегата до отказа [мч]	Називи отказалих елемената и склопова погонског агрегата	Цена материјалне компоненте код отклањања отказа [НЈ]	Укупно време за отклањање отказа ($t_{kor} + t_d$) [h]
20	60	03.02.97.	03.02.97.	2216	332	Мембрана вентила за испуштање ваздуха	20	5
21	102	24.01.98.	24.01.98.	1137	345	Бризгаљка	110	23
22	102	24.01.98.	24.01.98.	1137	345	Елемент пречистача	100	11
23	111	31.12.97.	31.12.97.	1802	355	Бризгаљка	330	23
24	111	31.12.97.	31.12.97.	1802	355	Елемент пречистача	50	11
25	82	15.12.97.	15.12.97.	2113	360	Турбокомпресор	150	43
26	82	15.12.97.	15.12.97.	2113	360	Цевовод NP8	50	13
27	90	10.08.97.	10.08.97.	1955	363	Мембрана вентила за испуштање ваздуха	20	5

Р. бр.	Фабрички број спец. војног возила	Датум пријаве отказа	Датум отклањања отказа	Пређени пут возила [km]	Мото часова рада погонског агрегата до отказа [мч]	Називи отказалих елемената и склопова погонског агрегата	Цена материјалне компоненте код отклањања отказа [НЈ]	Укупно време за отклањање отказа ($t_{kor} + t_d$) [h]
28	121	22.09.97.	22.09.97.	976	367	Трака обујмице	30	6
29	43	26.10.97.	26.10.97.	2547	371	Бризгаљка	110	23
30	89	12.10.97.	12.10.97.	1791	372	Бризгаљка	330	23
31	65	27.10.97.	27.10.97.	2871	379	Бризгаљка	110	23
32	114	24.12.97.	24.12.97.	2277	379	Бризгаљка	220	23
33	1	13.09.97.	13.09.97.	3009	380	Заптивач на чепу за испуштање уља	50	11
34	1	29.10.97.	29.10.97.	2680	382	Бризгаљка	110	23
35	52	01.11.97.	01.11.97.	2921	382	Бризгаљка	220	23
36	52	11.11.97.	14.11.97.	2921	382	ПВП за гориво	1,500	51
37	109	09.11.97.	09.11.97.	2148	384	Елемент пречистача	100	11

Р. бр.	Фабрички број спец. војног возила	Датум пријаве отказа	Датум отклањања отказа	Пређени пут возила [km]	Мото часова рада погонског агрегата до отказа [мч]	Називи отказалих елемената и склопова погонског агрегата	Цена материјалне компоненте код отклањања отказа [НЈ]	Укупно време за отклањање отказа ($t_{kor} + t_d$) [h]
38	42	30.09.97.	30.09.97.	3174	391	Бризгаљка	550	23
39	84	20.09.97.	20.09.97.	1942	391	Мембрана вентила за испуштање ваздуха	20	5
40	93	29.09.97.	29.09.97.	2200	391	Пумпа за уље	10	7
41	93	15.03.97.	31.03.97.	2200	391	Заптивка издувног колектора	10	384
42	84	20.09.97.	20.09.97.	1942	391	Славина	10	4
43	9	01.11.97.	01.11.97.	2442	392	Бризгаљка	330	23
44	1	11.11.97.	14.11.97.	2688	397	ПВП за гориво	1,500	51
45	105	24.12.97.	24.12.97.	2201	400	Бризгаљка	110	23
46	59	21.09.97.	21.09.97.	3075	404	Бризгаљка	330	23
47	60	22.11.97.	22.11.97.	2382	404	Бризгаљка	440	23

Р. бр.	Фабрички број спец. војног возила	Датум пријаве отказа	Датум отклањања отказа	Пређени пут возила [km]	Мото часова рада погонског агрегата до отказа [мч]	Називи отказалих елемената и склопова погонског агрегата	Цена материјалне компоненте код отклањања отказа [НЈ]	Укупно време за отклањање отказа ($t_{kor} + t_d$) [h]
48	6	10.12.97.	10.12.97.	2981	406	Бризгаљка	330	23
49	42	11.11.97.	14.11.97.	3190	406	ПВП за гориво	1,500	51
50	64	19.10.97.	19.10.97.	2795	407	Бризгаљка	330	23
51	53	12.11.97.	12.11.97.	2848	409	Бризгаљка	440	23
52	106	16.10.97.	16.10.97.	2457	415	Бризгаљка	330	23
53	63	11.11.97.	14.11.97.	3033	415	ПВП за гориво	1,500	51
54	106	09.11.97.	09.11.97.	2457	415	Стега	30	5
55	106	26.10.97.	26.10.97.	2457	415	Црево	50	7
56	121	16.11.97.	16.11.97.	1167	416	Бризгаљка	440	23
57	59	11.11.97.	14.11.97.	3122	419	ПВП за гориво	1,500	51
58	58	27.09.97.	27.09.97.	2685	436	Бризгаљка	440	23

Р. бр.	Фабрички број спец. војног возила	Датум пријаве отказа	Датум отклањања отказа	Пређени пут возила [km]	Мото часова рада погонског агрегата до отказа [мч]	Називи отказалих елемената и склопова погонског агрегата	Цена материјалне компоненте код отклањања отказа [НЈ]	Укупно време за отклањање отказа ($t_{kor} + t_d$) [h]
59	58	27.09.97.	27.09.97.	2685	436	Хладњак ваздуха	1,000	23
60	9	24.09.97.	24.09.97.	2387	438	ЦРЕВО 48-3X140	50	23
61	2	07.10.97.	07.10.97.	3277	444	Бризгаљка	220	23
62	56	11.11.97.	11.11.97.	3380	447	Бризгаљка	220	23
63	7	06.01.98.	06.01.98.	1990	447	Бризгаљка	330	23
64	98	27.01.98.	27.01.98.	2541	448	Бризгаљка	220	23
65	98	27.01.98.	27.01.98.	2541	448	Пречистач горива	10	4
66	2	11.11.97.	11.11.97.	3282	449	Бризгаљка	220	23
67	61	24.11.97.	24.11.97.	2502	459	Бризгаљка	660	23
68	18	30.09.97.	30.09.97.	2886	464	Славина	10	4

Р. бр.	Фабрички број спец. војног возила	Датум пријаве отказа	Датум отклањања отказа	Пређени пут возила [km]	Мото часова рада погонског агрегата до отказа [мч]	Називи отказалих елемената и склопова погонског агрегата	Цена материјалне компоненте код отклањања отказа [НЈ]	Укупно време за отклањање отказа ($t_{kor} + t_d$) [h]
69	62	12.01.98.	12.01.98.	3497	466	Елемент пречистача	50	11
70	129	17.11.97.	17.11.97.	2171	473	Бризгаљка	220	23
71	129	22.12.97.	22.12.97.	2171	473	Бризгаљка	660	23
72	44	17.11.97.	17.11.97.	4287	474	Бризгаљка	660	23
73	54	25.10.97.	25.10.97.	3240	474	ЦРЕВО 10-7Х40	50	18
74	51	20.09.97.	20.09.97.	3431	480	Бризгаљка	550	23
75	36	11.11.97.	14.11.97.	4276	480	ПВП за гориво	1,500	51
76	28	02.12.97.	02.12.97.	3631	486	Бризгаљка	330	23
77	48	15.09.97.	15.09.97.	3981	488	Бризгаљка	330	23
78	112	20.08.97.	20.08.97.	3083	495	Заптивка поклопца главе	50	20
79	32	19.10.97.	19.10.97.	3844	496	Бризгаљка	440	23

Р. бр.	Фабрички број спец. војног возила	Датум пријаве отказа	Датум отклањања отказа	Пређени пут возила [km]	Мото часова рада погонског агрегата до отказа [мч]	Називи отказалих елемената и склопова погонског агрегата	Цена материјалне компоненте код отклањања отказа [НЈ]	Укупно време за отклањање отказа ($t_{kor} + t_d$) [h]
80	67	10.12.96.	17.03.97.	2979	496	Заптивка издувног колектора	170	2328
81	104	23.11.97.	23.11.97.	2832	498	Бризгаљка	330	23
82	7	03.12.97.	03.12.97.	3556	498	Бризгаљка	110	23
83	104	20.01.98.	20.01.98.	2832	498	Елемент пречистача	100	11
84	18	11.11.97.	14.11.97.	3177	521	ПВП за гориво	1,500	51
85	99	21.01.98.	21.01.98.	2569	523	Бризгаљка	220	23
86	99	21.01.98.	21.01.98.	2569	523	Елемент пречистача	50	11
87	45	10.09.97.	10.09.97.	3727	526	Заптивач на чепу за испуштање уља	90	5
88	45	10.12.96.	08.03.97.	3727	526	Заптивка издувног колектора	10	2112

Р. бр.	Фабрички број спец. војног возила	Датум пријаве отказа	Датум отклањања отказа	Пређени пут возила [km]	Мото часова рада погонског агрегата до отказа [мч]	Називи отказалих елемената и склопова погонског агрегата	Цена материјалне компоненте код отклањања отказа [НЈ]	Укупно време за отклањање отказа ($t_{kor} + t_d$) [h]
89	26	19.08.97.	19.08.97.	4463	532	Мембрана вентила за испуштање ваздуха	20	5
90	40	27.09.97.	27.09.97.	4162	536	Славина	10	4
91	29	11.11.97.	14.11.97.	4220	546	ПВП за гориво	1,500	51
92	110	24.11.97.	24.11.97.	1832	561	Бризгаљка	110	23
93	110	04.01.98.	04.01.98.	1832	561	Пречистач горива	50	9
94	47	10.12.96.	08.04.97.	4211	569	Заптивка издувног колектора	60	2856
95	35	13.09.97.	13.09.97.	4305	572	Бризгаљка	330	23
96	35	13.09.97.	13.09.97.	4305	572	Пумпа за уље	10	7
97	19	24.08.97.	24.08.97.	4388	581	Бризгаљка	550	23
98	63	24.08.97.	24.08.97.	4388	581	Бризгаљка	440	23

Р. бр.	Фабрички број спец. војног возила	Датум пријаве отказа	Датум отклањања отказа	Пређени пут возила [km]	Мото часова рада погонског агрегата до отказа [мч]	Називи отказалих елемената и склопова погонског агрегата	Цена материјалне компоненте код отклањања отказа [НЈ]	Укупно време за отклањање отказа ($t_{kor} + t_d$) [h]
99	23	17.11.97.	17.11.97.	4916	586	Бризгаљка	220	23
100	2	03.01.98.	03.01.98.	4414	605	Бризгаљка	220	23
101	2	03.01.98.	03.01.98.	4414	605	Елемент пречистача	150	11
102	4	15.12.97.	15.12.97.	5044	609	Бризгаљка	110	23
103	35	11.11.97.	14.11.97.	4551	615	ПВП за гориво	1,500	51
104	10	24.11.97.	24.11.97.	4948	634	Бризгаљка	440	23
105	41	20.12.97.	20.12.97.	5372	643	Бризгаљка	110	23

Биографија

Име и презиме: Славко Никола Ракић
Датум рођења: 31.01.1976. године
Место рођења: Бихаћ, СР Босна и Херцеговина
Брачни статус: Ожењен
Деца: Син Алекса и ћерка Нина
Адреса становања: Улица Петра Коњовића 12³, општина Раковица, Београд

Школовање

1983-1991 Основна школу у Босанском Петровцу, СР Босна и Херцеговина
1991-1995 Средња машинска школа у Босанском Петровцу СР БиХ.
1995-2000 Војнотехничка академија Војске Југославије, смер Мотори и моторна возила.
јули, 2000 Одбрањен дипломски рад из предмета „Моторна возила“ на тему „Оптимизација пнеуматика теренског моторног возила формуле бхб теренске носивости 30 kN са аспекта проходности и економичности“, са оценом 10 (десет).
2000-2002 Магистарске студије, Универзитет у Београду, Машински факултет, усмерење – Мотори СУС
19.05.2006. Одбрањен магистарски рад под називом „Истраживање радног процеса у клипно-радијалној дистрибутор пумпи високог притиска за убризгавање горива код дизел мотора“ код др Милоша Цветића.

Кретање у послу

2000-2006 Активна војна служба на Војнотехничкој академији Београд асистент приправник на катедри „Мотори и моторна возила“
2006-2010 Асистент на катедри „Мотори и моторна возила“ на Војнотехничкој академији Београд (предмети „Мотори СУС“, „Мотори и моторна возила“, „Борбена возила“)
Од 2010 Руководилац Групе за наоружање и војну опрему Копнене војске у Сектору за материјалне ресурсе Министарства одбране (Руководилац и учесник више пројеката из области наоружања и војне опреме: освајања генералног ремонта тенка М-84, сертификавање домаћих произвођача за производњу резервних делова за средства наоружања и војне опреме на коришћењу у Војсци Србије, оптимизација животног циклуса средстава наоружања и војне опреме, писање правилника и стандарда у области одржавања средстава наоружања и војне опреме на коришћењу у МО и ВС, и др.).

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а Славко Ракић

број индекса _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Методологија одржавања погонских агрегата специјалних војних возила

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 29.06.2018. године



Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Славко Ракић

Број индекса _____

Студијски програм _____

Наслов рада Методологија одржавања погонских агрегата специјалних војних возила

Ментор проф. др Угљеша Бугарић

Потписани/а _____

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 29.06.2018. године



Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Методологија одржавања погонских агрегата специјалних војних возила

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 29.06.2018. године



1. Ауторство - Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прераде. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.