Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Индустријски инжењеринг

Предмет: Инжењеринг одржавања

Број индекса: 1/2015

Душан М. Мијаиловић

Одржавање према поузданости

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Иван Мачужић, ванр. проф. - ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране:_____

Оцена:_____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба обради основне теоријске поставке концепта и стратегије одржавања према поузданости (*Reliability-centered maintenance RCM*). Кроз приказ историјског развоја овог метода и приступа одржавању техничких система описати основне разлоге који су довели до његовог креирања и развоја, његово порекло и иницијалне области примене као и правце ширења на друге области инжењерства и технике.

Приказати основне принципе и карактеристике коцепта одржавања према поузданости и описати основи алгоритам и кораке у његовој имплементацији. Дефинисати бенефите који се могу очекивати кроз развој и имплементацију концепта у једном предузећу као и препреке које се могу појавити. Извршити анализу вероватноће отказа и ризика из перспективе одржавања према поузданости.

Препоручена литература:

[1] John Moubray, *Reliability-centered Maintenance,* Industrial Press Inc., 2001.

[2] Neil B. Bloom, *Reliability Centered Maintenance (RCM): Implementation Made Simple,* McGraw Hill Professional, 2005.

[3] Тодоровић П., *Основи одржавања*, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, 2016.

Крагујевац, септембар 2019.

ментор:

Др Иван Мачужић, ванр. проф.

Садржај

1. Увод 1
2. Одржавање и „RCM“ 2
2.1 Основни теоријски кораци имплементације одржавања према поузданости 8
3. Основне акције одржавања према поузданости 13
3.1 Процес селекције процедура у одржавању према поузданости 14
3.2 Безбедносне последице и последице које утичу на окружење 16
4. Алати одржавања према поузданости 18
5. Питање ризика 23
5.1 Размарање питања ризика 24
5.2 Вредности које утичу на толеранцију ризика 27
6. Шта се постиже имплементацијом одржавања према поузданости 31
7. Закључак 33
8. Литература 34

Summary

The subject of this thesis is to show the basics of the RCM, chronological development, failure probability analysis, and failure state performance. The aim of this paper is to cover as many aspects of maintenance philosophy as possible with focus on RCM, where other types of maintenance are cited as a reference point in order to better determine the benefits of RCM over traditional maintenance methods.

Keywords: RCM, failure, probability, risk

Резиме

Тема овог рада је да прикаже основе одржавања према поузданости, хронолошки развој, анализу вероватноћа отказа као и деловање у стању отказа. Циљ овог рада је да се кроз један рад сагледа што више аспеката филозофије одржавања са акцентом на одржавању према поузданости где се остале врсте одржавања наводе као референтна тачка са циљем боље детерминације предности одржавања према поузданости у односу на традиционалне методе одржавања.

Кључне речи: Одржавање према поузданости, отказ, вероватноћа, ризик

1. Увод

Човечанство, данас, зависи од непрекидног прихода богатства које потиче од високо механизоване и аутоматизоване гране бизниса. Тај вид бизниса зависи, поред осталог, и од непрекидног напајања електричном енергијом. И прва и друга компонента нужно захтевају континуални интегритет физичких склопова који чине њихову основу и који их покрећу.

Када ови склопови откажу, у питање није доведено само наше богатство већ и наша егзистенција. Отказ опреме је имао улогу у неким од најгорих инцидената и природних катастрофа у историји индустрије. Такве катастрофе допринеле су схватању важности процеса одржавања.

Прва индустрија која се суочила са овом проблематиком је међународна индустрија цивилног ваздухопловства. Ова индустрија развила је потпуно нови стратешки прилаз у подручју одржавања, где се инсистира на томе да свака компонента има континуални рад, искључиво онакав, какав корисник жели да та компонента има. Овај стандард је у ваздухопловној индустрији познат као „MSG3“, а изван исте је познат као Одржавање према поузданости (*„Reliability – centered Maintenance“,* енг.) или, скраћено „RCM“.

Одржавање према поузданости имало је почетни развој у периоду од тридесет година. Једну од главних прекретница у формирању ове врсте одржавања представљају радови издати од стране Министарства одбране Сједињених Америчких Држава, а приремљених од стране Стенлија Ноулана (*Stanley Nowlan*) и Хауварда Хипа (*Howard Heap*). Њихови радови су током касних осамдесетих допринели унапређењу одржавања према поузданости и његово пласирање ван ваздухопловне индустрије, у облику названом „RCM2“.

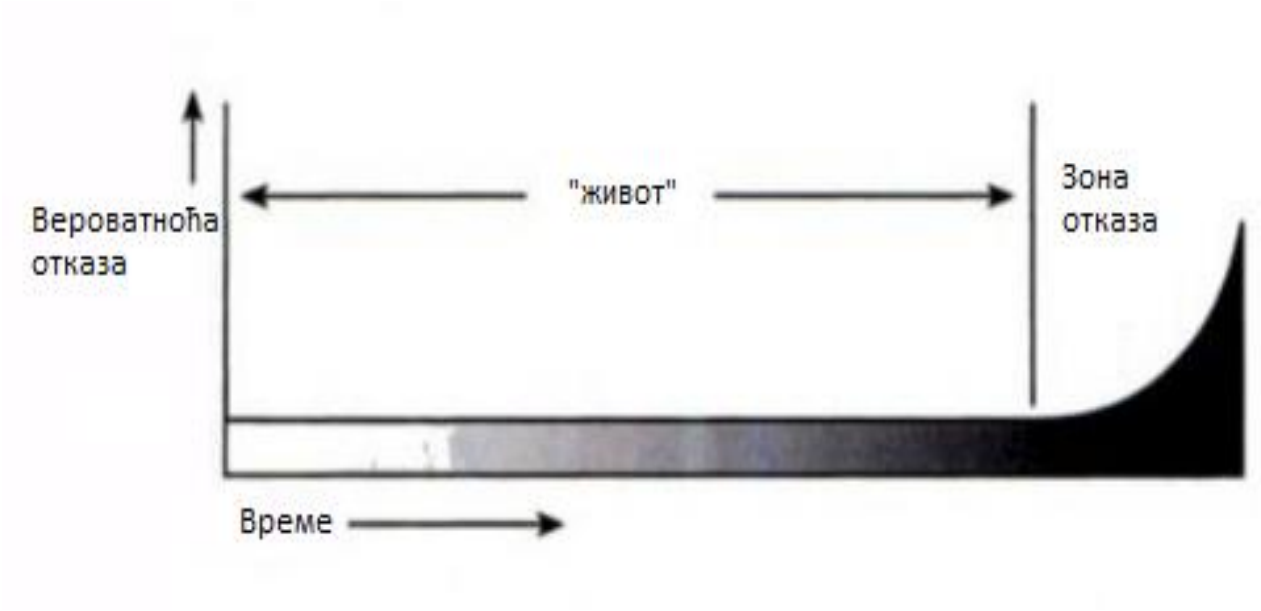
2. Одржавање и „RCM“

Из инжењерске перспективе, постоје два начина да се у стању функције одржи било који физички склоп или компонента. Може бити прегледан и исправљен на време или може бити модификован. Та проблематика потиче од фундаменталног значења речи „одржавати“ (*„maintenance”,* енг.) у главним енглеским речницима. У Оксфордском („Oxford“, енг.) речнику „одржавати“ значи „одржати у функцији“ док у Вебстеровом („Webster“, енг.) речнику „одржавати“ значи „одржати у постојећем стању“. Одатле потиче разлика у појмовима одржавати и модификовати.
Дакле, одржавање се дефинише као уверавање да ће физички склоп наставити да функционише онако како корисник или оператер жели.

Одржавање према поузданости се дефинише као процес који се користи да утврди шта мора бити урађено да би било који физички склоп или ситем са сигурношћу наставио да функционише на начин свог тренутног оперативног стања.
Ова метода одржавања је једна од најчешће цитираних метода, и дефинисана је одговарајућим међународним стандардима. Захтева снажну информатичку подршку, велике базе података о свим перформансама поузданости, расположивости, готовости и другим својствима система.

Свака метода одржавања се у својој есенцији своди на акције посвећене повећању поузданости система. Поузданост техничког система зависи од структуре самог техничког система, односно од броја елемената који тај систем чине, као и од међусобних веза тих елемената. Поузданост система се може утврдити само ако се одреди поузданост свих елемената тог система појединачно и дефинише веза између тих елемената. Редундантност система, као способност система да избегне застој у процесу рада у случају отказа неке компоненте система, се јавља као пожељна особина система при прорачуну поузданости. Дакле што је већа редундантност система, већа је његова поузданост.

„RCM“ се сврстава у савремене методе одржавања те је и анализа отказа ове методе комплекснија од класичне.



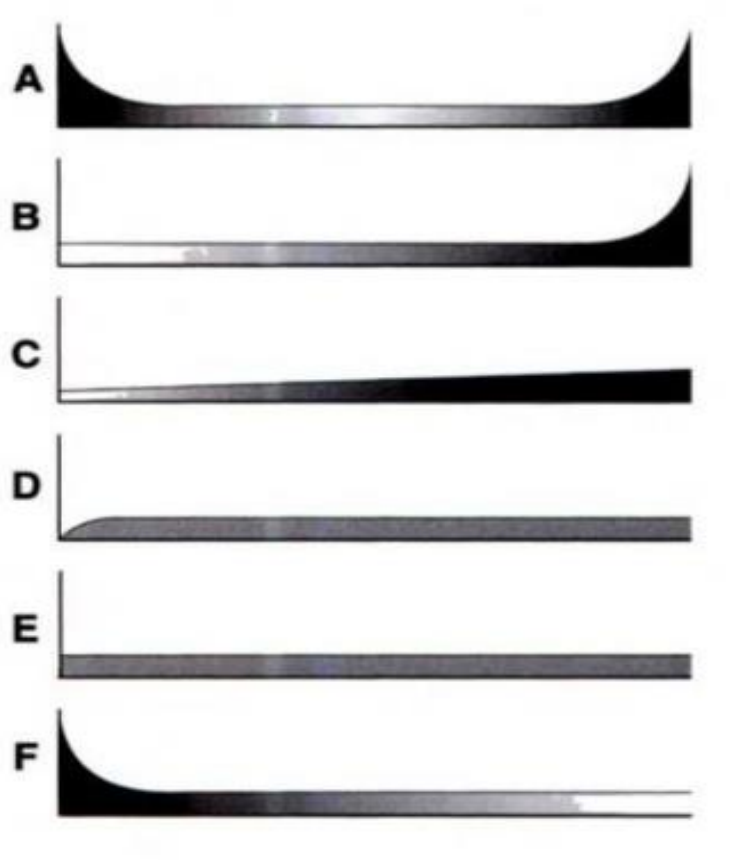
Слика 1. *Традиционални приказ отказа,* [1]

Без обзира на то што базе података за примену „RCM“ система садрже, поред осталог, и податке о ранијим поступцима одржавања, о њиховом ефекту, трајању, трошковима и другим релевантним елементима (утицаји на околину, заштита људи), пресудни утицај на доношење одлука о томе када, где и које поступке одржавања треба спроводити, имају захтеви поузданости.

Класично размишљање налаже да ће нам детаљна анализа првог отказа у серији омогућити да одредимо “живот“ машине и утврдимо када треба извршити акције одржавања у смислу отклањања критичног елемента непосредно пре него што наступи отказ. Овај прицип је применљив за одређене типове једноставне опреме и код неких типичних комплексних механизама који поседују доминантне модове отказа. Највећи је број типичних отказа који настају услед замора или потрошивости одређеног елемента у систему се јавља код механизама где опрема долази у непосредни контакт са производом. Такође, и кварови који су везани за дугорочно коришћење опреме везани су за хабање, корозију, абразију и испаравање као факторе настанка отказа.

У сваком случају, данашња опрема је неупоредиво комплекснија у односу на опрему од

пре тридесет и четрдесет година када је настало првобитно схватање деловања отказа као и временски интервали настанка истог. Та чињеница довела је до формирања фундаменталних промена у обрасцима везаним за отказе, као што се може видети на слици [2]. Наиме, ти графици показују условну вероватноћу отказа у зависности од односа електричног и механичког удела у радном систему. Вероватноћа отказа која зависи од механичко – електронског односа система се назива условна вероватноћа отказа.



Слика 2. *Шест образаца отказа,* [2]

Образац А је најпознатија, типична „када крива“. Почиње са високом могућношћу отказа где се јавља период раних отказа, након ког следи константна или благо растућа условна

могућност отказа. Последњи део првог графика представља зону где се јављају откази услед потрошње или замора критичног елемента.

Образац Б представља константну или благо растућу вероватноћу отказа, завршавајући се са зоном истрошености критичног елемента, исто као и код случаја А. Разлика између прва два случаја се јавља услед недостатка ране зоне отказа код случаја Б, а узрок тог неслагања је разлика у машинама које ови графици карактеришу. Дакле, системи које карактерише образац В су дизајнирани тако да им не треба период почетног погона или разрадње, већ су код првог погона или прве серије спремне за потпуно функционалан рад.

Образац С показује споро растућу условну вероватноћу отказа, али га својствено карактерише то што нема зону истошености коју је могуће детектовати, као ни критичне елементе чије се стање може пратити у циљу утврђивања периода отказа.

Образац D карактерише системе чија је вероватноћа отказа најмања када су нови и некоришћени, након чега се јавља скок до константног или благо растућег периода вероватноће отказа на којој се задржава.

Образац Е показује апсолутно константну условну вероватноћу отказа у свим периодима рада система, која се такође назива и зона насумичних отказа.

Образац F почиње високим интервалом раних отказа, која опада током извесног временског интервала до константне зоне или јако споро растуће зоне отказа на којој се задржава.

Истраживања обављена у цивилном ваздухопловству показују да се сви елементи коришћени у тој грани јављају у следећем односу, сагледавајући шест образаца отказа:

- A = 4%
- B = 2%
- C = 5%
- D = 7%

- E = 14%
- F = 68%

Процентуална вредност отказа елемената који се јављају у ваздухопловној индустрији није идентична са процентуалним вредностима које се јављају у осталим индустријама али треба напоменути да се може извести закључак да што више комплексних елемената и подситема систем има, то ће процентуална вредност образаца E и F бити већа.

Ово истраживање је утврдило да поузданост не мора увек нужно бити повезана са временом рада система. Из те тврдње дошло је до настанка идеје да што више пута прегледамо систем то је његова вероватноћа отказа мања. Међутим, ова тврдња се данас ретко показује као тачна. Ако не постоји доминантни отказ везан за време рада система, временска ограничења и упутства са препоруком за време рада система не значе много при утврђивању периода отказа код комплексних система. Наиме, исувише чести организовани прегледи система могу да повећају укупну вероватноћу отказа тако што могу довести до фазе раних отказа у систему који је дизајниран тако да има стабилну почетну радну фазу. Свест о овим чињеницама навела је многе велике компаније да у потпуности одбаце концепт проактивног одржавања. Проактивно одржавање је прихватљиво када су у питању мање зачајни откази са мање значајним последицама. Када су у питању фатални откази који проузрокују масивне последице мора постојати начин дејствовања који спречава или предвиђа потенцијални отказ, или бар више или мање, смањује последице истог.

Као решење ове проблематике може се искористити концепт одржавања према поузданости.

Овај концепт задатке проактивног одржавања дели у три групе:
- распоредом утврђени процеси обнове или рестаурације
- распоредом утврђени процеси уклањања непогодних или критичних елемената
- распоредом утврђени процеси условљени специфичним ситуацијама које је могуће предвидети

Распоредом утврђени процеси обнове или рестаурације подразумевају репродукцију критичног елемента или преглед система на, или пре датума препоручене контроле, без обзира на стање тог система у датом тренутку. Слично томе, распоредом утврђени процес

уклањања непогодних елемената подразумева отклањање критичног елемента у јасно одређеном временском периоду, без обзира на његово стање. Заједно, ове две акције данас се називају превентивно одржавање. Та врста одржавања је била једна од најзаступљенијих врста проактивног одржавања. Због већ наведених разлога, данас се користи знатно мање.

Континуална потреба да се спрече одређени типови отказа, и растућа неспособност класичних техника да савладају проблематику која им предстоји, довели су до развоја нових техника за решавање потенцијалних отказа. Већина ових техника функционише по систему препознавања симптома које отказ емитује пре него што се догоди. Ови симптоми називају се потенцијални откази и дефинишу се као физичка стања која наговештавају да ће се отказ догодити или да тренутно долази до отказа а да је притом та стања могуће идентификовати. Нове технике се користе да утврде потенцијалне отказе и да се спроведу одређене акције које ће спречити последице које би се десиле да је дошло до дегенерације система. Називају се процеси условљени специфичним, предвидивим ситуацијама јер делови који задовољавају сврху за коју су намењени остају у погону. Ако се користи правилно, овај вид одржавања може бити јако добар начин решавања проблематике отказа, али може бити и јако скупо трошење времена. Одржавање према поузданости се одликује доношењем одлука у овом пољу са високим степеном поузданости у смислу самопоуздања. Другим речима, циљ рада по овој методи је обезбеђивање захтеваног нивоа поузданости, док трошкови, утицаји на околину и неки други елементи имају карактер ограничења, које ваља задовољити у могућем, пожељно у што већем степену. При томе, одлуке о одржавању доносе компетентни, квалификовани и посебно задужени радници, односно обучено особље које се добро разуме у дати систем и процес његовог коришћења.

2.1 Основни теоријски кораци имплементације одржавања према поузданости

Одржавање према поузданости користи се као шема за анализу функција и потенцијалних отказа за физичку опрему. Фокус ове врсте одржавања је на очувању функционисања система, а не на очувању опреме. „RCM“ систем се користи за развој планова одржавања који ће омогућити прихватљив ниво оперативности уз прихватљив ниво ризика, на ефикасан и економичан начин „RCM“ очигледно захтева високе уносе у виду снажних рачунара, економских средстава и јако софистицираних софтвера. Зато се ова метода користи само тамо где је неопходна. Углавном код система високе сложености, велике одговорности и великих ризика узрокованих последицама изненадних отказа и хаварија.
Процес одржавања према поузданости мора дати одговоре на следећа питања:
1) Које су функције и слични жељени стандарди перформанси средстава у његовом садашњем оперативном стању? (функција)
2) Који се откази опреме могу појавити? (функционални пропусти)
3) Шта узрокује сваки од отказа? (модови квара)
4) Шта се дешава када се догоди сваки од отказа? (ефекти неуспеха)
5) Због чега је сваки од отказа битан? (последице отказа)
6) Шта треба учинити да би се сваки од отказа предвидео или спречио? (проактивни задаци)
7) Како поступити ако се одговарајућа проатктивна или превентивна активност не може пронаћи? (основне подразумеване радње)

Иако постоји велики број варијација у примени „RCM“ система, највећи број процедура подразумева неки или све од наредних корака:

1) **Припрема за анализу**
Као код већине пројеката, за припрему анализе одржавања према поузданости биће потребни неки прелиминарни радови и информације. Неке важне активности припреме подразумевају састављање унакрсно – функционалног тима, осигуравање чињенице да сви чланови аналитичког тима разумеју и прихвате основна правила анализе (нпр. Опсег

анализе, дефиниција неуспеха, итд.), прикупљање и преглед релевантне документације, итд.

2) **Селекција опреме за анализу**

Обзиром да „RCM“ анализа захтева улагање времена и ресурса, организација може имати за циљ да све своје аналитичке ресурсе фокусира на делове опреме, на основу сигурносних, правних, економских и других разматрања. Питања селекције и фактори критичности су два начина одабира опреме који се обично користе.

а) Метода селекције представља формулар са „да/не“ питањима која су формулисана тако да утврде да ли је коришћена „RCM“ анализа адекватна за разматрани део опреме. На пример у смерницама „MSG - 3“ постоје четири питања која се користе за утврђивање планираног одржавања ваздухопловне индустрије. Ако аналитичар одговори са „да“ на бар једно од четири питања, то значи да је та опрема адекватна за тај тип анализе. Из тога следи да се формирају посебни упитници за сваки значајнији и већи део опреме.

б) Метода фактора критичности састоји се од низа фактора који су дизајнирани за процену критичности опреме у виду сигурности, операција, утицаја на околину, контроле квалитета итд. Сваки фактор се оцењује према унапред дефинисаној скали (нпр. од 1 до 5 или од 1 до 10) где веће оцене означавају већу критичност. Критичност опреме се може искористити за креирање прага или норме у складу са потребама и могућносима. Након тога се вреднује компатибилност опреме са разматраним системом.

3) **Идентификација функција и потенцијалних отказа**

Једна од примарних тенденција одржавања заснованог на поузданости јесте та да активности одржавања треба да буду усмерене на очување функционалности опреме. Дакле, из тога следи да први корак при анализи одређеног дела опреме треба да буде идентификовање функције коју та опрема треба да обавља. Многе референце „RCM“ филозофије препоручују укључивање тачних захтева перформанса у опис функције, јер се на тај начин лакше долази до идентификације проблема у случају функцијских отказа.

Функцијски откази описују начин на који опрема може да не успе да обави задатак за који је намењена. То поразумева да не обавља функције, лоше обавља функције, има превелико искоришћење при обављању функције, обавља погрешне функције, итд. Као што је пре

напоменуто, лимити перформанси које су претходно утврђени могу дати одговор при отказу функције.

4) **Идентификација и процена (категоризација) ефеката отказа**

Идентификација и процена ефеката отказа помаже надлежном тиму да одреди приоритете и одабере одговарајућу стратегију одржавања, све у циљу спречавања потенцијалног отказа. „RCM“ системи садрже логичке дијаграме који се могу користити за процену и категоризацију ефеката отказа. Ове логичке структуре често разликују очигледне од скривених ефеката и да ли проблем има безбедносне, еколошке, оперативне и/или економске последице.

5) **Идентификација узрока неуспеха**

Узрок неуспеха (начин отказа) представља специфичан узрок неуспеха функције на извршном нивоу, јер је то ниво на коме је могуће применити стратегију одржавања како би се решио потенцијални неуспех. Утврђивање је засновано на инжењерској процени и ослања се на искуство и вештине тима у процесу „RCM“.

Пример описа отказа:

- Систем пумпе је отказао
- Пумпа је отказала
- Проперел је отказао
- Пропелер се не напаја струјом
- Осовина је у погрешном положају
- Осовина није довољно затегнута
- Грешка у склапању

Препорука је да образложење отказа буде описано довољно детаљно да омогући одабир прикладне акције за што ефикасније решавање проблема отказа али да не буде превише детаљно да се не би утрошило превише времена на анализу процеса.

6) **Одабир задатака одржавања**

Након одабира функција опреме, предвиђања потенцијалних отказа и последица тих отказа, следећи корак је дефинисање стратегије одржавања опреме. Одлука тима за

анализу и имплементацију „RCM“ система у контексту која је стратегија најприкладнија и која ће се користити за сваки од потенцијалних неуспеха, може бити заснована на искуству, унапред дефинисаном логичком дијаграму (повезаним са категоризацијом ефеката отказа), прорачуну трошкова или комбинацијом фактора.

Многе референце „RCM“ филозофије подразумевају селекцију логистичких дијаграма заснованих на категоризацији ефеката отказа, што значи да је категоризација ефеката отказа примарно коришћена метода у изради планова одржавања ове врсте.

Слика 3. *Графички приказ стратегија и процеса одржавања према поузданости*, [3]

3. Основне акције одржавања према поузданости

Одржавање према поузданости налаже своја три основна поступка одржавања:

1) **Тражење отказа**

Поступци тражења отказа подразумевају периодичну проверу мање доступних, скривених подсистема у циљу констатовања да ли сви системи функционишу као што би требало да функционишу. Дакле, потрага за отказом који је наступио или је у процесу догађања.

2) **Редизајнирање**

Редизајнирање подразумева било какву модификацију на уграђеном фабричком систему или подсистему. Овај поступак се често имплементује у данашње време јер омогућава постепено унапређење система кроз више мањих различитих модификација које се врше у циљу унапређења неког сегмента система или превентивно, да би се спречио отказ. Препоручује се да елементи који чине модификацију буду фабрички, дакле од истог произвођача као и сам систем на коме се модификација врши.

3) **Непланирано одржавање**

Као што име овог поступка налаже, ова акција се не врши у јасно изреченом временском интервалу, већ дозвољава да се отказ догоди и након тога брзо санира узрок отказа. Отказ се очекује у сваком моменту, и припремљене су процедуре деловања за све највероватније и најбитније отказе. Овај процедура се назива и „брзо уклањање отказа“ (*„run-to-faliure”,* енг.)

3.1 Процес селекције процедура у одржавању према поузданости

Једна од доминантних страна одржавања према поузданости је та што пружа једноставне, прецизне и лако разумљиве критеријуме за одабир активности проактивног одржавања које су технички најпогоднije за дати систем који се одржава. Поред тога, када се најпогоднije активности одреде, одређује се и временски интервал када би те активности требало да се спроводе, као и ко би требало да их спроводи.
Да ли је активност проактивног одржавања технички изводљива или не, проверава се техничким карактеристикама отказа и акцијама одржавања који треба применити. Да ли се тај задатак треба имплементовати у систем, одлучује се сагледавањем дејства последица датог отказа. Ако се не може пронаћи адекватна, технички погодна активност проактивног одржавања која је вредна имплементације у односу на последице, у том случају се тражи решење у осталим основним методама одржавања.

Есенција процеса селекције процедура у одржавању према поузданости је следећа:

1) За **скривене отказе,** акцију проактивног одржавања вреди спровести ако смањује ризик да се догоди више мањих отказа, повезаних са тим отказом, до толерисаног нивоа. Ако се адекватна процедура не може пронаћи а да притом задовољава остале услове за спровођење исте, у обзир се узима редизајнирање система или критичног елемента.

2) За **отказе са последицама које се тичу безбедности или окружења,** процедуру проактивног одржавања треба спровести само ако смањује ризик тог отказа, индивидуално, на што мањи могући толерисани ниво, и то само ако, тај ризик не могу у потпуности отклонити. Ако се не може пронаћи адекватна акција за решавање тог проблема, елемент или систем морају бити редизајнирани или процес мора бити пормењен.

3) За **отказе са оперативним последицама,** процедуру проактивног одржавања треба спровести само ако је укупна цена тог процеса или операције мања од укупне цене

последица и цене одржавања или репарације тог отказа за временски период репарације. Другим речима, процес мора бити економски оправдан. Ако није економски оправдан, препоручује се да се поводом отказа не предузимају процеси одржавања. А ако процес није економски оправдан, а притом операцијске последице нису прихватљиве, примарна одлука је поново, редизајнирање.

4) За **отказе који немају оперативне последице,** процедура проактивног одржавања треба бити спроведена ако је трошак те операције за одређени период мањи од трошка репарације за исти временски период. Дакле, ове процедуре такође морају бити економски оправдане.

Овај прилаз анализи отказа детаљно дефинише процедуру одржавања коју треба имплементовати онда када је то заиста неопходно, што доводи до смањења укупних трошкова одржавања, као и смањења рутинског одржавања. Смањење рутинског одржавања такође повећава вероватноћу да ће процедура одржавања бити успешно и сврсисходно одрађена. Ово, заједно са елиминацијом контрапродуктивних процедура одржавања доводи до целокупно ефективнијег одржавања.

Ако се овај начин одржавања упореди са традиционалним, лако се уочавају мане традиционалног и предности разматраног процеса. Традиционални концепт одржавања налаже да се за све техничке склопове и подсклопове формира дугорочни распоред одржавања заснован на техничким карактеристикама тих система, без обазира на последице било које врсте отказа. Тако се долази до великог броја беспотребних одржавања што директно утиче на повећање трошкова одржавања јер се, поред осталог, у обзир не узима промена операцијског контекста система при промени производа. То се не догађа зато што су процедуре тог одржавања погрешне, већ зато што не постижу ништа.

Треба нагласити да одржавање према поузданости узима у обзир потребе одржавања свих склопова у систему пре него што предлаже процес редизајнирања јер је дужност инжењера одржавања да се побрине за одржавање функције система онаквог, какав је у том тренутку а не онаквог какав ће потенцијално бити у одређеном тренутку у будућности.

3.2 Безбедносне последице и последице које утичу на окружење

Као што је већ напоменуто у претходном делу рада, први корак у процесу евалуације последица је идентификација скривених функција како би се рад тих функција евидентирао и могао да буде збринут на прави начин. Сви остали откази, дакле они који нису класификовани као скривени, по дефиницији морају бити евидентни. То значи да мора постојати адекватан план одржавања у случају да неки од евидентних отказа наступи. Процес одржавања према поузданости обухвата безбедносне и последице по околину као један од примарних атрибута важности у одређивању степена опасности било ког евидентног отказа. Овај вид одржавања на томе инсистира из два разлога:

Први разлог је тај што се данас све више заступа тврда конвенција међу послодавцима, запосленима, корисницима и друштву генерално, да је повређивање или страдање људи у процесу пословања апсолутно недопустиво. Самим тим, део те конвенције налаже да се мора учинити све што је могуће да се максимално смањи ризик било које врсте који је у релацији са нарушавањем безбедности запослених или компромитовањем стања природе или окружења.

2) Прагматичније објашњење важности ових вертоватноћа које су толерисане огледа се у томе да толеранције које су везане за отказе који имају релације са безбедношћу особља и околином обично буду неколико пута мање него толеранције отказа који су у релацији са оперативношћу.
Из овога следи да, у већини случајева где се установи да је проактивно одржавање адекватно применити код отказа у релацији са безбедношћу, самим тим је га је и више него адекватно применити код сличних отказа који су директној релацији за функционалним и оперативним последицама.

Генерално, безбедност се дефинише као вероватноћа физичке сигурности запослених.
Одржавање према поузданости, безбедност дефинише као питање могућности да било ко од особља буде повређен или настрада у процесу наступања последица отказа или штетом коју је отказ директно проузроковао. Дакле, отказ има безбедносне последице ако

проузрокује губитак функције или неки други вид оштећења који би могао да повреди или убије некога .

Други поглед на дефинисање безбедности се односи на безбедност у смислу благостања целокупног друштва и окружења.

Због тога се данас, откази који утичу на окружење у било ком негативном смислу називају проблемима природе и окружења. У већем броју развијених заједница постоје папаметри који се односе на безбедност околине које долазећа фирма мора да задовољи да би могла да отпочне своје пословање у тој средини. Стога, без персоналних осећања појединца о датој тематици, неминовно је да очување природе постаје императив и услов за корпоративни опстанак. Неке организације имају развијенију свест о очувању природе, те се дешава да компанија има стриктније стандарде везане за загађење него сама заједница у коју долази. За стање отказа кажемо да има последице које утичу на окружење ако тај отказ проузрокује пробијање било ког стандарда или регулативе везане за окружење.

4. Алати одржавања према поузданости

„RCM“ се, као и све остале методе одржавања, користи одређеним алатима који делују као филтер у доношењу одлука у свим степенима развијања специфичне методе одржавања. Такве алате представљају аналитички системи за детерминацију који су усавршени емпиријским утврђивањем. Неки од тих алата су:

1) Блок дијаграм поузданости

2) „FMEA/FMECA“ (*„Failure Mode and Effect Analysis“*) - Анализа начина и ефеката (критичности) отказа

3) „FTA“ („*Fault Tree Analysis“*) - Анализа стабла отказа

4) „QFD“ („*Quality Function Deployment* “) - Распоређивање функције квалитета

5) „HAZOP“ (*„Hazard and Operability Study“*) - Анализа опасности и оперативности

1) **Блок дијаграми поузданости**

У теорији поузданости система посебно се анализира начин међусобних интеракција свих елемената који функционишу у систему из аспекта формирања структурне шеме или блока поузданости. Да би се овом методом успешно постигло извођење аналитичког израза за израчунавање поузданости система, мора се познавати структурна шема функционалног система. Елементи се у дијаграму поузданости везују на различите начине у циљу проналажења најпоузданије варијанте распореда елемената. При повезивању елемената у дијаграму поузданости треба водити рачуна о томе да начин међусобног везивања елемената буде складан са технолошким могућностима тих елемената.

2) **FMEA/FMECA - Анализа начина и ефеката (критичности) отказа**

„FMEA“ је развила „NASA“ током шездесетих година прошлог века за „Apollo“ програм. Данас овај систем има широку примену у великом броју различитих индустрија, а нарочито у фабрикама, производњи и „IT“ сектору.

Користи се за идентификацију потенцијалних мана процеса и постављања тих недостатака на листу приоритета на основу:

1) Озбиљности недостатака (интензитет)

2) Вероватноће појављивања недостатака

3) Вероватноће детектовања недостатака

Сврха ове анализе је да јасно истакне слабости система кроз формирање листе приоритета недостатака. Листа је заснована на „RPN" броју („*Risk Priority Number"*, енг.) који представља генерисан број заснован на „FMEA" формули, што указује на приоритет отказа у систему који захтевају хитну пажњу.

Процес	Начин отказа	Ефекат отказа	Озбиљ-ност	Потенцијални узроци	Вероватноћа појављивања	Контроле	Вероватноћа детектовања	RPN
Устати	Преспавати аларм	Закаснити на посао	5	Умор	4	Часовник са алармом	5	100
Доручковати	Нема хране	Непродукти-вност	5	Прескочена набавка	3	Периодична набавка	5	75
Превоз	Отказ на ауту	Закаснити на посао	7	Стари делови	3	Сензори	4	84

Слика 4. *Пример табеле за утврђивање „RPN" броја*, [4]

Разумевање „FMEA" методе, може се боље разумети кроз следећи пример:

Устати и доћи на посао без кашњења се може схватити као један не исувише компликован процес који, поред своје једноставности, повремено откаже. Анализу једног оваквог процеса започињемо сагледавањем и идентификацијом свих активности овог процеса појединачно што се може видети у првој колони на слици [4]. Иза сваке појединачне активности постоји специфични начин отказа („*Failure mode"*, енг.) који прекида или онемогућава ту активност, па самим тим и цео процес. Као последице тих начина отказа долазе и ефекти сваког отказа („*Potential Failure Effects*", енг.). Читава идеја „FMEA" методологије јесте бодовање сваког од отказа бројевима од 1 до 10 који представљају оцену за озбиљност отказа („*Severity*", енг.), вероватноћу појављивања („Occurrence", енг.) и вероватноћу детектовања („*Detection*", енг.). Број „RPN" се добија тако што се претходно додељене оцене помноже. Након што је „RPN" израчунат за сваки од отказа, те отказе можемо ранкирати на листи приоритета, са отказима са највећим бројем на врху. Дакле, што је „RPN" отказа већи, то је приоритет тог отказа већи и ти откази захтевају највише пажње.

3) **FTA - Анализа стабла отказа**

„FTA“ је развијен 1961. године у компанији „Bell Labs“ као модел намењен за ратну авијацију Сједињених Америчких Држава. Касније, модел усваја и компанија „Boeing“ за евалуацију процеса код цивилних и комерцијалних авиона. Већ након 1970. године ову методу навелико користе инжењери у ваздухопловству и индустрији нуклеарне енергије, што говори о поузданоси ове методе.

Анализа стабла отказа је једна од фундаменталних и најзаступљенијих коришћених метода за анализу сигурности техничких система. У питању је дедуктивна метода код које се за специфични завршни догађај или отказ формира узрочни след догађаја који до тог завршног догађаја доводе. Основу анализе овог система отказа представља превођење физичких система и процеса на структурне логичке дијаграме. Стабло које се формира представља графички приказ односа између елемената.

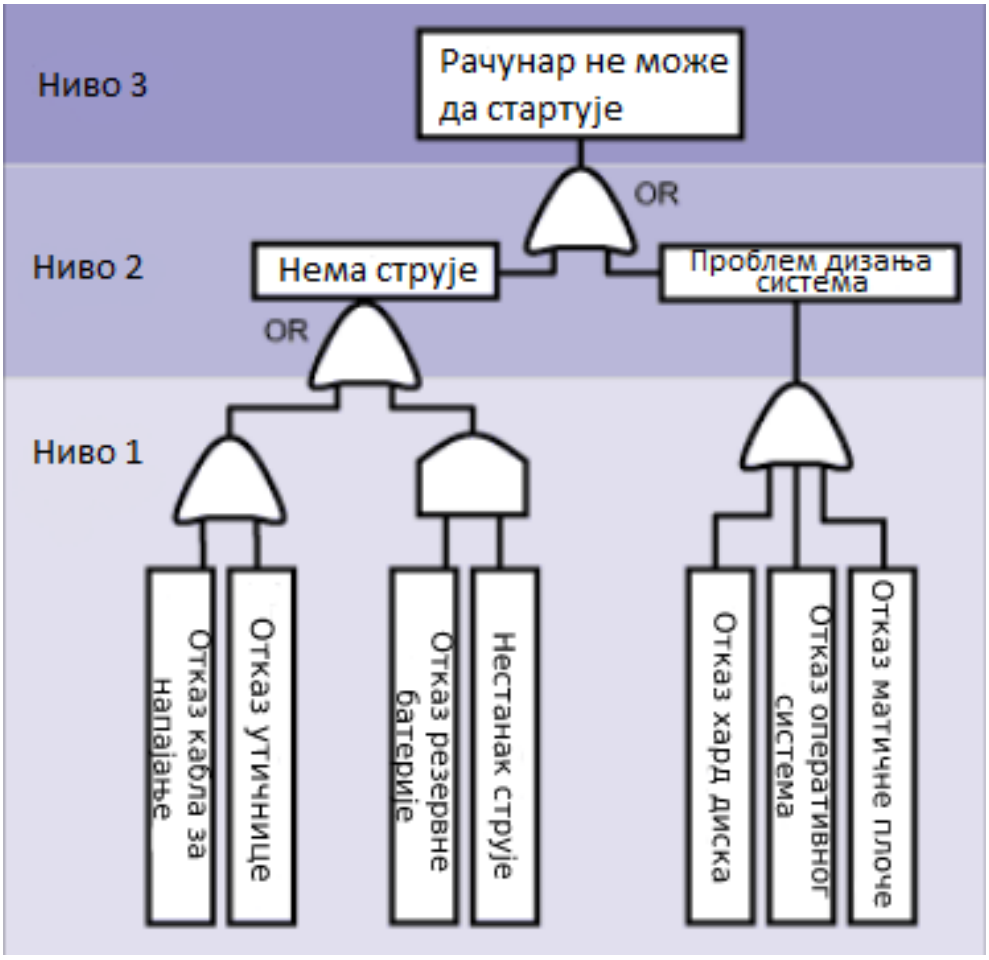
Ова врста анализе се врши кроз следеће кораке:

1) Дефинисање завршног догађаја
2) Упознавање са радом система који је потребно анализирати
3) Конструисање стабла отказа
4) Усвајање стабла отказа
5) Оцена стабла отказа
6) Генерисање препорука и алтернатива за доношење одлука

Треба напоменути да постоје и препоруке за дизајнирање стабла отказа које треба пратити у циљу формирања што прецизнијег графика логичких процеса. Најбитније од тих препорука су:

1) Аналитичко стабло отказа треба да буде једноставно онолико колико то комплексан систем дозвољава
2) Стабло треба да буде логично
3) Одабрани описи треба да буду једноставни, јасни и сажети
4) Систем нумерисања догађаја и означавања излаза мора да буде јасан и доследан

Пример примене анализе стабла отказа јасно се види на слици [5].



Слика 5. *Пример стабла отказа,* [5]

Са слике уочавамо да постоје минимум два разлога због којих рачунар не може да стартује - отказ при покретању система или нестанак струје. Узећи у обзир да било који од ова два проблема може да проузрокује завршни догађај, користимо „ИЛИ“ („OR“, енг.) излаз да их повежемо са завршним догађајем. Када смо утврдили како може доћи до нивоа 3, прелазимо на догађаје који доводе до нивоа 2. Нестанак струје у рачунару може бити проузрокован комплетним нестанком струје у окружењу где се рачунар налази, и у исто време дође до отказа резевне батерије рачунара. Обзиром да је неопходно да се оба од ова два догађаја догоде у исто време да би дошло до нестанка струје у рачунару спојени су излазом „И“ („AND“, енг.). Овим једноставним примером објашњена је аналогија формирања гране стабла отказа, која је иста и за остатак стабла.

4) **QFD - Распоређивање функције квалитета**

Ова метода развијена је процесом анализе размишљања потрошача. Данас, потрошач има велики избор сличних производа од којих бира оне који му највише одговарају. У том процесу одабира он се користи одређеним размишљањем које укључује процес елиминације као и прорачун исплативости производа у односу на квалитет и степен неопходности производа. Први пут је искоришћен у Јапану 1960. године, где га је његов изумитељ, Јоџи Акао („*Yoji Akao*“, енг.), тестирао у „Mitsubishi“ бродоградњи и где се та иновација показала као апсолутни успех. Наиме, „QFD“ се заснива на аналитици потреба потршача и формулисањем тих потреба у детаљне и прецизне инжењерске спецификације и планове производње који у највишем могућем степену испуњавају баш те потребе потрошача. Метода распоређивања функције квалитета се користи анализом тржишта и фокусирањем на егзактне потребе потрошача које преводи у спецификације техничког дизајна и тиме долази до формирања производа који је потрошачима најпогоднији.

5) **HAZOP - Анализа опасности и оперативности**

„HAZOP“ представља још једну од метода за систематично детектовање потенцијалних опасности у процесу рада. Ова анализа се фокусира на параметре који су везани за дати систем као и варијације истих. Процес који се анализира се раставља у кораке и анализирају се границе свих параметара који се у том кораку јављају. Процедура се понавља за сваки корак и формира се листа граница параметара која је нормална за радно стање процеса. Тада, упоређивањем тренутних параметара са оним који су заведени у листи можемо утврдити да ли постоји било каква промена или девијација у процесу. Најчешће се користи у хемијској производњи и цевоводним системима где километри цеви и бројни контејнери представљају велики проблем за логистику.

5. Питање ризика

Највећи део људи жели да живи у окружењу где апсолутно нема вероватноће да се догодити повреда или смрт, иако је генерално прихваћено да у свакодневници постоји елемент ризика у свему што радимо. Другим речима, апсолутна нула је недостижна, али је притом добар циљ коме треба непрестано тежити са сврхом што ефективнијег смањења ризика.

Детаљније разматрање питања ризика састоји се од постављања правих питања.

Разматрање ризика састоји се од три питања. Прво питање се односи на то шта може да проузрокује наступање разматраног догађаја. Друго питање се односи на то колико је вероватно да ће се разматрани догађај догодити. Комбинација ова два питања даје нам могућност да изведемо оцену ризика. Треће питање, најчешће најспорније, је то, да ли се тај ризик и у којој мери треба толерисати.

На пример, треба размотрити случај где знамо да отказ може да проузрокује смрт или повреду десеторо људи. Вероватноћа да ће се то догодити је један у хиљаду у било којој, једној години. Из ових бројки можемо закључити да је ризик, повезан са овим отказом следећи:

10 x (1 / 1000) = 1 жртва у 100 година.

Други пример каже да знамо да је вероватноћа да се отказ догоди један у сто хиљада у једној, било којој години. Притом, знамо да када би се тај отказ догодио, погинуло би хиљаду људи. Ризик заснован на овим бројкама је следећи:

1000 x (1 / 100 000) = 1 жртва у 100 година.

Из претходних примера можемо да утврдимо да је ризик исти иако су почетни параметри драстично различити. Треба узети у обзир и то да ови примери не разматрају да ли је ризик, и укојој мери, толерисан. Ови примери га само квантификују.

5.1 Размарање питања ризика

Шта би проузроковало дешавање специфичног отказа?

Два питања се анализирају када се спекулише шта би дешавање одређеног отказа проузроковало.

Та питања су „шта се тачно дешава“ и „да ли постоји могућност да неко буде повређен или настрада“.

Шта се тачно дешава приликом специфичних отказа би требало би да буде забележено на стандардним формуларима који се попуњавају приликом почетка имплементације „RCM“ методологије одржавања. Дакле, постоје захтеви да се попуне спецификације сваког потенцијалног отказа, поред осталог, и те, да ли ти откази проузрокују компромитовање безбедности запослених или проузрокују било какву врсту загађења.

Ако се утврди да би неки од отказа могао да проузрокује смрт или повреде некога, третира се на начин као да ће сваки пут када до тог отказа дође неко засигурно настрадати или бити повређен. Чак и ако је вероватноћа за тако нешто јако мала, третирају се као да је вероватноћа велика. То значи да се у овом питању не разматра колика је вероватноћа да дође до страдања, већ искључиво да ли је то могуће.

Пример оваквог случаја је следећи: Ако би на градилишту, кука на крану која носи терет, пукла, терет који је носила би убио или повредио било кога ко стоји право испод терета или је у непосредној близини места на које терет падне. Ако никога на тим местима не би било, нико не би био повређен. Сама чињеница да постоји вероватноћа да неко настрада или буде повређен значи да се стање тог отказа мора третирати као опасност по безбедност запослених и мора се детаљно анализирати.

Овај пример показује да „RCM“ третира отказе који имају последице које утичу на безбедност, на најконзервативнији начин. Стога, ако било који отказ има вероватноћу да угрози безбедност или околину, третира се као да ће то засигурно и учинити.

Комплекснија ситуација се јавља када се ради о опасностима по безбедност које су већ покривене одређеним методама или уређајима сузбијања или елиминације тих опасности. Већ је објашњено да је главни задатак одржавања према поузданости да утврди најефективнији начин да реши потенцијални отказ у зависности од последица које исти проузрокује. То је достижно искључиво ако се изврши детаљна евалуација последица

сваког индивидуалног отказа независно од тога да ли постоји уграђен систем или метод за контролу или елиминацију истог. Протективне направе које су дизајниране да се побрину за стање отказа који је наступио или је у фази догађања (аларми, противпожарни апарати, издувни системи) нису ништа друго већ уграђени системи за одржавање. Као резултат тога, да би остатак анализе отказа био валидан, последице отказа морају бити анализиране као да протективни системи овог типа не постоје.

На пример, отказ који би се могао догодити има могућност проузроковања пожара, увек се третира као опасност по безбедност особља јер присуство противпожарних апарата не гарантује са сигурношћу да ће пожар бити контролисан и угашен.

„RCM“ процес утврђује валидност употребе таквих протективних направа са три спектра:

1) Могућност апарата да омогући протекцију, то јест, да максимално смањи ризик компромитовања безбедности. То се постиже утврђивањем функције протективне апаратуре.

2) Други аспект се обазире на то да ли протективна направа може да делује довољно брзо да се њеним дејством избегну последице.

3) Последњи аспект дефинише шта се мора учинити да би протективна направа наставила да врши своје дејство ефективно.

Колико је вероватно да ће специфични отказ наступити?

При попуњавању стандардног „RCM“ формулара, у поглављу отказа, треба наводити само оне отказе који имају разуман степен вероватноће дешавања. Као резултат, имаћемо формулар припремљен за реалне ситуације, и сама чињеница да је отказ наведен на листи квалификује га за даљу, детаљнију анализу. Треба напоменутии да увек треба водити рачуна о отказима који имају малу вероватноћу дешавања а притом имају значајно велике и деструктивне последице. Такви откази се у великом делу осталих филозофија одржавања одбацују баш због своје мале вероватноће дешавања. У „RCM“ систему одржавања, се такви откази наводе при попуњавању стандардног формулара везаног за отказе уз напомену да је тај отказ мало вероватан да би се упутио на детаљнију анализу, али да га треба имати на уму због последица које може да проузрокује.

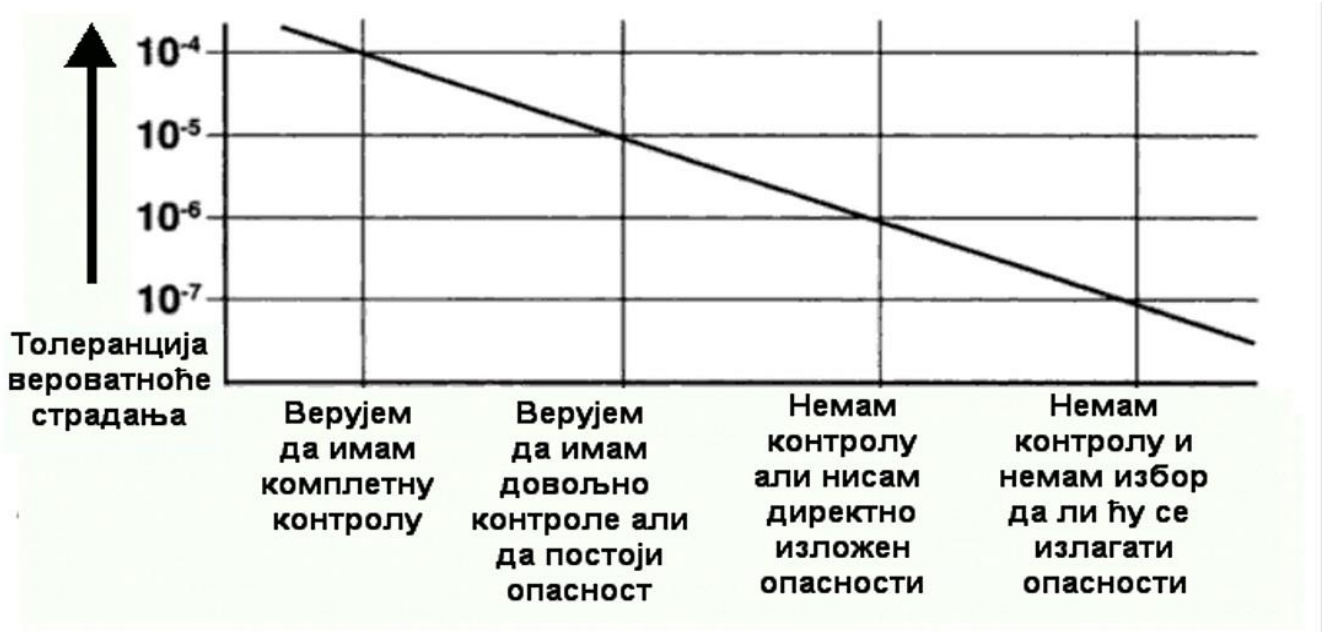
Да ли специфичан отказ треба толерисати и у којој мери?

Један од најтежих аспеката осигуравања безбедности је домен толеранције коју треба успостављати код ризика јер тај аспект зависи од појединца или групе која има свој субјективни став о излагању ризику. Јако велики број фактора утиче на став појединца о ризику али најдоминантнији је став који се обазире на степен контроле коју појединац мисли да поседује над датом, ризичном ситуацијом. Људи су готово увек спремни да се излажу већем степену ризика, то јест, да толеришу исти, ако верују да они, персонално имају контролу над ситуацијом него када је ситуација ван њихове контроле.

Добар пример овоме је да велика већина људи толерише много веће нивое ризика када возе сопствене аутомобиле него када су путници у истим. Парадокс овог убеђења лежи у чињеници да је истраживање министарства одбране Сједињених Америчких Држава објавило истраживање где се анализра перцепција ризика и где је установљено да је вероватноћа да особа настрада приликом пута авионом од Њујорка до Лос Анђелеса,

1 у 11 000 000, док је вероватноћа да настрада док исти пут прелази аутомобилом

1 у 14 000. И поред таквих чињеница, већина људи и даље бира да пут прелази својим аутомобилом, баш због субјективног осећаја владања над ризичном ситуацијом.



Слика 6. *Толеранција фаталног ризика,* [6]

Овај пример илуструје степен вероватноће страдања коју је особа спремна да толетишше у односу на степен контроле коју особа верује да поседује у датом тренутку.

5.2 Вредности које утичу на толеранцију ризика

Индивидуална свест о тренутној контроли ситуације најчешће доминира када се разматра толеранција ризика, али далеко од тога да је једини фактор. Остали фактори који се јављају у процесу доношења одлука о томе да ли је ризик толерисан и у којој мери су:

1) **Индивидуални аспект**

Укратко речено, индивидуалне вредности представљају персонални спектар схватања појединца. Дакле, ризик који постоји приликом пењања на планину је различит код човека који има вертиго и код човека који то обољење нема, као и ризик који постоји при одласку у пећину, где је ризик већи код појединца који пати од клаустрофобије, него код појединца код од исте не пати.

2) **Индустријски аспект**

Поред тога што данас идустрија било које врсте настоји да ради у што безбеднијим околностима, не може се побећи од чињенице да су неке неупоредиво ризичније од других. Неке чак и компензују веће нивое ризика већим платама. Поглед на ситуацију сваког од појединаца који раде у тој индустрији је прорачун да ли се тај ризик исплати, то јест, да ли бенефиције правдају ризик.

3) **Ефекат на „будуће генерације“**

Безбедност деце, нарочито нерођене, има јако моћан ефекат на поглед друштва на то шта је могуће толерисати. Одрасли људи често умеју да занемаре своју безбедност до забрињавајућег нивоа, али тај став не важи када су им угрожени потомци.

4) **Аспект знања**

Перцепција о излагању ризику јако много зависи од тога колико људи познају направу или склоп који контролишу. Притом се мисли на познавање подсклопова система, као и листу отказа који су везани за систем. Што је веће њихово знање о систему, то је и њихов суд бољи. Треба напоменути да знање може бити мач са две оштрице. Некада људи страдају из пуког незнања, а некада из превелике сигурности да су способни да се супротставе датом ризику.

Поред овога, још много фактора утиче на перцепцију ризика, као што су вредност људског живота у различитим културама, религиозна убеђења, па чак и фактори попут старости појединца.

Сви ови фактори доводе до закључка да је универзални стандард ризика немогуће утврдити. То значи да се толеранција ризика мора донети као релација субјективних и објективних ставова, и из тога ултимативно произилази став који се може назвати и судом. То директно поставља питање, ко би требало да доноси тај суд.

Ко би требало да оцењује ризике?

Диверзитет свих претходно разматраних фактора налаже да процену нинако не може вршити појединац, па чак ни организација, јер се на тај начин лако стиже до ризика који би био универзално неприхватљив. Ако је одлука о ризику на јако конзервативном нивоу, што значи да је толеранција ризика на изузетно ниском нивоу, људи то неће схватити озбиљно и на своју руку ће прелазити границу толеранције јер је углавном у релацији са ефективним начином извршења акција. Ако је одлука о ризику великих толеранција, онај ко је ту одлуку донео може бити оптужен за играње људским животима, јер их својом немарношћу доводи у опасност.

Тиме долазимо до закључка да једини адекватан начин за евалуацију ризика тај да се исти мора установити оперативном јединицом која мора бити састављена искључиво од групе људи, јер, као што смо утврдили, ни један појединац није довољно компетентан да тај прорачун одради сам. Ова група, треба да буде сачињена од појединаца који би требало да потпуно разумеју механизме отказа, ефекте отказа (природу опасности које отказ проузрокује), вероватноће да ће се отказ догодити као и са адекватним мерама које морају

бити преузете у стању отказа и оним мерама које се предузимају да би се отказ спречио.

Групи такође треба да припадају људи који имају искуства са толерисаним мерама ризика. Мисли се на људе који су у потенцијалној опасности на радном месту (најчешће су то оператери или људи који се баве одржавањем када дође до директног пробијања зоне безбедности) као и људе који су одговорни за запослене (менаџмент, који углавном буде одговоран ако се неко од запослених повреди или настрада на радном месту или ако дође до загађења околине). Ако се на прави начин искористи искуство и знање свих појединаца од којих је група сачињена, колективним одлукама ове групе може се учинити много по питању толеранције ризика као и безбедности. Коришћење оваквих група постаје тренд у модерној индустрији јер је заступљено мишљење да је безбедност обавеза свих запослених, а не само одговорност менаџмента. То значи да модерни принцип код утврђивања толеранција ризика узима у обзир размишљање што већег броја запослених како би прорачуната толеранција ризика била универзално прихваћена унутар организације, а притом и подиже колективну свест запослених о безбедности и безбедносним процедурама.

Овако састављене групе долазе до утврђивања толеранција поприлично брзо када су у питању ризици који директно нарушавају безбедност, јер су у питању људски животи.

Проблеми опасности по околину и толеранције истих нису толико једноставни, јер је у том случају „читаво друштво“ потенцијална жртва последица отказа и многа питања везана за такву тематику могу бити непозната. То значи да група мора детаљно да се упозна са стандардима везаним за безбедност животне средине као и са мерама загађења дозвољеним у оперативној средини пре него што се упусти у разматрање ове проблематике.

Људски фактор ризика

Велики број случаја отказа опреме настаје као последица људске грешке или људског фактора. Самим тим, ако се при разматрању ризика закључи да значајни отказ може настати као последица људског фактора, тај отказ се мора сврстати у „FMEA“ процес.

Проблем је у томе што су људски фактори енормно велика и непредвидива тематика која представља тежак проблем за логистику у поглављу ризика. Од свих фактора који утичу на варијације људских грешака, могу се издвојити најбитнији:

1) Антропометријски фактори

2) Чулни фактори

3) Физиолошки фактори

4) Психолошки фактори

Скоро свака људска грешка се може свести на један од ова четири фактора.

Антропометријски фактор је везан за проблематику која се односи на физичку величину и снагу оператера или одржаваоца. Проблем наступа када особа једноставно не може да стане у ограничен простор у ком се задатак треба обавити, када не може да дохвати нешто или када није довољно снажна да подигне или помери нешто. Треба напоменути ако отказ наступи и јави се један од ових случаја, тада отказ није настао као последица људског фактора већ као последица лошег дизајна система, због ког је наступила немогућност оператера да адекватно реагује.

Чулни фактори се односе на грешке које се јављају услед варијација у интензитету и осетљивости људских чула. То значи да неко може боље да чује промену вибрација у систему док неко пре може визуелно да уочи проблем.

Физиолошки фактори наступају као последица дисбаланса природног биоритма услед промена смена или продужетка радног времена где се јавља замор. Биоритам диктира да је тело спремно да буде подвргнуто физичком и психичком напору у току дана, на основу хормона који се у људском организму луче у току дана. Ноћу се лучи друга врста хормона, што доводи до девијација у могућностима појединца. Препоручује се да се користи утаљено радно време да би се у организму успоставио устаљен биоритам што доводи до повећања могућности и продуктивности сваког појединца.

Психолошки фактор означава спремност оператера да влада ситуацијом у којој се налази са високом сигурношћу. Степен високе сигурности зависи првенствено од знања и искуства појединца али и субјективног самопоуздања и сигурности као психичких карактеристика појединца.

6. Шта се постиже имплементацијом одржавања према поузданости

1) **Већа безбедност и интегритет околине**

„RCM“ се обазире на безбедност и интегритет околине било ког отказа пре него што почне да анализира његове утицаје на оперативност. То значи да се предузимају мере да се максимално смање сви ризици везани за опрему и ризици по околину било ког од идентификованих отказа, са јасним циљем, да се сви ти ризици у потпуности отклоне. Својим стриктним ставовима по питању безбедности „RCM“ утиче на савремене методе одржавања у смислу очувања конзервативности у случају безбедности и одржања природног интегритета.

2) **Побољшање оперативног перформанса**

„RCM“ препознаје чињеницу да сваки од типова одржавања поседује неку врсту вредности, и на основу тога спроводи правила која се користе при одлучивању тога коју је врсту одржавања најбоље применити у датој ситуацији. То значи да се за сваку ситуацију индивидуално бира само најефективнији вид одржавања и да се предузимају само најадекватнији кораци у циљу одржавања система у оперативном стању. Овако стриктно фокусирано одржавање доводи до значајних скокова нивоа перформанса било ког физичког склопа или система.

„RCM“ као аспект одржавања био је развијен да би олакшао развој програма одржавања за нове типове авиона пре него што исти ступе у службу. Као резултат, добијен је програм идеалан за програме одржавања нових склопова, нарочито комплексне опреме за коју не можемо користити искуства других корисника јер је та роба истовремено и иновативна.

3) **Већу ефективност трошкова одржавања**

„RCM“ налаже да пажња континуално мора бити на активностима одржавања које имају највише ефекта на дати проблем. Такав приступ значи да су сви трошкови са сигурношћу оправдани. То такође значи, да ако се правилно примени, имплементацијом постојећих

метода одржавања, „RCM“ знатно смањује укупне трошкове одржавања тако што, у највише случајева, смањује трошкове рутинских и цикличних поступака одржавања од 40% до 70%. У другом случају, када се „RCM“ користи за развијање нових планова и метода одржавања, трошкови су поново знатно мањи од оних који би наступили да се исти програм развијао помоћу традиционалних метода одржавања.

4) **Продужен радни век скупих делова**

Ова бенефиција наступа услед пажљиво одабраних и имплементованих метода одржавања у односу на стање.

5) **Повећана мотивација запослених**

Повећана мотивација се истакнуто јавља код појединаца који учествују у било ком од процеса одржавања. То доприноси бољем размевању функционисања опреме, нарочито оперативном контексту исте. Када запослени који раде за датом опремом разумеју њен рад и операцију одржавања која се примењује на тој опреми, долази до проджења функционалног стадијума опреме.

6) **Побољшање тимског рада**

„RCM“ омогућава свакодневни, лако разумљиви вид комуникације који разуме свако ко има додира са било каквим одржавањем. Такав процес даје боље могућности одржавања јер људи тачније разумеју шта одржавање може а шта не може постићи, те се и брже долази до закључка шта мора бити урађено да не би наступио отказ.

Сваки од наведених корака је последица адекватне имплементације, већ постојећих, основних метода одржавања. Главна предност „RCM“ методологије је та што се фокусира на развијање плана одржавања који решава проблеме корак по корак, за сваки потенцијални отказ индивидуално. У таквом процесу одржавања учествује свако ко долази у било какав контакт са системом који се одржава. Утицај одржавања према поузданости је изузетно брзо видљив, па чак, ако се добро примењује, може показати значајне резултате у року од неколико месеци, а у појединим случајевима, у року од неколико недеља.

7. Закључак

Циљ завршног рада био је да се на једном месту дају карактеристична поглавља филозофије одржавања према поузданости.

Тематика се чистије разјажњава уз напомену да је фокус одржавања према поузданости на прорачуну вероватноће ризика, као и прорачуну вероватноће наступања отказа, сваког индивидуалног потенцијалног отказа засебно. Дакле, након одлуке менаџмента да имплементује порцес одржавања према поузданости у своју фирму први корак је попуњавање стандардног формулара, са акцентом на деонице које се фокусирају на потенцијалне отказе. Ту долазе у обзир само они откази чије су последице довољно велике да значајно, дакле са економског и безбедносног аспекта, компромитују интегритет компаније. Они откази који буду наведени у датом пољу подлежу даљем детаљном испитивању које служи да утврди сваку могућу симптоматизацију отказа, све последице отказа као и разматрање прогресије сваког од наведених отказа. За дате проблеме, се након утврђивања начина детекције, тражи најадекватнија метода у основним или традиционалним методама одржавања која се прописује као најповољнија за сваки од наведених отказа, индивидуално. На тај начин, „RCM“, даје могућност најефективније превенције или методе одржавања у случају наступања отказа која је истовремено и економски најисплативија, за сваки од наведених отказа. Адекватно извршеном процедуром, организација је спремна да се суочи са сваким битнијим отказом на најадекватнији и економски најповољнији начин.

Из поменутог процеса закључује се да је „RCM“ филозофија инжењеринга одржавања са одређеном количином наслеђа која настоји да проблеме решава мудро и промишљено, а притом је у константном развоју јер користи и савремене методе одржавања у својим процедурама. Ова методологија детаљно испитује отказ, а затим са великом прецизношћу утврђује коју методу одржавања је најадекватније применити у циљу одржања датог система у стању функције у његовом тренутном оперативном контексту.

8. Литература

[1] AMCP-706-133, *Engineering Design Handbook: Maintainability Engineering Theory and Practice*, United States Department of Defense, Washington, 1976.

[2] Retterer B.L., Kowalski R.A., *Maintainability: Historical perspective, IEEE Transac. Reliability*, 1984.

[3] SAE G-11, *Reliability, Maintainability and Supportability Guidebook*, Automotive Engineering Association, Pennsylvania, 1990.

[4] Niebel B.V., *Engineering Maintenance Management*, Marcel Dekker, New York, 1994.

[5] John M., *Reliability-centered Maintenance*, Heinemann Butterworth, Oxford, 1992.

[6] Von Alven V.H., *Reliability Engineering*, Prince Hall, Eaglewood Cliffs, New Jersey, 1964.

[7] Тодоровић П., Основи одржавања, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, 2016.