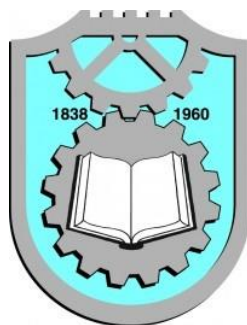


Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Основи одржавања

Број индекса: 132/2014

Златић Љ. Марко

Стратегије одржавања

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др Мачужић Иван

2. _____

3. _____

Датум одбране:

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да помоћу препоручене и шире литературе, стекне основно, а затим и дубље знање и стратегијама одржавања и самом концепту одржавања које се примењују у пре свега индустријским постројењима и које се односе на решавање проблема отказа машина или система. Такође, треба да се позабави најпримењенијим стратегијама одржавања и да објасни карактеристике истих. Пажња треба да се обрати и на избор стратегије одржавања као један од кључних фактора квалитетног и ефикасног процеса одржавања техничких система.

Препоручена литература:

Тодоровић, П., Основи одржавања, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац, 2016.

Nakajima, S., Indtroduction to TPM, Productivity Press Inc., Cambridge, 1988.

Bloom, N., Reliability Centered Maintenance (RCM) – Implementation Made Simple, McGraw Hill – Professional, 2005.

Крагујевац,

2018.

Ментор

Проф. Др Иван Мачужић

САДРЖАЈ

1. Увод.....	1
2. Примена савремених стратегија одржавања	3
3. Корективно одржавање	6
4. Превентивно одржавање	8
4.1 Циљеви и активности превентивног одржавања	9
4.2 Распоред превентивног одржавања	11
4.3 Превентивно планско одржавање.....	13
4.4 Превентивно одржавање према стању	13
5. Тотално продуктивно одржавање TPM	14
5.1 Основни елементи TPM- а.....	15
5.2 План спровођења TPM-а.....	21
5.3 12 корака за спровођење TPM-а.....	22
6. Одржавање засновано на поузданости RCM	27
6.1 Три фазе RCM-а – Базиране на програму превентивног одржавања	28
6.2 Процес имплементације RCM-а.....	29
6.3 Филозофија RCM-а	32
6.4 Методологија RCM-а	32
7. Избор стратегије одржавања.....	36
Закључак	41
Литература.....	42

Резиме

У овом раду описане су стратегије одржавања које се најчешће примењују у техничким системима са циљем да се како смањи број отказа машина/постројења тако и да се побољша ефикасност производње са што мањим трошковним губицима. Представљен је начин примене савремених стратегија одржавања као и главне карактеристике тих стратегија и начин на који је могуће имплементирати их у предузећима. Акцент је бачен на две најкомплексније стратегије одржавања RCM и TPM уз описивање и најчешће примењиваних стратегија корективног и превентивног одржавања које свој идео имају и у горе поменутих комплексних стратегијама. У раду је описан и избор стратегије одржавања који чини битан фактор у самом процесу одржавања и изискује детаљне анализе стања система како би био прави и квалитетан.

Кључне речи: стратегија, одржавање, RCM, TPM

Abstract

This project describes the most applicable maintenance strategies in technical systems with a goal to improve efficiency of production with as little cost as possible. The way of applying modern maintenance strategies as well the main characteristics of these strategies and the way that they can be implemented in enterprises are presented. The accent is on two most complex strategies for maintaining the RCM and TPM with the description of the most commonly applied corrective and preventive maintenance strategies that have their part in the above mentioned complex strategies. The project also describes the selection of maintenance strategy, which is an important factor in the maintenance process itself and requires detailed analysis of the state of the system in order to be real and in high quality.

Key words: strategy, maintenance, RCM, TPM

Изјава о самосталној изради рада

Изјављујем да сам овај завршни рад урадио самостално, служећи се стеченим знањем и искуством, као и наведеном литературом.

Марко Златић 132/2014

1. Увод

Одржавање техничких система (машина и уређаја), односно средстава за рад, као функција и део процеса производње данас заузима важно место у производном систему сваке компаније. На развој одржавања утицао је брз индустријски напредак, као и стални пораст аутоматизације и повезаности средстава за рад, затим нагли пораст фиксних трошкова у односу на променљиве. Одржавање се дефинише као стална контрола над свим средствима за рад, као и вршење одређених поправки и превентивних радњи, чији је циљ, стално функционално оспособљавање и чување производне опреме, постројења и других машина и уређаја.

Појам одржавања долази уз сваки појам производње одређених добара. Током времена и употребе долази до старења материјала и средстава за рад, смањује се технолошка ефикасност, а долази и до евидентног технолошког застаревања.

Средства се током времена троше и смањује им се радна способност. Средства за рад су подложна кваровима, ломовима и оштећењима, па се појављују прекиди у раду. То узрокује појаву трошкова због замене и поправке делова, али и трошкове због застоја у процесу производње.

Основни циљеви који треба да се постигну процесом одржавања су[1]:

- 1) Минимизирање трошкова због застоја у раду услед непланираних кварова на средствима за рад.
- 2) Спречавање, односно успоравање застаревања средстава за рад, које настаје као последица лошег квалитета производа и шкарта.
- 3) Смањивање трошкова рада и материјала у производњи, који настају услед повећаних кварова и застоја у процесу рада.
- 4) Пружање организоване помоћи свуда где је потребно одржавање и управљање средствима за рад.

Циљеви одржавања средстава за рад у процесу производње могу се посебно сагледати са два основна аспекта:

- 1) Техничко-технолошки, који доприносе:
 - иновацијама и усавршавању средстава за рад,
 - одржавању радне способности средстава на потребном нивоу и повећању поузданости средстава у процесу рада,
 - остваривању дужег радног века средстава за рад,
 - постизању бољег квалитета производа,
 - остваривању равномернијег и бржег одвијања текућег процеса у целини и
 - остваривању и побољшању других техничко – технолошких својстава.

2) Економски, који доприносе:

- Рационалном коришћењу средстава за рад у производњи,
- Повећању продуктивности рада у производњи,
- Смањењу трошкова производње и
- Повећању економичности трошења у самом процесу одржавања средстава за рад.

Циљеви одржавања у процесу производње упућују на широку област важности одржавања као процеса повезаног са производњом. Важност одржавања средстава за рад се огледа у следећем:

- 1) Важност одржавања са развојног аспекта (истраживања појаве великог броја застоја на средствима за рад, који расту и због великог раста броја система и аутоматизације производних процеса).
- 2) Важност одржавања са технолошког становишта (брзо застареваше средстава за рад услед брзог развоја техничког и технолошког процеса, затим застареваше услед трошења као технолошког процеса).
- 3) Значај одржавања са економског гледишта (појава трошкова услед коришћења средстава за рад).
- 4) Значај одржавања са социјалног аспекта (средства за раду у лошем и несигурном стању изазивају лоше стање, односе, па чак и незгоде како у самој радној организацији, тако и у њеном окружењу).
- 5) Значај одржавања у погледу чувања расположивих ресурса у радној организацији.

Значај одржавања средстава за рад у компанијама је велики. Оно директно утиче на основне факторе производње и може врло повољно утицати (ако се добро спроводи) на постизање позитивних пословних резултата. Добро спроведено одржавање директно утиче на смањење трошкова производње и пословања. Застоји услед неисправности и нужног вршења ремонта, нарушавају технолошки процес производње, а исто тако утичу и на економику производње пропорционално са временом застоја и средствима уложеним за отклањање кварова. Због тога одржавање и ремонт захтева пре свега рационалну организацију одржавања и ремонта и добро опремљену средствима и људима. Организација ремонта и техничког одржавања, да би испуњавала своје задатке, треба да буде увек подложна и честим променама. Наиме, њена организација и начин деловања треба да се усклађују и мењају зависно од квалитативних и квантитативних промена, које настају у машинском парку предузећа односно погона.

Под традиционалним стратегијама одржавања подразумева се превентивно, корективно и комбиновано одржавање. Савремене стратегије одржавања су: RCM, TPM, одржавање према стању, предиктивно одржавање и већи број тзв. „убрзаних стратегија“.

Резултати њихове примене су разнолики. Резултати постигнути применом стратегије RCM, у различитим случајевима су следећи: смањење броја радних сати за превентивно одржавање за 87%, смањење укупног броја радних сати за одржавање до 29%, смањење трошкова репроматеријала за одржавање до 64%, повећање расположивости опреме и система до 15%, повећање поузданости техничких средстава до 100%[2].

Основна подела стратегија одржавања, које се данас користе је подела на[3]:

- *Основне стратегије одржавања*
- *Комплексне стратегије одржавања*

У основне стратегије одржавања спадају:

- Корективно
- Превентивно
- Одржавање према стању

У комплексне стратегије одржавања спадају:

- Тотално продуктивно одржавање TPM
- Одржавање засновано на поузданости RCM

2. Примена савремених стратегија одржавања

Познато је да се инвестиције у RCM враћају за 3 до 6 месеци, евентуално годину дана и да се смањује број захтева за одржавање за 25 до 40%. Међутим, за његову примену потребно је 3 до 6 година, јер су процедуре анализе, посебно FMECA, врло компликоване, па тиме и дуготрајне.

Критичари примене ове стратегије истичу да је она намењена за пројектовање техничких система и да су јој ограничене могућности за техничке системе који су у експлоатацији. Неки сматрају да је компликована и дуготрајна, посебно када се до детаља разрађује FMECA. RCM не узима у обзир планирање и планске застоје техничких система, па се сматра да је погодна само за сложене техничке системе.

Увођење стратегије TPM захтева пуно времена и уложеног рада. Први ефекти су приметни већ после 6 месеци, док пуна имплементација траје више година. Велике успехе овај концепт је постигао при примени у компанијама као што су Ford, Kodak, Harley Davidson i Texas Instruments. Инвестиције се враћају за најмање три пута, а застој због одржавања скраћује и преко 50%.

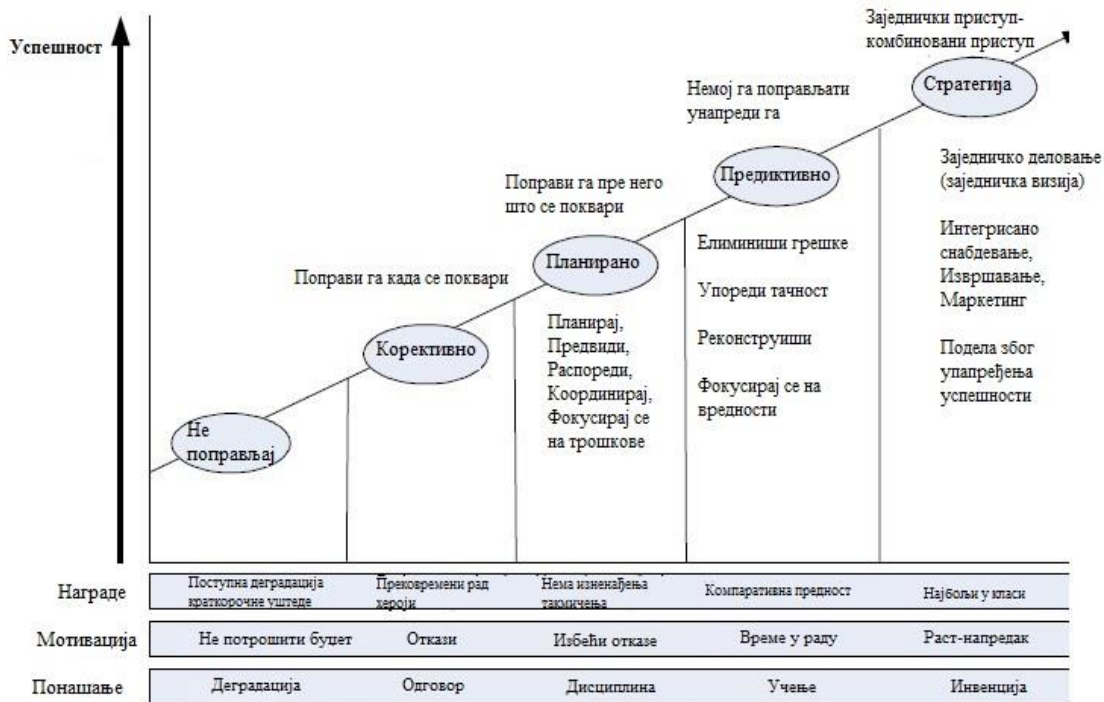
Убрзане стратегије одржавања настале су као одговор на проблеме примене, првенствено RCM стратегије, ради њихове брже примене и бржег остварења финансијских резултата. Примена нових стратегија одржавања траћи промену начина организације. То захтева одустајање од традиционалног начина размишљања оријентисаног на поправке и оријентацију на поузданост, односно, помак од реактивног ка проактивном начину размишљања, што подразумева[2]:

- дефинсање дугорочних стратегијских циљева,
- усклађивање система награђивања са стратегијским циљевима,
- бољу интеграцију основне функције (промета, производње) и одржавања,
- стварање могућности за тимски рад и учење и
- искључиво циљу посвећено вођење – менаџмент

Разлике између традиционалне организационе културе у одржавању и нове, која мора да настане приказане су у табели 1. Да би се оствариле ове промене потребно је 5 до 8 година. Основно је напуштање оријентације са непосредних и краткорочних циљева и оријентација ка дугорочним циљевима, а неопходна је и одговарајућа промена кадра. То подразумева и бољу мотивацију кадра. Пут од традиционалног приступа одржавању ка савременом приступу илустрован је на слици 1, на којој су приказане фазе у развоју система одржавања. Јасно је да се показатељи успешности побољшавају са применом нових приступа. У исто време мења се и систем награђивања, мотивациони механизми и карактеристике понашања запослених. Тако се, на пример, у реактивном окружењу сматра да се никада не зна шта је следећи посао, људи постају „хероји“ ако знају брзо да отклоне квар.

СТАРО	НОВО
Оријентација на поправке	Оријентација на поузданост
Поправи	Унапреди
„Гашење пожара“	Предвиди, планирај, програмирај акције
Мајстор	Члан пословног тима
Решавај отказе	Елиминиши отказе
Смањи трошкове одржавања	Повећај време у раду
„Акција програм месеца“	Континуирано унапређивање
Веровање да су откази неизбежни	Веровање да су откази само изузеци
Приоритет се даје отказима	Приоритет се даје еминацији узрока отказа
Много отказа	Свега неколико отказа
Низак удео планских послова	Висок удео планских послова
Много рекламација	Мало рекламација
Ниска поузданост	Висока поузданост
Високи трошкови одржавања	Ниски трошкови одржавања
Краткорочни планови	Дугорочни планови
Непрофитни карактер	Привлачи инвестиције

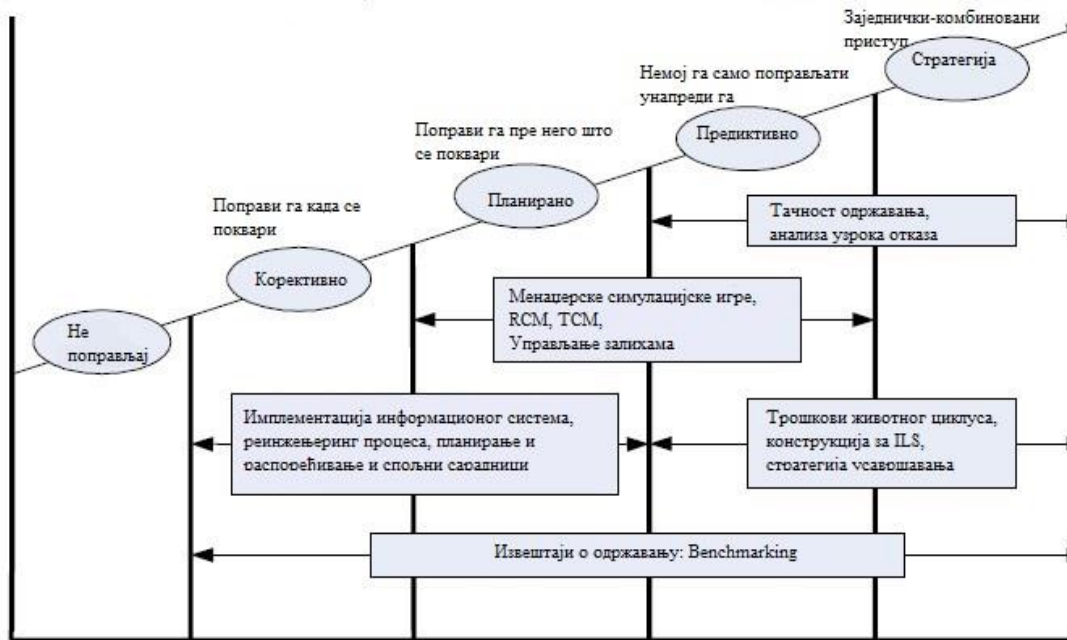
Табела 1. Разлике између традиционалне и савремене организације одржавања[2]



Слика 1. Фазе у развоју система одржавања[4]

Уколико се уведе стратегија планско – превентивног одржавања, мења се суштина деловања јер се сада наглашава дисциплиновано извршавање планираних задатака и процедура. На тај начин и стари систем награђивања није више функционалан. Награђују се они који посао обављају по тачно одређеним процедурама и на време. Награђује се постизање планске расположивости система. Веза између производње (градилишта и произвођача опреме) и одржавања постаје двосмерна, јер одржавање захтева планске застоје због извођења радњи одржавања.

У проактивном окружењу тражи се учешће свих запослених у откривању могућности за елиминисање отказа (стратегije RCM, TPM, ...). Умањена потреба за одржавањем умањује и потребан број радника.



Слика 2. *Методе и стратегије које се примењују у зависности од фазе развоја поједине организације одржавања[4]*

Решење побољшања система није могуће тражити у примени само једне стратегије или једне методологије. Свака од њих има одређене предности, али и недостатке. Најбољи резултати могли би се постићи њиховом одговарајућом комбинацијом[4], која је у складу са потребама конкретне компаније. Поједини приступи ефективнији су од других у конкретним условима, а опште препоруке у том смислу могле би се графички приказати као на слици 2. Методе и стратегије примењују се у зависности од фазе развоја поједине организације одржавања. При свему томе не треба заборавити да се промене не могу уводити у системе који „нису спремни“ за њих. На пример, како добити податке о ефектима појединих радњи када не функционише повратна веза у информационом систему.

3. Корективно одржавање

Корективно одржавање представља скуп свих радњи и поступака којима се технички систем из „стања отказа“ враћа у „стање у раду“.

Концепција корективног одржавања техничких система тражи да се поступци одржавања спровode само ако до отказа дође. Поступци корективног одржавања оправљају технички систем и обављају се само ако се систем налази у стању у отказу. Генерално корективно одржавање обухвата: идентификацију отказа техничког система, њихових узрока и оклањање отказа. Начин оклањања отказа је заменом и дорадом функционалних целина техничког система[5].

Главне карактеристике корективног одржавања су[5]:

- непланирано, неочекивани отказ, затим оправка,
- допушта се експлоатација техничког система до појаве отказа, без претходних прегледа и праћења стања техничког система,
- ако се не познају законитости промена стања елемената техничког система, онда ће откази, век трајања или функционисања целина бити случајног карактера-имати стохастичку природу.
- застоји у раду се не могу предвидети као ни време за поправку.

Уобичајени релативни (%) однос времена потребног за идентификацију отказа и времена потребног за саму оправку, у зависности од врсте делова.

ВРСТА ДЕЛА	% ВРЕМЕНА ЗА ДИЈАГНОЗУ	% ВРЕМЕНА ЗА ОПРАВКУ
Електронски	90	10
Електрични	60	40
Хидраулички	20	80
Механички	10	90

Табела 2. Однос времена потребног за појаву отказа и времена потребног за оправку

Посебна пажња приликом утврђивања узрока отказа поклања се алгоритмима или таблицама за откривање отказа. Алгоритми су помоћно средство за успостављање највероватнијих веза између одређеног симптома/манифестације отказа и могућег узрока отказа и највероватнијег технолошког поступка којим се посматрани квар може отклонити. Препоручује се израда стабла отказа.

За анализу отказа елемената техничког система најчешће се користи Анализа стабла отказа (FTA- Fault Tree Analysis). Основу анализе стабла отказа представља превођење физичких система на структурне логичке дијаграме. Стабло отказа може да послужи као дијагностичко средство за утврђивање највероватнијих узрока насталог отказа. Узрочно дефинисање стања система које доведе до отказа може да се користи за израду плана одржавања техничког система.



Слика 3. Пример стабла отказа[6]

У односи на време које протекне од детектовања отказа до поправке, корективно одржавање може да се подели као:

- Одмах извршено корективно одржавање – стартује се одмах после отказа, претпоставља се да су одмах расположиви сви потребни ресурси – људи, резервни делови итд.
- Одложено корективно одржавање – стартује се са закашњењем, у складу са низом правила (док се не обезбеде потребни ресурси).

Корективно одржавање је најчешћи начин одржавања који се данас примењује, а уједно је и привидно најјефтинији. Цена текућег одржавања у овом случају је 0, наиме не постоје издаци за текуће одржавање. Ово одржавање се обавља тек након што квар наступи а често уз квар појединог дела настаје штета и на околним деловима и уређајима. Осим тога, поузданост система са овим начином одржавања је упитна, она је директно зависна од поузданости најслабије компоненте[6].

4. Превентивно одржавање

Превентивно одржавање је одржавање које се редовно врши на комаду опреме како би се смањила вероватноћа отказа. Превентивно одржавање се врши док опрема још ради, тако да се не прекида неочекивано. Ово одржавање се планира тако да су сви потребни ресурси доступни[5].

Одржавање се планира на основу времена или окидача употребе. Типичан пример средства са временским програм превентивног одржавања је клима уређај који се сервисира сваке године пре лета. Типичан пример средства са програмом превентивног одржавања заснованог на коришћењу је моторно возило које се заказује за сервис на углавном на сваких 10.000 пређених километара. Превентивно одржавање је сложеније за координацију од одржавања до отказа, јер план одржавања мора бити организован и планиран. Са друге стране превентивно одржавање је мање сложено за координацију него предиктивно одржавање, јер стратегије праћења не морају бити планиране, нити се резултати тумаче.

Средства погодна за превентивно одржавање укључују[7]:

- критичну оперативну функцију,
- режим кvara који се могу спречити (а не повећати) уз редовно одржавање,
- имају вероватноћу неуспеха која се повећава са временом или употребом.

Неадекватна средства за превентивно одржавање укључују:

- случајне грешке које нису у вези са одржавањем,
- не служе критичној функцији.

4.1 Циљеви и активности превентивног одржавања

Превентивно одржавање је скуп инспекција и задатака који спречавају пропадање опреме. Одржавање опреме побољшава капацитет погона и пропусност. Избегавање нежељеног времена заустављања помаже систему да избегне непотребне трошкове и губитак продуктивности.

Превентивно одржавање има два примарна циља[8]:

1) Елиминисати пропуст због неуспеха везаних за одржавање

То укључује отказ мотора због прекомерних вибрација, низак притисак ваздуха због неисправног заптивања, прекомерно хабање због неправилног подмазивања итд. Када опрема добије адекватну пажњу од тима за одржавање, то ће се догађати ређе.

2) Продужити радни век опреме

Добро одржавани комад опреме може да функционише добро у односу на очекивани датум повлачења. На пример, одржавање добро постављеног мотора, балансираног и подмазаног смањиће хабање покретних делова и смањује напрезање електронских елемената, чиме се спречава превремени отказ или неуспех због губитка робусности.

Додатни циљеви превентивног одржавања

Још један од циљева је потрошња енергије. На пример, мотор у поравнању не троши енергију због непотребног трења. Чишћење ваздушних филтера одржава проток ваздуха са мањим радом вентилатора, је један од примера.

Једно од осталих разматрања је сигурност и регулаторни захтеви за адекватно превентивно одржавање који контролишу одржавање опреме.

У превентивно одржавање вреди улагати. Често је тешко видети предности јер недостатак времена заустављања или неуспеха смањује трошкове одржавања и када се добро заврши, избегава се неуспех високог профила и пажња менаџмента за решавање проблема кроз корективно одржавање.

Типови активности превентивног одржавања

Неколико основних активности везаних за превентивно одржавање:

- инспекције,
- сервисирање,
- подмазивање и
- причвршћивање.

Инспекције траже оштећења, поравнање, цурење, пукотине итд. Све што указује на било који елемент опреме који није успео или ће пропасти. Неке инспекције могу обухватити мерење и праћење хабања или деградације перформанси док су у оперативној спецификацији. Подаци омогућавају тиму да предвиди одговарајуће време за поправку, обнову или замену опреме.

Сервисирање може обухватити поравнање, чишћење, чишћење или замену филтера и проверу рада сензора. Ово су само неколико примера и сваки комад опреме може захтевати један или више задатака превентивног одржавања.

Подмазивање укључује допуњавање уља или других течности и понекад испирање и замену течности. Напредни рад у превентивном одржавању може укључивати анализу како би се утврдило радно стање опреме, природа хабања или временски размак за промену подмазивања. Анализе такође могу открити потенцијалну контаминацију.

Причвршћивање укључује иницијалну инсталацију опреме заједно са радом превентивног одржавања за проверу система причвршћивања, одржавање опреме на њеној правилној локацији и поравнању. Пошто се елементи уклањају ради прегледа или замене, поновни прикључак мора такође задовољити захтеве поравнања обртног моменат и опреме.

Нека истраживања показују да је до 50% кварова опреме пореклом из једне од ових активности. Одржавање ових задатака ће смањити пропусте опреме због неисправних превентивних активности одржавања[8].

4.2 Распоред превентивног одржавања

Повезаност у одржавању подржава управљање појединачним и вишеструким процедурама.

- 1) Јединствени поступци су дефинисани за покретање једне процедуре у датом временском интервалу. На пример, процедура може бити дефинисана да се покреће месечно или квартално. За ову врсту распореда, понављање (фреквенција) је дефинисана на табулатору табулације о превентивном одржавању, а једна процедура је дефинисана на табулатору процедура са интервалом „1“.
- 2) Вишеструке процедуре су дефинисане за покретање различитих процедура у различитим интервалима. На пример, један програм превентивног одржавања би могао имати различите процедуре које раде месечно, квартално и годишње. Распоред мора бити дефинисан тако да се све процедуре покрећу у интервалима који су „вишеструки“ од поновљеног навода наведеног у Табулатору. За ову врсту распореда, понављање за најчешћу процедуру је дефинисано на картици Распоред. На табели Процедуре дефинисане су вишеструке процедуре. Месечни поступак би имао интервал „1“. Квартални поступак би имао интервал „3“, а годишња процедура би имала интервал „12“.

Распоред превентивног одржавања	
Једнострука процедура: Време заснивања, Фиксиран распоред	Процедура је заказана за покретање на свака 3 месеца, сваког 15-ог у месецу.
Једнострука процедура: Време заснивања, Покретан распоред	Процедура је заказана за покретање на свака 3 месеца, са „стварним датумом завршетка радног налога“ којим се одређује следеће заказано одржавање.
Једнострука процедура: Време заснивања, Фиксиран распоред	Процедура је планирана за покретање на сваких 5000 јединица.
Једнострука процедура: Основна мера, Покретан распоред	Процедура је заказана за покретање на сваких 5000 јединица са „стварним читавањем мера“ у тренутку када је радни налог затворен, одређујући следеће заказано одржавање.
Вишеструке процедуре: Време заснивања, Фиксиран распоред	Вишеструке процедуре заказане да раде месечно, квартално и годишње.
Вишеструке процедуре: Време заснивања, Покретак распоред	Вишеструке процедуре заказане да се покрећу на сваких 30, 90 и 120 дана са „стварним датумом завршетка радног налога“ којим се одређује следеће заказано одржавање.
Вишеструке процедуре: Заснована мера, Покретан распоред	Вишеструке процедуре заказане за покретање у интервалима од 7.500, 30.000 и 60.000 јединица, са „стварним читавањем мера“ у тренутку када је радни налог затворен, чиме се одређује следеће заказано одржавање.

Табела 3. Пример распореда превентивног одржавања[9]

4.3 Превентивно планско одржавање

Превентивно планско одржавање (Time Based Maintenance – TBM) подразумева временски дефинисане интервале у којима се изводе одређене активности из домена одржавања у циљу одржања стања система „у раду“.

Поменути временски интервали могу бити: седмични, месечни, квартални и сл. Временски интервали се могу дефинисати и на индиректан начин, на пример, на основу броја радних сати техничког система или елемента, броја произведених јединица производа и сл.

Технолошки поступак и дисциплина су два основна предуслова за успешно спровођење превентивног планског одржавања. Другим речима, за успешну примену превентивног планског одржавања потребно је обезбедити[10]:

- детаљан списак опреме која се одржава,
- главни годишњи план превентивног одржавања из кога произилазе месечни, недељни и дневни задаци,
- одговорно особље за спровођење предвиђених задатака превентивног планског одржавања,
- контролу обављених задатака,
- извештаје који указују на то када је превентивна активност спроведена и када је треба поново спровести и
- извођење корекција код појаве било које неусаглашености током извођења активности одржавања.

Превентивно планско одржавање подразумева и периодичне прегледе (технички преглед, инспекцију) техничких система. Преглед стања техничких система се унапред планира. Интезитети прегледа ће зависити од степена одговорности и значаја техничких система на којима се прегледи изводе. Извођење активности одржавања по планираним интервалима је само по себи корак напред са применом корективног одржавања[5, 10].

4.4 Превентивно одржавање према стању

Превентивно одржавање према стању (Condition Based Maintenance – CBM) заснива се на периодичном или непрекидном праћењу (мониторингу) стања техничких система и регистравању и препознавању проблема који би могли да доведу до појаве отказа.

Ова метода подразумева да се за дати технички систем одаберу најутицајнији параметри, са аспекта обављања функције циља техничког система, преко којих ће се

вршити мониторинг и дијагностика стања. Наведени параметри представљају физичке величине које се могу измерити помоћу давача. Сигнали са давача се појачавају, затим дискретизују у А/Д конвертору, групишу у базе података, обрађују и анализирају помоћу одговарајућих софтвера. Систем за прикупљање информација са поменутих давача ради даље обраде, анализе и складиштења ових информација, често се назива и системом за аквизицију података.

Код превентивног одржавања према стању активности се изводе када стање техничког система то захтева, што није случај код превентивног планског одржавања где су активности везане за замену или поправку елемената углавном засноване на праћењу средњег времена у раду. Код превентивног одржавања према стању активности се изводе у најповољнијем тренутку, тј. када стање техничког система то захтева. То нам пружа могућност да се благовремено припреме и обезбеде одговарајући резервни делови, припреми особље и отклоне проблеми пре него што дође до отказа са веома озбиљним последицама[10].

5. Тотално продуктивно одржавање ТРМ

Скраћеница ТРМ (Total Productive maintenance) позната је широм света, а представља јапанску технику којој је главни циљ повећање продуктивности постојеће опреме пролонгирањем улагања у капацитете, постизањем поузданости машина и профитабилним улагањем. ТРМ ставља у први план одржавање као неопходни и витални део пословања. Оно се више не сматра за непрофитабилну делатност. Главни циљ јој је свести застоје и отказивање система на минимум.

Према Nakajimi[11], потпредседнику јапанског института за одржавање фабрика, ТРМ је комбинација америчког превентивног одржавања и јапанског концепта потпуног управљања квалитетом и укупног суделовања запослених. ТРМ је методологија направљена од стране Јапана како би се подржао притводни систем. ТРМ је доказана производна стратегија која се успешно глобално користи за постизање организационих циљева компетенције у конкурентом окружењу. Увођење ТРМ методологије пружа организацијама смернице како трансформисати своју пословну заједницу интегрисањем културе, процеса и технологије.

ТРМ се сматра као јапански одговор на амерички стил продуктивног одржавања. То је јапански концепт развијен 1970. Године проширењем превентивног одржавања да постане више као продуктивно одржавање. ТРМ је иновативан приступ за одржавање који је комплементаран са TQM- ом, JIT- ом, континуираним побољшањем перформанси (CPI) и другим светским стратегијама.

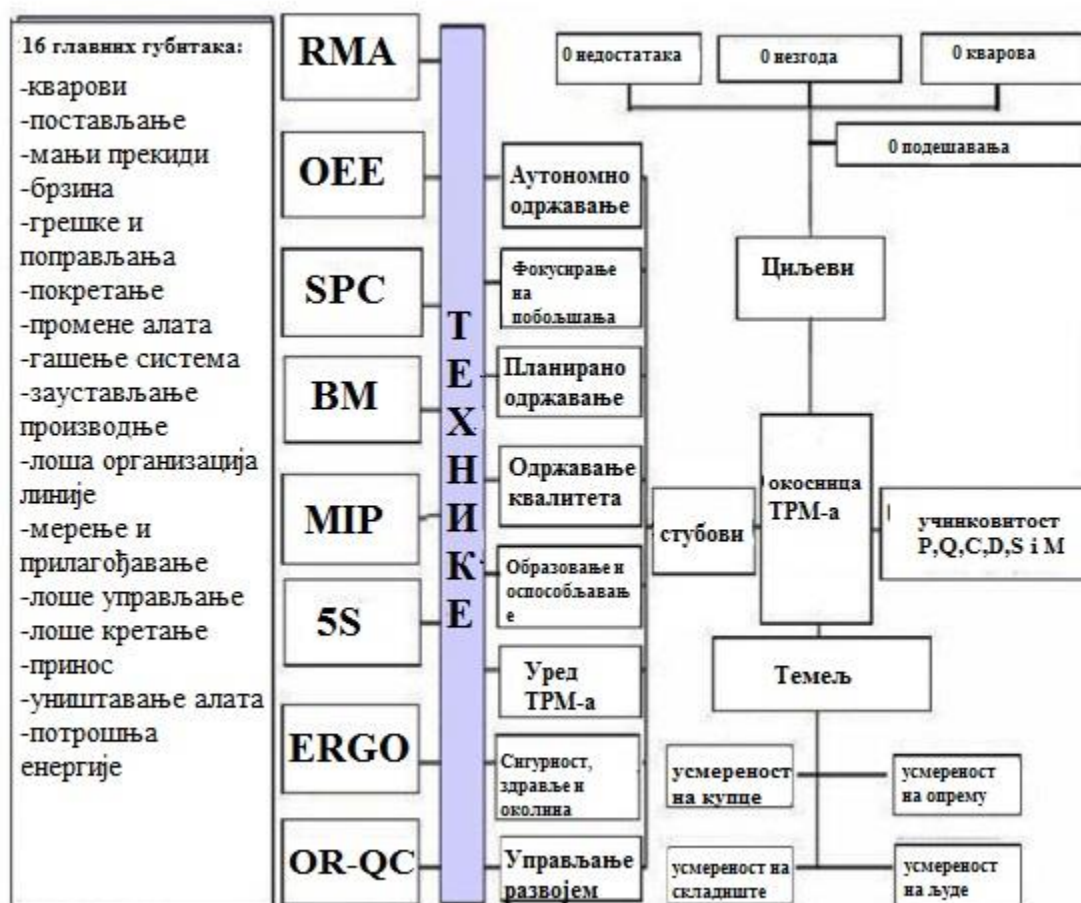
TPM је широко признат као стратешко оружје за побољшање производне перформансе за повећање ефективности производних објеката. Првобитно представљен као скуп пракси и методологија усмерених на производњу опреме побољшаних перформанси, TPM је сазрео у опсежну опрему која оптимизује продуктивност производње. TPM доноси одржавање у фокус као потребни и најважнији део посла. TPM описује синергијски однос између свих организационих функција, али поготово између производње и одржавања за континуирано побољшање квалитета производа, оперативну ефикасност, продуктивност и сигурност. TPM је незаменљива стратешка иницијатива која иде у сусрет захтевима корисника вазаних уз цену, квалитет и време испоруке[12].

5.1 Основни елементи TPM-а

TPM је важан програм производње светске класе уведен током револуције квалитета. TPM настоји да повећа ефективност опреме кроз њен век трајања. Он настоји да одржава опрему у оптималном стању да би се спречили неочекивани кварови, губици брзине и недостаци квалитета који се јављају из процесних активности. Постоје три крајња циља TPM-а: нула недостатака, нула незгода и нула кварова. Накајма сугерише да опрема треба да користи 100% свог капацитета кроз 100% времена. Предности које произилазе из TPM-а могу се сврстати у шест категорија, укључујући продуктивност (P-productivity), квалитет (Q-quality), трошкове (C-cost), доставу (D-delivery), сигурност (S-safety) и морал (M-morale). TPM је замишљен као свеобухватна стратегија производње за побољшање продуктивности опреме. Према референтним вредностима OEE-а, P, Q, C, D, S и M могу омогућити организацији да постигне нула кварова, недостатака, заустављања машина, несрећа и загађења, који служе као крајњи циљеви TPM-а. Стратешки елементи TPM-а укључују унакрсно функционалне тимове како би се уклониле препреке за непрекидан рад машина, строге програме превентивног одржавања, побољшање поступака одржавања менаџмента ефективности, вежбе одржавања опреме на најнижој висини, као и потпору информационих система за развој увежане опреме са нићим трошковима и већом поузданошћу. Слично TQM-у, TPM је усмерен на побољшање свих великих показатеља производног успеха. Имплементација TPM-а захтева дугорочне обавезе како би се постигао побољшани OEE кроз вежбање, подршку управе и тимски рад[12].

Слика 2 показује оквире примене TPM-а и описује алате који се користе у извођењу TPM програма са потенцијалним обрачуном користи и траженим циљевима. TPM иницијативе предложене од стране Јапанског института за одржавање машина (JIPM-Japan Institute of Plant Maintenance) укључују план имплементације од осам стубова извођења који резултирају значајним повећањем продуктивности рада кроз контролисано одржавање, смањење трошкова одржавања као и смањење постављања и застоја. Основни принципи TPM-а се често називају стубови или елементи TPM-а. Цело здање TPM-а је

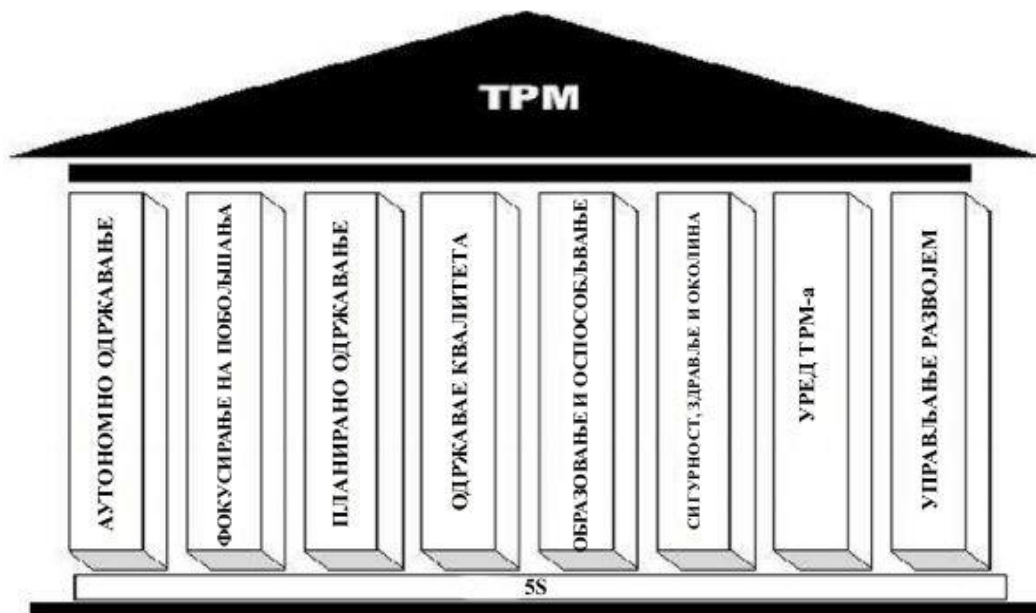
изграђено и стоји на осам стубова. TPM крчи пут за изврсно планирање, организовање, надзор и контролу праксе кроз својих јединствених осам стубова методологије који укључују: аутономно одржавање, фокусирање на побољшања, планирано одржавање, одржавање квалитета, образовање и оспособљавање, сигурност, здравље и околину. Осам стубова Накајима модела имплементације TPM-а је приказан на слици 5 а слика 4 показује одржавање и организациони напредак иницијативе повезане са дотичним TPM стубовима.



Слика 4. Окосница TPM-а[11]

TPM иницијативе као циљ имају постизање побољшане сигурности, коришћење имовине, производни капацитет без додатних улагања у нову опрему, људске ресурсе и наставак смањења трошкова одржавања опреме и побољшање непрекидног рада машине. Оно пружа учинковит начин имплементације активности кроз своје TPM промоције организације које укључују 100% запосленика на трајној основи. Укупна укљученост запосленика, самостална одржавања од стране оператера, мале активности група да би се побољшала поузданост опреме, продуктивност те стално побољшање (Kaizen) су начела која поштује TPM. Постоји низ алата који се традиционално користе за побољшање

квалитета. TPM користи следеће за анализу и решење опреме и процеса повезаних проблема: парето анализа, статистичка контрола процеса (SPC- контрола карата), решавање проблема технике (brainstorming, узрочно-последични дијаграми и 5-M приступ), рока-уоке системи (истраживање грешака), аутономно одржавање, стално побољшање, 5S, смањење времена за постављање (SMED), минимизирање отпада, benchmarking, анализа уског грла, поузданост, одржавање и доступност (RMA) анализа, програм признања и награда, те симулација система. TPM пружа целовит приступ, током целог животног циклуса, управљању опремом који смањује кварове на опреми, производне грешке и несреће. Циљ је побољшати континуирану прозводну доступност система и спречити погоршање опреме за остварење максималне ефикасности. Ови циљеви захтевају снажну потпору управе, као и континуално коришћење радних тимова и група са малим активностима како би се постигло инкрементално побољшање[11, 12].



Слика 5. Приступ од осам стубова ТРМ-а (сугерира ЈРМ)[11]

Стуб 1 - Аутономно одржавање (JISHU HOZEN): овај корак подразумева унапређење оператера на машини (уређају, опреми) да буде способан да води рачуна о мањим захватима одржавања и тако ослободи способније, квалификованије, раднике одржавања за озбиљније задатке у одржавању. Треба осигурати да опрема функционише без прекида, односно да уклони кварове на самом почетку.

Циљеви JISHU HOZENA:

- смањење потрошње уља за 50%,
- смањење трајања производног процеса и
- повећање употребе самог аутономног одржавања

Кораци у оквиру аутономног одржавања:

- припрема запослених,
- иницијално чишћење машине,
- предузимање контрамера,
- унапређење пробних стандарда аутономног одржавања,
- генералне инспекције,
- аутономно инспекције,
- стандардизација и
- аутономно одржавање.

Стуб 2 - Фокусирање на побољшања (Kaizen): „KAI“ значи промена, док „ZEN“ значи побољшање. Дакле, у основи то подразумева мала побољшања која се стално спроводе и укључује све људе и организацију. То је нешто супротно великим иновацијама- принцип овог стуба је да је боља примена великог броја малих и ситних иновација. Тиме Kaizen не узрокује никакве додатне трошкове и инвестиције. Спроводе се како у производној тако и у административној сфери.

Kaizen политика је:

- концепт нула губитака у свим сферама активности,
- стална тежња за смањењем трошкова свих подручја у предузећу,
- тежња за побољшањем свих ефективности фабрике и
- значајна употреба анализа у одржавању као алат за уклањање губитака

Kaizen циљеви:

- постићи и одржати нула губитка и
- постизање 30% уштеде у производњи

Дакле, све то што се постиже кроз споменуту политику Kaizena, кроз анализе, прегледавање трошкова, Kaizen регистре и завршне таблице. Kaizen тежи подизању ефикасности опреме, оператера на машини и начина употребе материјала и енергије. Он проширује тематику 6 главних губитака и третира шире подручје кроз 16 главних губитака.

Стуб 3 - Планирано одржавање:

Дели одржавање у 4 групе:

- превентивно одржавање,
- корективно одржавање,
- одржавање према стању и
- превенција

Овиме подижемо наше напоре од реакције на проактивно одржавање и обучени радници одржавања увежбавају раднике (оепратере) на машини да буду способни да боље одржавају своју опрему.

Политика планираног одржавања је:

- постизање и одржавање расположивости опреме,
- оптимизација трошкова одржавања,
- смањење инвентара резервних делова и
- побољшање поузданости и погодности одржавања опреме

Циљеви планираног одржавања:

- нула отказа,
- побољшање поузданости и погодности одржавања за 50%,
- смањење трошкова одржавања за 20% и
- осигурање расположивости резервних делова у сваком тренутку

Стуб 5 – Образовање и оспособљавање: Циљ је имати обучене раднике чији је морал висок и који желе да дођу на посао и да обављају задатке ефикасно и независно. Ради тога се обучавају оператери да унапреде своје способности. Запослене треба обучавати доке не прођу све 4 фазе вештина или способности које су:

- Фаза 1 – не знам о чему је реч,
- Фаза 2 – знам теоретски, али не знам да применим,
- Фаза 3 – знам, али не знам да пренесем знање и
- Фаза 4 – знам да направим, а знао бих и да научим колегу

Политика образовања и оспособљавања:

- фокус на знање, способност и технику,
- осигурати окружење које доприноси обуци на основу оног што је потребно,
- трајна обука и
- обука да се уклони умор запослених и осигура више задовољства на послу

Циљеви обуке су:

- постизање и читавање времена отказивања критичних машина = 0,
- постизање и очување нула губитака услед мањка знања и способности и
- постизање 100% укључености свих запослених.

Стуб 6 – Сигурност, здравље и околина: Циљеви су јасни, а то је постизање нула инцидената, нула повреда и нула пожара. Дакле, треба се усредсредити на постизање сигурне радне околине која неће бити угрожена радним процесима или процедурама. Овај стуб ТРМ-а ће заправо бити усађен у све остале стубове ТРМ програма. Зато се и треба именовати менаџер сигурности који ће надгледати све функције предузећа везане уз то, а такође и проширити свест о томе међу запосленима.

Стуб 7 – Уред ТРМ-а: уред ТРМ-а треба формирати по активирању претходних стубова. Уред или другим речима канцеларију треба формирати како би се пратило побољшање проуктивности, ефикасности у административним пословима у због отклањања губитака, а то укључује анализирање процеса и процедура.

Стуб 8 – Управљање развојем: Циљ је смањити време потребно за покретање нове опреме, број проблема свести на минимум, те знања која смо стекли на претходно коришћеној опреми применити новој, уз додатну обуку.



Слика 6. TPM иницијативе повезане са разним стубовима[13]

5.2 План спровођења ТРМ-а

Lucky и Akerston[14] сматрају да је TPM врло структурисани приступ за који се пажљиво и темељно планирање и припрема сматрају кључним за успешну имплементацију TPM-а у организацији, а исто тако захтева разумевање и веру управе у концепт. Један од најзначајнијих елемената процеса имплементације TPM-а је тај да је у складу са методологијом за стално побољшање. TPM је дугорочан процес, а не нека брзо поправљајућа стратегија за данашње проблеме производње. Организације широм света боре се већ дуго да се развије на најбољи могући начин стратегија за успешну имплементацију TPM-а. Међутим, TPM стручњаци и практичари широм света признали су проблеме у вези стила TPM-а (различите делатности предузећа) у организацијама због фактора као што су: врло варијабилне вештине повезане са радном снагом у различитим ситуацијама, добне разлике у радним групама, различита сложеност производног система и опреме, сасвим другачија култура организације, циљеви, политика и окружење, те разлике у превладавајућем стању надлежности одржавања.

Иако не постоји ни један прави начин за спровођење TPM програма, а ту је била сложеност и дивергенција TPM програма усвојена у целој индустрији, јасно је да је

структурисање процеса имплементације одређено као фактор успеха и кључни елемент ТРМ програма. Како би се успешно увела начела и пракса ТРМ-а, структурисана методологија спровођења ТРМ-а је потребна организацијама да би се олакшао гладак прелаз из текућег стања до жељене висине производње перформанси светске класе. Забележени су бројни приступи предложени од стране различитих практичара и истраживача за спровођење ТРМ-а у различитим организацијама, који имају различита радна окружења и организационе циљеве за прикупљање стратешких производних способности[12].

Накајита је такође нагласио методологију ТРМ-а од 12 корака, који укључује 4 фазе спровођења ТРМ-а[11]. Тих 12 корака подупиру основне развојне активности, које чине минималне услове за развој ТРМ-а. Различите фазе које су укључене у спровођење ТРМ методологије су приказане у табели 3.

5.3 12 корака за спровођење ТРМ-а

1. Корак – Декларисање увођења ТРМ-а од стране менаџмента: мора да се донесе чврста одлука менаџмента фирме и обавештење свим запосленицима са ентузијазмом (одлука у имплементацији ТРМ-а). Важна су три основна захтева за имплементацију ТРМ програма:

- промена става запослених,
- повећање њихових способности и компетенција и
- побољшање радног окружења

2. Корак – Почетак едукације и представљање ТРМ-а: циљ едукације и представљања ТРМ-а је да добро објасни ТРМ, подигне морал запосленицима и смањи отпор променама. Тај отпор променама може бити различитог облика: неки радници више воле уобичајену поделу посла, на пример оператер само ради на машини, а радник одржавања поправља. Са друге стране радници одржавања су врло скептични у вези способности оператера да изведе рутинско превентивно одржавање.

3. Корак – Стварање организације за промовисање ТРМ-а: формирају се одбори и пројектни тимови сваког нивоа у вертикалном менаџменту фирме и требало би да се састоје од „професионалаца“. Такође се креира и централни уред ТРМ-а у тој форми.

4. Корак – Одређивање темељне ТРМ политике и циљева: централни промотивни уред ТРМ-а треба да одреди основне циљеве и политику анализирајући постојеће услове. Циљеви би требало да буду квантитативни и прецизни, специфицирајући мету и временски оквир.

5. Корак – Стварање главног плана развоја ТРМ-а: ово је следећа одговорност промотивног централног уреда ТРМ-а. Потребно је израдити дневни распоред за

промоцију почетка ТРМ-а, са периодом припреме пре имплементације, исто тако потребно је изградити и анализу зетечених услова у предузећу. Дакле, треба се фокусирати на око 5 основних развојних активности ТРМ-а.

6. *Корак – Одржавање састанака о увођењу ТРМ-а:* ово је прва фаза имплементације, почетак борбе против 6 великих губитака. Током периода припреме, менаџери и професионално особље имају доминантну улогу. У фази имплементације сваки радник има важну улогу. Сваки од њих мора подржати ТРМ политику усвојену од својих послодаваца кроз све активности које уклањају 6 великих губитака.

7. *Корак – Развој система због повећања ефикасности производње:* организовати пројектне тимове у којима су инжењери, радници одржавања, надзорници и радници. Затим се усредсредити на опрему која лоше ради. Одређена опрема се издвоји као пример па се додели тим свакој издвојеној машини (опреми).

8. *Корак – Установити самосталне програме одржавања за оператере:* самостално одржавање од стране оператера је јединствена карактеристика ТРМ-а. Сваки оператер мора да буде одговоран за своју машину. Самостално одржавање од стране оператера треба да садржи следећих 7 корака:

- иницијално чишћење,
- контрамере на извору проблема,
- стандардно чишћење и подмазивање,
- генералне инспекције,
- самосталне прегледе,
- чистоћа и уредност и
- потпуно самостално одржавање

9. *Корак – Развој распореда одржавања за одељење одржавања:* мора бити координисано са активностима самосталног одржавања. Такође треба успоставити јасну поделу одговорности. У оквиру овог програма потребно је разрадити периодично и предвидљиво одржавање, као и управљање залихама, резервним деловима, алатима, цртежима и ознакама.

10. *Корак – Спровођење образовања за побољшање одржавања:* техничка обука и увежбавање за рад и одржавање се треба спровести према појединачним потребама радног места.

11. *Корак – Развити програм раног управљања опремом:* рано управљање опремом изводе углавном производни инжењери и особе задужене за одржавање као приступ превентивном одржавању и конструисању машина и опреме који имају малу или никакву потребу за одржавањем. Ови циљеви се постижу кроз различите фазе: приликом планирања инвестиција за опрему, при конструисању, извођењу инсталација, и пуштању

у рад и сл. Откривање и отклањање грешака и застоја се дешава у овој фази. Такође се спроводи и анализа трошкова животног циклуса (LCC-life cycle cost).

12. Корак – Имплементација ТРМ-а у целини и тежња ка вишим циљевима: у овом кораку имплементације се примећује сталан, добар и стабилизovan ТРМ. Размишља се и постављају се виши циљеви за будућност. Сви раде константно да побољшају резултате ТРМ-а, а и тиме и укупне резултате рада компаније. Види се из приложеног да је имплементација ТРМ-а поцес који траје и не изводи се преко ноћи, као и да је то посао који нема свој коначан крај, већ му је циљ да успостави константну тежњу ка побољшањима. 1994. Године Seger изводи следеће закључке о имплементацији ТРМ-а:

- ТРМ се може применити у различитим предузећима и у сваком одељењу предузећа
- треба се уводити у фазама и систематично,
- постоје чињенице које чине имплементацију ТРМ-а једноставнијом, на пример, ентузијазам менаџмента код инвестирања у ТРМ, као и већи буџет компаније са снагом да покрене ТРМ активности, итд.,
- неке компаније примењују ТРМ да би преживеле, а друге да би биле светски лидери на тржишту,
- компаније које уводе ТРМ обично користе основни ЈИМР концепт, али га прилагођавају својој компанији и својим циљевима,
- утисак о компанијама које су спровеле ТРМ је да су чисте, ефикасне, без отпада и да раде високо квалитетне производе, са јако мало застоја и у доброј радној околини и
- ТРМ је врло добар алат у достизању низа циљева као што су рад без грешака, без застоја и смањење трошкова.

Pirsig[15] је истакао седам јединствених општих елемената и четири главне теме у сваком спровођењу TPM програма. Кључне теме у TPM спроведеном програму укључују: тренинг, децентрализацију, одржавање превенције и разноврсне вештине, док су општи елементи: стратегија имовине, оснаживање, планирање ресурса и распоређивање, системи и процедуре, мерење, тимови за стално побољшање и процеси. Однос између TPM тема и општих елемената је приказан на слици 7.



Слика 7. Pirsig модел имплементације TPM-a[15]

Фазе извођења	ТРМ кораци извођења	Потребне активности
Припреме	1. Декларисање увођења ТРМ-а на модул	- Декларисање увођења ТРМ-а на модул - Покривено у организацијском часопису
	2. Почетак едукације и представљање ТРМ-а	- Образовање менаџера на свим нивоима - Образовање радника на састанцима са коришћењем слика
	3. Стварање организације за промовисање ТРМ-а	Стварање организацијске хијерархије за ТРМ програм
	4. Одређивање темељне ТРМ политике и циљева	- Подизање циљева - Предвиђање учинка
	5. Стварање главног плана развоја ТРМ-а	- Развијање детаљног плана увођења ТРМ-а - Стратегија увођења постепених промена
Почетно увођење	6. Одржавање састанка о увођењу ТРМ-а	Позивање пословних партнера
Увођење ТРМ-а	7. Развој система због повећања ефикасности производње	Истраживање повећања ефикасности производње
	8. Повећати ефикасност сваког дела опреме	Подстицање тимских активности и рад у групама
	9. Стварање аутоматизованог програма одржавања (АМ)	Систем „корак по корак“ дијагностика и квалификација
	10. Развој распореда одржавања за сектор одржавања	Побољшано одржавање, периодично одрж., предвидљиво одрж.
	11. Спровођење образовања за побољшање одржавања	Групно образовање водитељ и радника
	12. Развити програм раног управљања опремом	Развој производа које је једноставно произвести
	13. Развој организације за одржавање квалитета	Увођење услова са смањеним бројем грешака
	14. Развој система побољшања ефикасности администрације	Служба за раднике, побољшана ефикасност
	15. Развој система за заштиту сигурности, здравља и околине	Развијање система нулте толеранције на грешке
Стабилизација	16. Имплементација ТРМ-а у целини и тежња ка вишим циљевима	- Устрјавање у напорима за побољшано одржавање - Дизање циљева

Табела 4. Методологија спровођења ТРМ-а

6. Одржавање засновано на поузданости RCM

Одржавање засновано на поузданости није ново. Управљачка група одржавања (Maintenance Steering Group MSG) претеча RCM-а, постоји од раних 1960-их. Stanley Nowlan и Howard Heap из „United Airlines-а“ представили су формални RCM комерцијалној авијацијској индустрији 1978. Превентивно одржавање авијације и поузданост се првенствено заснива на њиховом раду, и они се сматрају „дедама“ RCM-а. Њихова визија је данас релевантна као и када су објавили прво (и најактивније) извођење одржавања заснованог на поузданости 1978. Године.

RCM није ништа друго до логичан начин за идентификацију коју опрема у вашем објекту захтева да да буде одржавана на превентивном нивоу а ређе на нивоу „пусти да да откаже онда поправи“. Многи су чули за фразу „не поправљај док не пукне“. Постоји зрно истине у овој аксиоми али она показује веома плитак приступ ако се трудите да постигнете поузданости и нивое сигурности за ваш објекат, који су најбољи који могу бити.

Многи погони и постројења су пробала „пробај и промаши“ приступ, или старински „како смо ми то радили“ приступ или „иди на срећу“ приступ одржавања. Ове методе ће досезати толико далеко до када вам срећа не истекне, и потенцијално се спрема катастрофа иза угла коришћењем ових метода. У недостатку структурираног RCM приступа, поузданост ће се искључиво ослањати на искуство и стратегију која се састоји од најбољег процеса одлучивања. Тај приступ далеко је велики недостатак за модерна очекивања.

Катастрофе могу бити бити узроковане природним акцијама, људском грешком или отказивањем опреме. Катастрофе изазване акцијама природе као што су урагани, земљотреси, цунамији, торнада или клизишта не допуштају да буду угушени људском интервенцијом, већином оне су неизбежне. Могу постојати системи упозорења као што су бубњеви упозорења за цунамије на Пацифику, или изградња стандарда који помажу превенцију структура од савијања током земљотреса, али сам догађај је неизбежан. Са друге стране људска грешка (пилотска грешка, судијска грешка, грешка оператера итд.) нуди широк спектар спречавања потенцијалних катастрофа. Неки од алата који могу бити корисни, укључује на пример, бољу обуку, специфичније процедуралне смернице за обављање постављених задатака, сигурније радно окружење, и строжије стандарде и кодове свих акција које се могу предузети да се избегну људске грешке до одређеног степена[16].

Шта са катастрофама које се дешавају у фабрикама, постројењима или другим објектима које обично воде порекло од отказа опреме? Ове врсте отказа вероватно нуде највећу могућност заобилажења њихових потенцијалних могућности да изазову катастрофу. Ништа није 100% поуздано, било да је у питању авион, свемирски брод или

нуклеарно постројење. Међутим, катастрофе узроковане отказом опреме, имају могућност да буду коришћене до степена који је близу 100 процентној поузданости. То се не може рећи за природне катастрофе или за оне изазване људским грешкама.

Ми имамо доста контроле над начином на који одржавамо наше објекте и опрему у циљу спречавања отказа. Одржавање засновано на поузданости усмерено на превентивно одржавање је вероватно најбоља метода која може да се преузме да би смо се што више приближили оном прагу поузданости од 100%.

Разумевање RCM-а које многи од нас имају углавном долази од читања књига и чланака на ту тему, или до консултаната продаје. Често су ове информације ограничене и укључују терминологију као што је границе, функције, интерфејси, функционалне грешке, и слично. Прецизније, терминологија треба да обухвати: успостављање граница система, подсистема, улаз система улаз интерфејса, улаз-систем-излаз-интерфејс, системске функције, подсистемске функције, откази тих функција, последице ових функционалних грешака итд. Ретко помињање ових фраза вероватно је изазвало тренутни куизички поглед на вашем лицу, и то са правом. То су неки од разлога зашто је RCM тако тешко имплементовати.

6.1 Три фазе RCM-а – Базиране на програму превентивног одржавања

Фаза 1 се састоји од идентификације опреме која је важна за сигурност постројења, производње и заштите имовине.

Фаза 2 се састоји од спецификације потребних РМ задатака за идентификацију опреме из фазе 1. Ови задаци морају бити и примељиви и ефективни.

Фаза 3 се састоји од правилног извршавања задатака наведених у фази 2

Фаза 1 је генеза процеса. Овде се идентификује опрема која мора да има стратегију превентивног одржавања како би се предухитрио отказ и опрема остала поуздана у циљу очувања критичних функција опреме и смањили изазови вашем постројењу који настају као последица неуспеха опреме. Ово је становиште опреме која захтева превентивно одржавање. Ово је становиште опреме које такође сматра да је важно очување критеријума поузданости средстава.

Када се ово становиште идентификује, онда се може одредити у фази 2, врста превентивног одржавања коју треба прописати. Избор потенцијалних задатака је веома велики и новије технике предвидљивог одржавања (PdM) нуде додатну економичност за обављање ових задатака. Запамтимо, такође, то нису задаци само одељења одржавања већ је то интеграција свих задатака свих одељења које чине програм превентивног одржавања.

Једном када се идентификује циљано становипте и пропишу врсте активности превентивног одржавања које морају да се спроведу да би се одржала поузданост опреме, у трећој фази је императив да ваша контрола рада или радног менаџмента успостави распоред рада периодично по потреби. Шта мислите да ће бити исход ваших напора, чак и са одличним RCM програмом, уколико постоје недостаци у распореду рада, који могу довести до тога да задаци превентивног одржавања континуирано касне или још горе да уопште не буду постигнути?

Док су фазе 1 и 2 потпуно под кишобраном RCM-а, оне су такође апсолутно зависне од фазе 3, која није везана за RCM и налази се под окриљем ваше радне контроле и распореда организација. Пропуст у овоме је као сломљена нога на троугаоној столици. Иако није императив да ваша радна контрола и групације распореда учествују у RCM процесу поред инжењерингам операција и одржавања, оне не би требало да буду у мраку о филозофији програма и требало би да знају како ће се то односити на њихове напоре у планирању[16].

Постоји много грешака у извршавању RCM програма због потешкоћа у управљању радом организација. У зависности од индустрије и врсте објекта, добијање заказаног радног налога укључује савладавање истих скупова проблема, иако неки од њих могу бити мало другачији. Ако организација није опремљена да се бави планирањем, распоредима, и перформансама о прописаном раду, можда ће наићи на потешкоће постижући своје циљеве поузданости.

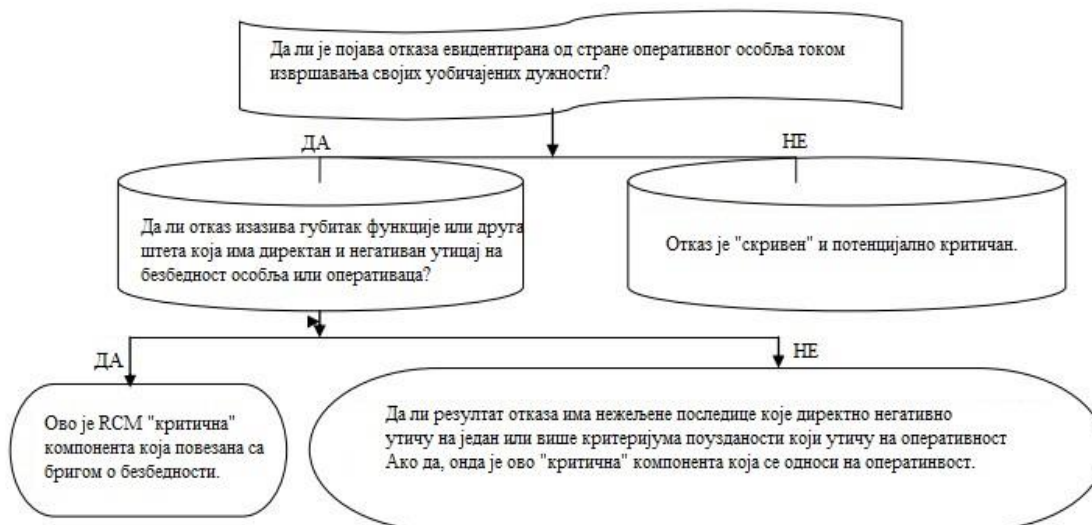
6.2 Процес имплементације RCM-а

Приступање RCM - у који је сувише сложен и ограничен је контрапродуктиван и непотребно скуп. Превише нагласка на свакодневном догађању може довести до опадања интереса за читав RCM процес. Приступање RCM - у на овај начин допринело је томе да је процес учинило веома тешким за имплементацију, и због чега је стопа неуспеха имплементације била толико висока. Кораци који се предузимају да би спровођење RCM програма био једноставно су[17]:

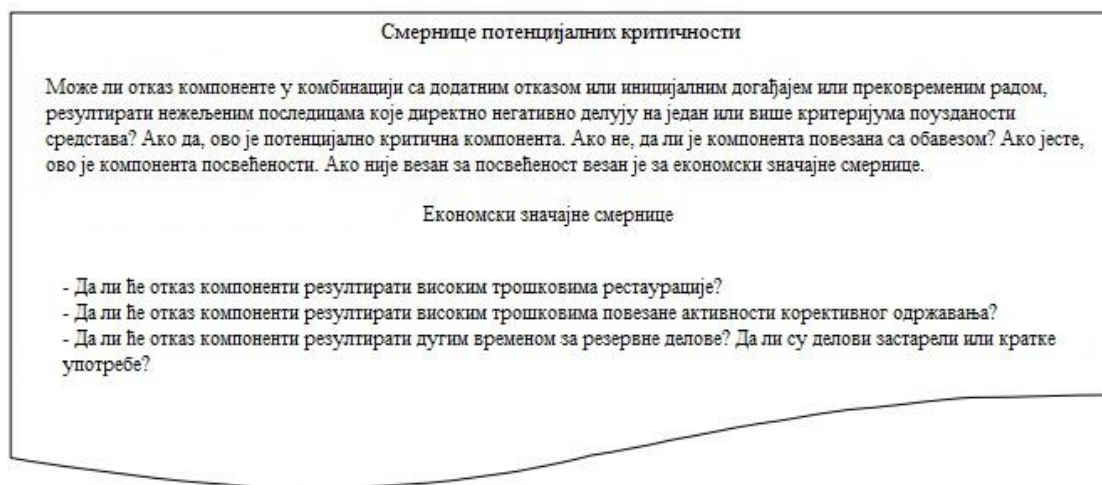
- 1) Дефинисти прецизно критеријуме поузданости средстава. Ово укључује све нежељене последице неуспеха које се могу појавити у постројењу и то мора бити спречено. Критеријуми би требало да узму у обзир следеће проблеме: обезбеђивање особља и сигурност постројења, спречавање или смањивање непланираних кашњења производње, непланирана заустављања постројења, смањење снаге, прекиде производње, губитке производних капацитета и спречавање регулаторних или еколошких проблема од привлачења непожељног публицитета или парница. Ови критеријуми би требало да одобри највише руководство и сва одељења у компанији. Квалификациони услови би требало да буду постављени на одабране критеријуме на пример, не би требало дозволити

смањење снаге веће од 5%. Такви услови такође би требало да имају благослов и одобрење свих власти у компанији. ПМ програм ће се састојати од компоненти класификованих као критична сигурност или оперативност, потенцијално критична сигурност или оперативност, посвећености или економичност.

- 2) Имплементација и разумевање RCM COFA (последике анализа отказа, *eng Consequence of Failure Analysis*) логичког стабла, потенцијално критичне смернице и економски значајне смернице потребно је пре него што се упустимо у креирање COFA радног листа. COFA логичко стабло приказано на слици 8 и допуњено са сликом 9, има сложен логички темељам, прецизан и јасан процес и поједностављује га на основне елементе. Интегрише сву логику за идентификацију критичних, потенцијално критичних посвећености и економских компоненти. Логика је створена тако да се, како би се класификовала као економска, компонента мора бити филтрирана кроз COFA логику и потенцијално критичну смерницу како би се осигурало да то није само економска компонента, јер би то могла бити критична или потенцијално критична компонента како је приказано на слици 3. Већина RCM програма ће одмах скакати право на економски закључак ако компонента има велики број корективних одржавања или високе трошкове рестаурације.
- 3) COFA анализа радног листа. Радни лист COFA интегрише COFA логику и потенцијално критичну смерницу и економски значајну смерницу. Радни лист COFA починње описујући све функције и компоненте. Постоји функционална грешка која одговара свакој функцији компоненте. Постоји функционалан мод који одговара сваком функционалном отказу. Компонента ће имати повезан отказ режим за сваки различити функционални отказ. Режими отказа су врсте грешака или начини на које компонента може пропасти. Режими отказа могу да окључују на пример, „вентил затворен“, „вентили не отварају“, „прекидач није активиран“, „прекидач активира преурањено“ или „пумпа не стартује“. Не постоји системски ефекат или нежељена последица за сваки начин отказа. Компонента са режимом отказа који резултира нежељеним последицама класификована је као критична, потенцијално критична, посвећена или економична.
- 4) RCM преводи функције пројектовања компоненте у оперативне циљеве објекта помоћу програма поузданости.
- 5) Имплементација RCM-а је у потпуности конципирана и у многим аспектима напреднија од CAE (компјутерски подржано инжењерство *eng Computer-Aided Engineering*) стандарда за RCM.



Слика 8. RCM COFA логичко стабло[18]



Слика 9. Смернице потенцијалних критичности и економски значајне смернице[18]

6.3 Филозофија RCM-а

Одржавање засновано на поузданости је засновано на побољшању система метода која одржава економичан поглед док идентификује и осмишља оперативне политике одржавања и стратегије. Ово се ради како би се управљало ризицима функционалног отказа система на економичан начин, а посебно је применљив на ситуације у којима постоје ниска или ограничена финансијска средства.

Филозофија RCM-а се фундаментално разликује од других стратегија одржавања, очувањем функционалности система до жељеног нивоа, за разлику од одржавања опреме која је изолована са односом према систему. Укратко, одржавање засновано на поузданости је систематски приступ дефинисању планираног програма одржавања који се заснива на трошковно ефикасним задацима, док се пази на очување критичних функција постројења[19].

Важан аспект ове филозофије је приоритизација система додељивањем нивоа критичности заснованих на последицама отказа. Овај аспект, посебно је у складу са основним циљем да се постигне трошковна ефикасност са ефикасношћу која канализује ресурсе на приоритетне задатке. Ово се обавља идентификовањем потребних дизајна и оперативних модификација и оправданих стратегија одржавања према приоритетним нивоима. Као пример, опрема која није критична за постројење може бити остављена да се покрене решавањем насталог отказа док је опрема која има критичне функције сачувана по сваку цену.

6.4 Методологија RCM-а

РЦМ има седам корака методологије. Ова методологија захтева документацију која бележи тачно како су изабрани задаци одржавања и зашто су то били најбољи могући избори међу бројним конкурентним алтернативама. Ових седам корака укључују:

- 1) избор система и прикупљање информација,
- 2) дефинисање граница система,
- 3) опис система и блок дијаграм функције,
- 4) функције система и функционални откази,
- 5) режим отказа и анализа ефективности (FEMA – Failure mode and effective analysis),
- 6) анализа стабла логичког одлучивања (LTA – Logic decision tree analysis) и
- 7) избор задатака.

Избор система и прикупљање информација. Анализа нивоа система је најбољи приступ, компонентном нивоу недостаје дефинисање значаја функција и функционалног отказа, док анализа нивоа постројења чини читиви анализу нетакнуту.

Након што је одлучено та је тај систем најбољи практични ниво за спровођење анализе, следеће питање са којим се суочавамо јесте одабир система који шта наручити. Један одговори би могао бити одабир свих система унутар постројења или постројења по било ком распореду. Међутим, ово је у супротности са духом и главним погоном РЦМ трошковне ефикасности. Овај аргумент подржава и чињеница да многи системи немају историју конзистентних кварова нити претеране трошкове одржавања који би оправдали читав напор. Како то може бити ситуација са којом се суочава већина постројења, неколико шема селекције које се користе могу се идентификовати на следећи начин[19]:

- 1) системи са великим бројем задатака корективног одржавања током последњих година,
- 2) системи са великим бројем превентивног одржавања и/или трошкова током последњих година,
- 3) комбинација шема 1 и 2,
- 4) системи са високим трошковима одржавања од задатака корективног одржавања током последњих година,
- 5) системи који значајно доприносе прекиду рад/искључењима (потпуни или делимични) током последњих година,
- 6) системи са великим степеном забринутости у вези са безбедношћу и
- 7) системи са великим степеном забринутости у вези са окружењем

Следећи корак након избора система је прикупљање информација везаних за ове системе. Добра пракса је започети сакупљање кључних информација и исправних на почетку процеса.

Дефинисање граница система. Идентификација система зависи од различитих фактора. Ово може укључивати комплексност постројења, владина или регулаторна правила и ограничења локалне и/или јединствене индустријске праксе, финансијску структуру фирме итд. Иако су дефиниције и границе бруто система идентификоване у одређеним случајевима, то се може користити на добар ефекат у првом кораку али не довољно за даљу анализу. Детаљна и прецизна идентификација граница је од виталног значаја. Кључни разлози за то су:

- 1) Тачно знање о томе шта је укључено (обрнуто није укључено) у систем како би се уверило да се не занемарује било која кључна функција система или опрема (обратно се не преклапа са другом опремом). Ово је посебно важно ако су изабрана два суседна система.
- 2) Дефиниција граница такође укључује системске интерфејсе (и IN и OUT интерфејсе) и интеракције које успоставља улазе и излазе система. Прецизна дефиниција IN и OUT интерфејса предуслов за испуњавање корака 3 и 4.

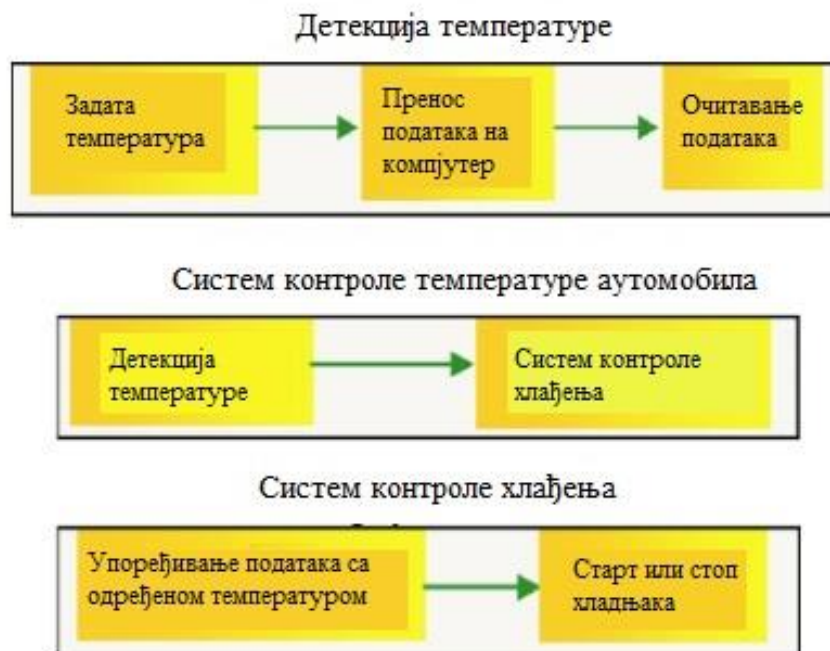
Опис система и блок дијаграм функције. Логичан корак који треба пратити након одабира система и дефиниције граница је да се даље анализира и документују неопходни детаљи система под опсегом. Овај корак обично подразумева образац за документовање основне карактеристике система који ће се евентуално користити за одређивање ПМ задатака. Типичан облик је приказан у табели 5.

Подаци који су већ прикупљени у ранијим фазама стављају се у форму анализе система. Тачна и добро документована системска дефиниција ће помоћи у производњи. Ова основна информација служи и као запис који ће помоћи у упоређивању током модификација и надоградње у пројектовању или операцијама. То такође идентификује кључне дизајнерске и оперативне параметре који директно утичу на перформансе системских функција.

Блок дијаграм система (слика 10.) као што је разамтрано бави се статичким и физичким односима који постоје у систему. То није илустрација значајних карактеристика система као што је понашање које се дешава са променама у системском окружењу. Овај одговор у понашању зависи од функције коју систем може извести на такве еколошке улазе и конструкције. Моделовање овог функционалног понашања или функционалног блок дијаграма.

Анализа система RCM-а (опис система)		
Датум:	Постројење:	Локација:
Име система:	RCM Анализа: 1. 2.	
ID Система:		
Локација Система:		
Функција Опис		
Кључни параметри		
Кључна опрема		
Сувишне карактеристике		
Сигурносне карактеристике		

Табела 5. Типична форма анализе RCM система



Слика 10. Блок дијаграм тока функције[19]

Функције система и функционални откази. Овај корак идентификује функције које су потребне за чување од стране система (на OUT интерфејсима). Важно је напоменути да су ове изјаве за дефинисање системских функција, а не опреме. Са дефиницијом системских функција долази до функционалних грешака. У ствари, неуспех функционисања система представља оно што се зове функционални отказ. Ово доводи до решења како се процес функције може поразити.. То захтева две ствари: задржавање фокуса на губитку функције, а не на опреми и да су функционални неуспеси више од само једног израза губитка функције. Услови губитка могу бити два или више нпр. Потпуна парализа постројења или мањи или већи губитак функционалности. Ова разлика је важна и довешће до одговарајућег рангирања функције и функционалне грешке[18, 19].

Режим отказа и анализа ефективности (FEMA). Анализа начина и ефеката отказа је основни алат који се користи у инжењерству поузданости. То је системска техника анализе неуспеха која се користи за идентификовање режима отказа, њихове узроке и последично њихове падове у виду системских функција. Употребом података и знања и процесу или опреми, сваки потенцијални начин отказа и ефекат су оцењени у сваком од следећих фактора:

- *Тежња* – последица неуспеха када се деси.
- *Појављивање* – вероватноћа или учесталост отказа.

- *Детекција* – вероватноћа откривања отказа пре него што се утиче на ефекат.

Анализа стабла логичког одлучивања (LTA). Логичко стабло или анализа стабла је шести корак у RCM методологији. Сврха овог корака је да се даљи приоритет дода ресурсима који ће бити посвећени сваком случају отказа. То се ради јер сваки режим отказа и његов утицај на цело постројење није исти. Свака логичка шема може да дефинише ово рангирање случајева отказа. RCM обрађује једноставну и интуитивну логичку структуру одлука које омогућавају кориснику, уз минималан напор, да сваку грешку поставља у одређену категорију.

Избор задатака. У овом кораку додељују се ПМ задаци и ресурси и то је тачка где могу да се искористе максималне економске користи RCM активности. Избор задатака захтева да сваки задатак буде у стању да спречи отказе, открије грешке или открије скривене отказе, док је ефикасност повезана са трошковном ефективношћу алтернативних ПМ стратегија. Ако ни један ПМ задатак није изабран, једина опције је покретање опреме до отказа. Ова активност захтева допринос особља за одржавање јер њихово искуство је непроцењиво у правом избору задатака ПМ.

7. Избор стратегије одржавања

Постоје две врсте отказа техничког система који се одржава:

- 1) Изненадни откази и
- 2) Постепени откази (позни откази)

За обе врсте отказа потребно је одобрити одговарајућу стратегију одржавања.

За изненадне отказе примењује се најједноставнија стратегија корективног одржавања а то је стратегија обављања после отказа. Ова стратегија се теоријски разматра у теорији обнављања. У одржавању се она означава као нулта стратегија (стратегија 0). Све остале стратегије одржавања су. Навешћу неколико карактеристичних стратегија за изненадне отказе.

Стратегија 0: Корективно одржавање после отказа

Стратегија 1: Превентивно обнављање у фиксним периодичним интервалима плус корективно обнављање уколико у току интервала дође до отказа. Ово је комбиновано превентивно и корективно обнављање. На слици 10 је представљен ток ове стратегије одржавања на временској скали.



Слика 11. *Комбиновано превентивно и корективно обнављање*[20]

Код ове стратегије обнављана компонента (корективним обнављањем) се користи до истека фиксног времена T одређеног за превентивно обнављање.

Стратегија 2: Превентивно обнављање се врши у фиксним временским тренуцима што се односи и на компоненте које су обновљене корективним обнављањем.

На слици 11 представљена је стратегија 2.



Слика 12. *Стратегија 2 – Превентивно обнављање у фиксним периодима*[20]

Стратегија 3. У фиксним временским интервалима изводе се превентивна обнављања, а откази који евентуално настају унутар тих интервала отклањају се минималним оправкама.

На овај начин се може дефинисати најповољнија стратегија одржавања за сваку врсту техничког система и за различите услове у којим функционишу као и критеријуме. Могу се примењивати комбиноване стратегије провером стања (инспекцијом) и корективним и превентивним обнављањем и оправкама.

За постепене отказе примењују се стратегије које се заснивају на:

- одржавању према стању,
- одржавању према поузданости и
- одржавању на бази трошкова.

Одржавање према стању – поступци одржавања зависе од стања техничког система, на основу прегледа, по утврђеној методологији. То значи да прегледи стања треба да пруже тачне и поуздане информације о стању техничког система, о евентуалним оштећењима, знаковима замора или похабаности или другим чиниоцима који говоре о вероватном отказу у наредном периоду рада, пре него што дође на ред нови преглед. Ова концепција је ефикасна и изазива мање трошкове животног века.

Одржавање по стању се бира онда када је стопа отказа (квара) константна и кад се жеља да се спроведе превентивно одржавање. Одржавање по стању је засновано на следећим карактеристикама[21]:

- 1) план одржавања се дефинише на основу великог броја параметара и података који нам омогућавају увид у стање техничког система и његових саставних делова, при чему се не користе статистички подаци;
- 2) до релације споменутих параметара долази се запажањима која се, између осталог, могу класификовати у 4 различита нивоа:
 - визуелно – користећи једноставне инструменте (лампа, стробоскоп, итд.),
 - контролом без разарања код стабилне опреме као што су резервоари, цевоводи, носећа челична конструкција, итд. (ултразвук, X-зраци, итд.),
 - анализа вибрација (виброметри, анализатори, итд.) и
 - спектрофотометричке анализе мазива ради одређивања садржаја метала у мазиву (на тај начин се долази до увида у трошење).

У односу на план инспекције, при одређивању оптималних учесталости морају се узети у обзир и следеће променљиве:

- трошкови интервенције одржавања пре квара,
- трошкови интервенције одржавања код квара,
- трошкови инспекције,
- стопа квара.

Задатак служби у одржавању је да изведе, оперативан начин следеће операције које чине основу за дефинисање одржавања по стању:

- 1) за сваку машину или њену компоненту, из великог броја стања у коме се могу наћи, треба издвојити оно стање које одговара, процењеним толеранцијским вредностима испод којих се сматра да машина не функционише добро, па су због тога потребне хитне планске интервенције; изнад те границе не сматра се потребном ни једна планска интервенција до следеће инспекције или сервиса,
- 2) одредити параметре који ће омогућити одређивање стања или компоненте у систему,

- 3) одредити граничне вредности параметра који ће омогућити процену дефинисану у првој тачки и
- 4) одредити методу мерења одређених параметара, тј. одредити технички начин извођења инспекција (сервиса) и методе регистрације и анализе података.

Према томе, а на основу свега написаног, применити одржавање према стању на једној машини (или техничком систему), значи следеће:

- подацима приказати релације које омогућавају оцену да ли се одређени елемент или компонента машине може сматрати да је у добром стању,
- извести планску интервенцију одржавања (поправка или замена) на одређеним елементима и
- извести и хитну интервенцију на елементима који су у квару, а коју су довели до квара машине.

Значи потребно је одредити један кратак период у коме се очекује квар (појава тренда), у коме се мора извести превентивно одржавање засновано на дијагностичким процесима, при чему се омогућава одређивање стања сваком елемента у том техничком систему.

Одржавање према поузданости (ОПП) – је методологија заснована на поставкама теорије поузданости и системским наукама у целини. Одржавање је засновано на познавању карактеристика поузданости, на основу које се врши прогноза будућих стања, односно предвиђа појава отказа. На овој основи се доносе одлуке о поступцима превентивног одржавања које треба спровести у одређеним тренуцима времена, како би се спречила изненадна појава отказа, а тиме и одговарајући застоји, додатни трошкови, а можда и веће хаварије. У овом оквиру се анализирају и нужни поступци корективног одржавања, и то како они за којима се укаже потреба током редовних прегледа стања, тако и они који морају да се обаве због појаве отказа између прописаних, односно редовних прегледа стања.

Основни циљеви и методе методологије ОПП су:

- обезбеђење поузданости и безбедности постројења, односно објекта који се одржава на нивоу који одговара његовим уграђеним својствима (односи се на успешност конструкције и квалитета израде),
- у случају појаве отказа, квара или било какве функционалне грешке, враћање постројења на претходни ниво поузданости и безбедности,
- добијање информација нужних за побољшање конструкције, односно за побољшање оних елемената чија је инхерентна (својствена) поузданост недовољна и

- остваривање свих оних задатака уз што мање трошкове, подразумевајући и трошкове одржавања и трошкове последица отказа које се не могу отклонити.

Методологија одржавања према поузданости се доста користи у многим областима индустрије и привреде, и то посебно за производне или друге техничке системе у којима се не тражи само висока ефективност, већ и висока својства безбедности (сигурности) и заштите околине. Типични примери су енергетска постројења, сложени системи процесне индустрије и постројења која утичу на човекову околину, сложени системи саобраћаја и транспорта итд.

Одржавање на бази трошкова – се ретко примењује али постоје ситуације када текући трошкови одржавања могу бити прихватљив параметар стања система. То може бити случај ако се одржава већи број машина истог типа па се одреди лимит трошкова одржавања до кога постоји економска оправданост за оправке система. Када дође до прекорачења тог лимита врши се обнављање система. На овај начин се на бази трошкова одређује економски оптималан век трајања система који се одржава[20].

Постепени откази се за разлику од изненадних могу препознати током прегледа стања система (инспекција). Они настају као последица замора материјала, хабања, корозије, и сл. Њих је могуће предвидети дијагностиком и на тај начин спречити настајање изненадног отказа. Код постепених отказа могућа су три стања система:

- 1) Исправно стање
- 2) Неисправно стање (предотказно стање)
- 3) Стање отказа

У случају неисправног стања система параметри система се налазе у границама толеранције које омогућују радну способност система али прелазе одређене границе упозорења које значе да може доћи до изненадног отказа. То је предотказно стање система.

Закључак

У овом раду описане су стратегије одржавања са освртом на оне модерне које се примењују у данашњим компанијама. Свака од стратегија описана је на детаљан начин који укључује како опис саме стратегије тако и начин имплементације, методологије и начина остваривања истих. Као једна од најбитнијих ствари у оквиру система одржавања било каквих система или постројења је избор стратегија одржавања који је такође описан у ради са нагласком на модерним и највише примењиваним стратегијама.

Значај одржавања средстава за рад у производним системима је велики. Оно директно утиче на основне факторе производње и може врло повољно да утиче (ако се добро спроводи) на постизање позитивних и квалитетних пословних резултата. Добро спроведено одржавање, односно правилно и добро изабрана стратегија одржавања, директно може да утиче на смањење трошкова производње и самог пословања. Застоји услед неисправности могу да наруше технолошки процес производње а такође утичу директно и на економику производа пропорционално са временом застоја и средствима уложеним за отклањање кварова. Због тога одржавање захтева пре свега адекватно изабрану стратегију одржавања, и рационалну организацију одржавања добро опремљену средствима (машинама) и људима тј. радницима.

У унапређењу система одржавања битно је да се уочи редослед којим треба започети процес. При свему томе не треба да се заборави да се промене не могу уводити у системима који „нису спремни“ за њих. Пре него што се уведе стратегија одржавања потребно је да се усаврши систем планирања активности одржавања, увести систем за оцењивање успешности рада и друга побољшања на пољу менаџмента одржавањем, па тек онда уводити нове стратегије одржавања. Због тога се данас све више тежи комбинацији постојећих стратегија одржавања и других метода, ради искоришћавања њихових предности и умањивања недостатака, ради добијања одговарајућих и у пракси применљивих резултата. То подразумева да такав пут треба тражити у систему одржавања свих компанија.

Литература

- [1] Настава, Висока техничка школа струковних студија у Нишу, Индустијско инжењерство, Одржавање машинских система, Глава 4: Одржавање техничких система.
- [2] S. Dunn: Re – inventing the maintenance process, Queensland Maintenance Conference, 1998.
- [3] Тодоровић, П., Основи одржавања, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац, 2016.
- [4] Evropski CRAFT projekat MELISSA (Maintenance Evaluation by Linked and Integrated Simulation in Sawmills), The Woodhouse Partnership, 2001.
- [5] Тодоровић, П., Јеремић, Б., Мачужић, И., Техничка дијагностика, Машински факултет у Крагујевцу, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац 2010.
- [6]https://www.accessengineeringlibrary.com/browse/maintenance-engineering-handbook-seventh-edition/p2001497999702_3001 Приступ: 09.06.2018.
- [7]<https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/preventative-maintenance/>Приступ: 12.06.2018.
- [8]<https://accendoreliability.com/preventive-maintenance-or-pm-goals-and-activities/>Приступ: 12.06.2018.
- [9]https://www.maintenanceconnection.com/mcv18/mapp_v50/help/Content/MC%20User%20Guide%20Online%20Source%20Doc/Sample%20Preventive%20Maintenance.htmПриступ: 14.06.2018.
- [10] Gertsbakh, I. B., Models of preventive maintenance. New York – Oxford: North – Holland Publishing Company, 1977.
- [11] Nakajima, S., Indtroduction to TPM, Productivity Press Inc., Cambridge, 1988.
- [12] Mohamed Ben-Daya, Duffua, O., S., Raouf, A., Кнежевић, Ј., Kadi, D., Handbook of Maintenance Managament and Engineering, Total Productive Maintenance, 2009.
- [13] Gregory, A., Number cruncher – overall equipment effectiveness and total productive maintenance. Work Manag, 2006.
- [14] Lycke, L., Akersten, P., Experiences of implementing TPM in Swedish industries., 2000.
- [15] Pirsig, R., Total productive Maintenance, in „Managing Factory Maintenance“ by Levitt, J., Industrial Press Inc., Medison Avenue, New York, 1996.

- [16] Bloom, N., Reliability Centered Maintenance (RCM) – Implementation Made Simple, McGraw Hill – Professional, 2005.
- [17] Moubray, J., Reliability Centered Maintenance, RCM, sec. ed., Industrial Press, 1997.
- [18] Bloom, N., Understanding Hidden Failures in RCM Analysis, Process and Power Plant, Reliability Conference, Houston, 2003.
- [19] August, J., Applied Reliability – Centered Maintenance, Oklahoma: Penn Well, 1999.
- [20] Minić, S., Arsenić, Ž., Modeli održavanja tehničkih sistema, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1998.
- [21] Brdarević, S., Održavanje sredstava za rad, Univerzitet u Sarajevu – Mašinski fakultet u Zenici, Zenica, 1993.