



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Јован Глигоријевић, дипл. маш. инж.

РАЗВОЈ МОДЕЛА УНАПРЕЂЕЊА СИСТЕМА ОДРЖАВАЊА У
МАЛИМ И СРЕДЊИМ ПРЕДУЗЕЋИМА БАЗИРАНО НА
ПРИНЦИПИМА ТОТАЛНОГ ПРОДУКТИВНОГ ОДРЖАВАЊА

Докторска дисертација

Ментор:

Др Иван Мачужић, ванредни професор

Крагујевац, 2017. године

Идентификациона страница докторске дисертације

ИДЕНТИФИКАЦИОНА СТРАНИЦА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ
I. Аутор
Име и презиме: Јован Глигоријевић
Датум и место рођења: 20.08.1975. Горњи Милановац
Садашње запослење: Tetra Pak Production d.o.o. Горњи Милановац
II. Докторска дисертација
Наслов: РАЗВОЈ МОДЕЛА УНАПРЕЂЕЊА СИСТЕМА ОДРЖАВАЊА У МАЛИМ И СРЕДЊИМ ПРЕДУЗЕЋИМА БАЗИРАНО НА ПРИНЦИПИМА ТОТАЛНОГ ПРОДУКТИВНОГ ОДРЖАВАЊА
Број страница: 188
Број слика: 63
Број библиографских података: 155
Установа и место где је рад израђен: Факултет инжењерских наука, Крагујевац
Научна област (УДК): 658.5; 005.96 Организација и планирање производње; људски ресурси
Ментор: Др Иван Мачужић, ванредни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
III. Оцена и одбрана
Датум пријаве теме: 24.01.2017.
Број одлуке и датум прихватања теме докторске дисертације: 01-1/935-15 од 23.03.2017.
Комисија за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата:
<ol style="list-style-type: none"> 1. Др Данијела Тадић, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, уже научне области: Производно машинство и Индустрijски инжењеринг, 2. Др Миладин Стефановић, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, уже научне области: Производно машинство и Индустрijски инжењеринг, 3. Др Петар Тодоровић, ванредни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, уже научне области: Производно машинство и Индустрijски инжењеринг, 4. Др Иван Бекер, ванредни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, уже научне области: Квалитет, ефективност и логистика, 5. Др Иван Мачужић, ванредни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, уже научна област: Индустрijско инжењерство и инжењерски менаџмент.
Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације:
<ol style="list-style-type: none"> 1. Др Иван Бекер, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, уже научне области: Квалитет, ефективност и логистика, 2. Др Петар Тодоровић, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, уже научна област: Производно машинство, 3. Др Данијела Тадић, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, уже научне области: Производно машинство и Индустрijски инжењеринг, 4. Др Миладин Стефановић, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, уже научне области: Производно машинство и Индустрijски инжењеринг, 5. Др Марко Ђапан, доцент, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, уже научна област: Индустрijско инжењерство и инжењерски менаџмент.
Датум одбране докторске дисертације:

*Посвећено сећању на мог оца
Миодрага*

Предговор

Велику захвалност дугујем свом ментору проф. др Ивану Мачужићу, ванредном професору Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, који ме је водио кроз цео процес израде докторске дисертације, на саветима, стрпљењу, помоћи и несебичној подршци.

Посебну захвалност дугујем проф. др Браниславу Јеремићу за подстицање да упишем академске докторске студије као и за подршку да завршим овај рад.

За подршку у току израде дисертације као и у току научноистраживачког рада на који се ова дисертација наслања, захвалност дугујем и др Драгољубу Гајићу као и колеги Александру Брковићу, дипл. маш. инж.

Посебну захвалност на несебичној подршци и великом разумевању дугујем својој супрузи Биљани, сину Душану и ћерци Олги који су прихватили сва одрицања како би подржали мој сан и амбиције.

И на крају, за све што јесам неизмерну захвалност дугујем својој мајци Мари.

Јован Глигоријевић

РЕЗИМЕ

РАЗВОЈ МОДЕЛА УНАПРЕЂЕЊА СИСТЕМА ОДРЖАВАЊА У МАЛИМ И СРЕДЊИМ ПРЕДУЗЕЋИМА БАЗИРАНО НА ПРИНЦИПИМА ТОТАЛНОГ ПРОДУКТИВНОГ ОДРЖАВАЊА

Мала и средња предузећа (МСП) представљају најефикаснији сегмент привреде. Такође ова предузећа остварују највећи допринос повећању запослености, бруто додатне вредности и промета због чега се сматрају основом економије сваке државе.

Поставља се питање, на који начин се може додатно ојачати сектор малих и средњих предузећа, односно на који начин, систематично и дугорочно обезбедити висок квалитет производа уз ниже производне трошкове.

У овој дисертацији истраживани су модели унапређења пословања МСП базирани на унапређењу одржавања производне опреме максималним искоришћењем расположивих ресурса са којима располажу МСП, узимајући у обзир ограничења финансијске природе као и ограничења у расположивим капацитетима радне снаге.

Истраживање је показало потребу за развојем поједностављеног система континуалног унапређења, фокусираног на унапређење поузданости опреме, унапређење продуктивности и квалитета уз истовремено достизање минималних трошкова производње.

Из истраживања је проистекао нови, поједностављени, модел ТПМ-а који је базиран на одржавању као стубу успеха предузећа. Нови модел се ослања на ресурсе са којима предузеће тренутно располаже, а то су радници у производњи, и поставља њих као носиоце процеса унапређења.

Да би се власници и менаџери МСП уверили у неопходност примене предложеног модела унапређења пословних резултата извршена је процена успешности имплементације модела поједностављеног ТПМ-а у МСП која је базирана на анализи преломне тачке рентабилитета предузећа уз истовремено коришћење постигнутих резултата у фабрикама компаније Тетра Пак у Европи. Прикупљени подаци из шест фабрика Тетра Пака су искоришћени као основа за процену кретања преломне тачке у зависности од периода трајања имплементације програма континуалног унапређења а самим тим и за процену потенцијалног увећања профита.

Кључне речи: Мала и средња предузећа, тотално продуктивно одржавање, преломна тачка рентабилитета, континуално унапређење, поузданост опреме.

ABSTRACT**DEVELOPMENT OF THE MAINTENANCE IMPROVEMENT MODEL IN
SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES BASED ON PRINCIPLES OF
TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE**

Small and medium enterprises (SME) represent most efficient part of national economies. Also, these companies are generating high contribution in increase of employment, gross domestic product and trade level and due to that are considered as economy foundation of every country.

It is of our interest to understand how small and medium enterprises can be further improved and how to systematically and sustainably generate high quality level of the products by providing low cost production.

This thesis has researched different models of SME improvements based on equipment maintenance systems improvements maximising utilization of available resources in SME, having in consideration all financial and labour resource limitations.

Research has come to conclusion that is necessary to develop new, simplified, continuous improvement program based on Total productive maintenance (TPM) concept, that is based on equipment maintenance as main pillar for SME success. New model is utilising resources that SME currently has, production employees, by positioning them as leaders in continuous improvement program.

In order to promote new development model with owners and managers of SME this thesis has performed analyses in to predict potential improvements in SME using break-even point analyses. This analysis is based on data received from six Tetra Pak factories in Europe. This analysis is used to predict movement of break-even point based on the length of continuous improvement program application and prediction of potential increase of company profit.

Keywords: Small and medium enterprises, Total productive maintenance, Break-even point, Continuous improvement, Equipment reliability.

Садржај

Скраћенице	III
Списак слика.....	IV
Списак табела.....	VI
1. Уводна разматрања	1
1.1 Увод.....	1
1.2 Преглед досадашњих истраживања	3
1.3 Научни циљ рада.....	7
1.4 Основне хипотезе од којих се полази	9
1.5 Методе које ће се користити у истраживању.....	9
1.6 Оквирни садржај рада.....	10
1.7 Очекивани резултати	11
2. Мала и средња предузећа – МСП	12
2.1 Дефиниција малих и средњих предузећа	12
2.2 Основне карактеристике малих и средњих предузећа.....	14
2.3 Значај и потенцијал малих и средњих предузећа	15
2.4 Истраживање примењених концепата одржавања у системима малих и средњих предузећа	19
3. Принципи, циљеви и искуства у примени ТПМ-а	26
3.1 Историја ТПМ-а	26
3.2 Развој ТПМ-а.....	27
3.3 Дефиниција ТПМ-а.....	28
3.4 Област деловања ТПМ програма	29
3.5 Успостављање ТПМ програма	30
3.6 Губици према ТПМ концепту	36
3.7 Активности и стубови ТПМ-а.....	39
3.8 Мерење успешности ТПМ имплементације	46
3.9 Истраживање унапређења пословања коришћењем ТПМ филозофије у интернационалној компанији	49
4. Одржавање као основа ТПМ концепта.....	61
4.1 Концепт одржавања опреме – научни приступ	61
4.2 Концепт одржавања опреме према ТПМ	66
4.2.1 Разлози отказа опреме према ТПМ концепту	68
4.2.2 Одговорности делова организације за одржавање опреме.....	70
4.2.3 Успостављање Планираног одржавања.....	74
4.2.4 Активности неопходне за елиминацију отказа	76

4.2.5 Седам корака имплементације Планираног одржавања.....	80
4.2.6 Седам корака имплементације Аутономног одржавања.....	83
4.2.7 Превенција одржавања	89
4.3 Анализа интеграције научног и ТПМ приступа одржавању у складу са потребама и ограничењима МСП	89
5. Интеграција савремених принципа и метода Превентивног одржавања према стању у концепт ТПМ-а	91
5.1 Превентивно одржавање према стању	91
5.2 Захтеви и изазови за увођење програма Превентивног одржавања према стању (СВМ) у индустријску праксу.....	97
5.3 Истраживање могућности за унапређење метода имплементације Превентивног одржавања према стању (СВМ) у индустријској пракси.....	106
5.4 Специфичности и перспективе имплементације Превентивног одржавања према стању (СВМ) у малим и средњим предузећима	118
5.5 Четврта индустријска револуција – Индустрија 4.0.....	124
6. Развој модела унапређења процеса одржавања у МСП базирано на принципима ТПМ-а	127
6.1 Потреба за развојем модела унапређења процеса одржавања у МСП базирано на принципима ТПМ-а	127
6.2 Модел унапређења процеса одржавања у МСП базирано на принципима ТПМ-а	129
6.3 Улога запослених у имплементацији система континуалног унапређења	130
6.4 Принципи и кораци имплементације модела унапређења процеса одржавања у МСП	132
6.5 Процена очекиваних резултата имплементације модела ТПМ-а у МСП	158
7. Закључак.....	167
7.1 Валидација основних хипотеза.....	168
7.2. Ограничења у истраживању	172
7.3 Правци даљих истраживања.....	173
Литература	174
Прилог.....	188

Скраћенице

ТПМ – Тотално продуктивно одржавање
TPM – енгл. Total Productive Maintenance
МСП – Мала и средња предузећа
ИТ – Информационе технологије
ЈИПМ – JIPM – енгл. Japan Institute for Plant Maintenance
ДМС – DMS – енгл. Daily Management System
MTBF – енгл. Mean Time Between Failures
MDT – енгл. Mean Down Time
FMECA – енгл. Failure Mode Effect Criticality Analyses
RCM – енгл. Reliability Centered Maintenance
МП – MP – енгл. Maintenance Prevention
ДР – DR – енгл. Design Review
КМИ – KMI – енгл. Key Management Indicators
КПИ – KPI – енгл. Key Performance Indicator
КАИ – KAI – енгл. Key Activity Indicator
FTA – енгл. Fault Tree Analyses
MTTR – енгл. Mean Time To Repair
CBM – енгл. Condition Based Maintenance
БФТ – Брза Фуријеова трансформација
ВВД – Вигнер Вилеова дистрибуција
КФТ – Краткотрајна Фуријеова трансформација
ОПЛ – OPL – енгл. One Point Lesson
SMED – енгл. Single Minute Exchange of Die

Списак слика

- Слика 2.1 SWOT анализа МСП
- Слика 2.2 Организација Службе одржавања у МСП у Србији
- Слика 2.3 Поређење примењених концепата одржавања
- Слика 3.1 Област деловања ТПМ-а
- Слика 3.2 Преклапање мањих организационих група
- Слика 3.3 Активности-стубови ТПМ-а
- Слика 3.4 Фазе развоја нове опреме
- Слика 3.5 Пирамида унапређења безбедности и здравља на раду
- Слика 3.6 Пример визуелизације везе између стратегије предузећа и кључних активности за унапређење пословања
- Слика 3.7 Фазе имплементације ТПМ-а у Тетра Паку
- Слика 3.8 Повећање обима производње по годинама
- Слика 3.9 Резултати имплементације ТПМ-а у фабрици Тетра Пак у Горњем Милановцу
- Слика 3.10 Преглед ефикасности процеса ламинирања
- Слика 3.11 Преглед резултата укупног шкарта
- Слика 3.12 Преглед резултата индекса оперативних трошкова
- Слика 4.1 „P-F“ крива
- Слика 4.2 Основна подела метода одржавања опреме
- Слика 4.3 Савремена подела метода одржавања
- Слика 4.4 Утицај значаја техничког система на одлуку о примени методе одржавања
- Слика 4.5 Утицај значаја техничког система на одлуку о примени методе одржавања у концепту ТПМ-а
- Слика 4.6 Типови одржавања опреме
- Слика 4.7 Процес одржавања опреме
- Слика 4.8 Узроци отказа (Nakano 2003)
- Слика 4.9 Фактори отказа (Nakano 2003)
- Слика 4.10 Подела задатака одржавања опреме (Nakano 2003)
- Слика 4.11 Модели Планираног одржавања (Nakano 2003)
- Слика 4.12 Активности елиминације отказа (Nakano 2003)
- Слика 4.13 Критеријуми класификације опреме
- Слика 4.14 Алгоритам за избор методе одржавања (Nakano 2003)
- Слика 4.15 Подршка успостављању Аутономног одржавања (Nakano 2003)
- Слика 5.1 Алгоритам имплементације превентивног одржавања према стању – CBM
- Слика 5.2 Ламинатор (а) и основни елементи ротационих система- ваљак (б), котрљајни лежај (в), електромотор (г)
- Слика 5.3 Модеран систем за праћење стања котрљајних лежајева
- Слика 5.4 Алгоритам нове технике за рано откривање отказа
- Слика 5.5 Експериментални систем

-
- Слика 5.6 Сегменти сигнала вибрација прикупљени под четири различита услова којима је изложен лежај (лево) и фреквенција њиховог спектра (десно)
- Слика 5.7 Стандардне девијације коефицијената таласа у фреквентном опсегу D5
- Слика 5.8 Смањење простора и класификација детектованих дефеката
- Слика 5.9 Смањење простора и класификација детектованих дефеката
- Слика 5.10 Смањење простора и класификација детектованих дефеката, контролне групе
- Слика 5.11 Смањење простора и класификација детектованих дефеката, контролне групе
- Слика 5.12 Модел имплементације CBM концепта (Bengtsson 2007)
- Слика 5.13 Cloud-Based Monitoring концепт у Индустрији 4.0 (Моха 2016)
- Слика 5.14 Историјски развој технологија – прилагођено из (Neugebauer et al. 2016)
- Слика 6.1 Поједностављени модел ТПМ за примену у МСП
- Слика 6.2 Стратегија мобилисања организације за промену
- Слика 6.3 Алгоритамски приказ новог модела унапређења процеса одржавања у МСП
- Слика 6.4 Парето анализа
- Слика 6.5 АБЦ класификација опреме
- Слика 6.6 Цедуљица за обележавање аномалија
- Слика 6.7 Примена 5С концепта у предузећу Тетра Пака
- Слика 6.8 Примена 5С концепта у предузећу Тетра Пака у циљу унапређења безбедности радног окружења
- Слика 6.9 Мапа тачака подмазивања
- Слика 6.10 Обележавање тачака подмазивања
- Слика 6.11 Визуелно управљање - инспекција
- Слика 6.12 Обележавање тачака инспекције
- Слика 6.13 Стандард за инспекцију (пример из компаније Тетра Пак)
- Слика 6.14 Прибор за вибродијагностику и термалну инспекцију
- Слика 6.15 Систем обрачуна трошкова (Šćerapović 2016)
- Слика 6.16 Преломна тачка рентабилитета
- Слика 6.17 Дијаграм унапређења резултата имплементацијом ТПМ-а у Тетра Паку
- Слика 6.18 Преломна тачка рентабилитета по годинама
- Слика 6.19 Унапређени елементи профитабилности

Списак табела

- Табела 2.1 Преглед анкетираних МСП према врсти индустрије и броју радника
- Табела 3.1 Мерљиви резултати ТПМ-а
- Табела 3.2 Дванаест корака за имплементацију ТПМ-а (Suzuki 1994)
- Табела 5.1 Обележја стандардних девијација коефицијената таласа у
шест фреквентних опсега
- Табела 5.2 Матрица грешке
- Табела 5.3 Статистичке мере учинка
- Табела 5.4 Матрица грешке контролне групе
- Табела 5.5 Статистичке мере учинка контролне групе
- Табела 5.6 Упоредна табела других прецизности техника
- Табела 6.1 Усредњени резултати унапређења кључних индикатора пословања
остварених имплементацијом ТПМ-а у Тетра Пак фабрикама у Европи
- Табела 6.2 Индекс унапређења резултата имплементацијом ТПМ-а у Тетра Паку
- Табела 6.3 Пример података о пословању једног МСП

1. Уводна разматрања

1.1 Увод

Мала и средња предузећа (МСП) представљају најефикаснији сегмент привреде. Такође ова предузећа остварују највећи допринос повећању запослености, бруто додатне вредности и промета због чега се сматрају основом економије сваке државе. Њихова улога је још значајнија у земљама у транзицији, као што је и наша, где постоје проблеми високе незапослености, смањене привредне активности као и недовољне конкурентности.

Мала и средња предузећа су са друге стране, у поређењу са великим компанијама, прилагодљивија континуираним променама, захтевима потрошача и условима пословања на тржишту. Узимајући ово у обзир, мала и средња предузећа подстичу јачање конкуренције која за последицу има унапређење квалитета производа и услуга, снижавање цена производа као и развоја иновација и нових технологија, што на крају за последицу има привредни раст целе економије једне државе.

Поставља се питање, на који начин се може додатно ојачати сектор малих и средњих предузећа. На који начин, систематично и дугорочно обезбедити висок квалитет производа уз ниже производне трошкове.

Одговор лежи у посматрању светских искустава у истим или сличним изазовима, кроз примену индустријских филозофија за унапређење производних и пословних система и процеса, као и у прилагођавању тих искустава нашем пословном окружењу и нашим социо-културолошким карактеристикама.

Квалитетно организован систем одржавања једног малог или средњег предузећа, ослоњен на принципе Тоталног продуктивног одржавања – ТПМ-а, представља основу за унапређење целокупног пословања обезбеђујући поузданост целог система, као и ниске трошкове производних процеса, уз високи квалитет производа и услуга.

Улога одржавања у модерним производно-пословним системима није ограничена развојем индустријске филозофије, приступа, метода и алата искључиво на активности које су усмерене ка откривању узрока отказа техничког система и спречавању да до отказа уопште дође, већ је та улога много шира.

ТПМ као концепт и једна од најсавременијих глобално имплементираних индустријских филозофија, развијена је са циљем унапређења пословања целе компаније и за основу свих својих активности има одржавање, како је и у самом њеном називу наглашено. ТПМ концепт се заснива на принципу осам основних стубова

носилаца производно-пословног система, односно радних тимова са припадајућим методологијама и сетом алата за унапређење одређеног сегмента производње и пословања кроз редукцију одговарајуће групе губитака. Наведене методологије и алати су већином заједнички за све стубове ТПМ-а и имају за циљ проналажење губитака, свих појавних облика и карактеристика, дефинисање њихових узрока и спровођење мера за њихово смањивање или потпуну елиминацију. Функционисање свакога стуба понаособ је незамисливо без њихове међусобне сарадње и координације активности, а као основа целог система поставља се систем одржавања техничких система.

Као крајњи циљ унапређења пословања поставља се теоријска граница од нула губитака у производним и пословним процесима који обезбеђују минималне трошкове производње, висок квалитет производа и потпуно задовољење захтева купаца као и очекивања запослених. Примери фабрика које су унапредиле своје производно-пословне процесе, до нивоа који је означен као фабрика светске класе, показују да се никако не ради о теоријском моделу и концепту већ о сасвим реалној, остваривој и одрживој производно-пословној филозофији.

Узимајући у обзир карактеристике малих и средњих предузећа (МСП) са аспекта власничке структуре, броја и образовне структуре запослених и финансијских могућности за улагања у развој производа и услуга, поставља се питање приступа имплементацији ТПМ-а као производне филозофије која има за циљ унапређење пословања. С друге стране постоји не само изазов већ и велика потреба да се у МСП започне са имплементацијом ТПМ-а али на адекватан начин који ће превазићи специфичности и ограничења у погледу малог броја запослених, недовољно средстава за инвестициони развој као и адекватну мотивацију власника и запослених.

Основа модификованог система континуираног унапређења производно-пословних процеса базирала би се на проширеном систему одржавања који би обухватио не само специјализовано одржавање, већ и укључивање производног дела у тај процес. Поред претходно наведеног, само одржавање би имало позитивних утицаја и на унапређење одређених елемената управљања квалитетом, унапређења ефикасности производних процеса као и унапређења знања и вештина запослених.

Мотивација власника и менаџмента предузећа за имплементацију модификованог ТПМ-а за унапређење пословања би се пронашла у коришћењу анализе за предвиђање потенцијалних бенефита имплементације а која ће бити спроведена коришћењем искустава имплементације ТПМ-а код светских компанија, а у највећој мери фабрика из система компаније Тетра Пак на глобалном нивоу, која је уводећи систем ТПМ-а значајно унапредила свој производни сегмент и на тај начин обезбедила конкурентност на тржишту.

1.2 Преглед досадашњих истраживања

Без обзира на свеобухватну важност имплементације концепта ТПМ, према ауторима (Attri et al. 2014; Ађуја & Kumar 2009) велики број аутора у својим истраживањима су експлицитно нагласили бенефите увођењем ТПМ-а. Међутим, аутори у (Attri et al. 2014) су сачинили јасан преглед литературе, научног и практичног карактера, да имплементација ТПМ-а никако није једноставан задатак и да постоји велики број различитих видова ограничења и баријера. Исти аутори су идентификовали пет типова баријера које је неопходно узети у разматрање и кроз системски приступ приказали на који начин недвосмислено утичу на имплементацију ТПМ-а. Главни фокус горепоменутог истраживања јесте одређивање утицаја односно интензитета баријера на имплементацију ТПМ-а. Познавањем типа баријера и њиховог утицаја могуће је развити адекватну стратегију за смањење њиховог утицаја до прихватљивих граница у оквиру пословно-производног система.

Иако је ТПМ конципиран на начин да најбоље одговори на све чешће промене на глобалном тржишту односно како би се побољшала или, у најлошијем сценарију, одржала позиција на тржишту, постоје одређени фактори који утичу на имплементацију. Отказ машина и опреме, подешавање машина, мањи застоји, оправка или замена делова, рад на нижим режимима, грешке у производном процесу, сви модалитети дефеката и дораде спадају у највеће ТПМ губитке. Смањивање и елиминисање губитака, највећа могућа расположивост опреме, смањивање било којег модалитета отказа или застоја у производњи, редефинисање циљева компаније итд. су главни индикатори перформанси за успешност имплементације ТПМ-а (Chan et al. 2005). Како би се пратило унапређење пословно-производног система, било којег типа, неопходно је успоставити индикаторе перформанси који ће се пратити и на основу њихових вредности прописују се активности за унапређење система и то: продуктивност, трошкови, набавка, квалитет, безбедност на раду и морал радника (Rodrigues & Hatakeyama 2006). Исти аутори своје истраживање базирали су и на факторима који утичу негативно и значајно повећавају шансе за неуспех у имплементацији ТПМ-а. На основу њиховог истраживања, велики број фактора односи се на радника и његово оптерећење. Имајући у виду да се комплетан концепт ТПМ-а заснива на радницима и на њиховом ангажовању и пожељном укључивању у сваки процес у компанији, намеће се закључак да је суштина ТПМ-а у адекватном и успешном управљању људским ресурсима. Shen (Shen 2015) је у свом истраживању направио листу референци односно аутора који су изучавали кључне индикаторе успешности ТПМ-а у компанијама. Фактори који се најчешће помињу јесу фактори који се односе на максималну посвећеност руководства, транспарентност управљања и укљученост запослених. Развојем информационих технологија и зависношћу читавих система од е-платформи развијени су одређени софистицирани програми за подршку управљању концептом ТПМ (Kart & Kut 2014). Суштина оваквих истраживања јесте да

значајно олакшају управљање у пословно-производним системима и да се правовремено одреагује уколико параметри који се прате показују ниже вредности од планираних. Приступ је обезбеђен у Ethernet окружењу, са додатком проширења, да поред рачунара, корисници имају приступ информацијама или да добијају обавештења о евентуалним променама параметара на мобилни телефон.

Имајући у виду да су МСП фактор економског развоја и смањења незапослености како у свету тако и у Републици Србији (Beraha 2011), има смисла говорити о њиховим могућим расположивим капацитетима, али и о унапређењу постојећих. Поред тога, у ову групу предузећа спада и велики број различитих добављача за, поменуте, велике компаније. Тако да, на неки начин, велике компаније имају разлог и корист да се МСП развијају и еволуирају уз њих (Erić et al. 201). На основу претходно изведеног може се закључити да од значајнијег подизања производње на виши ниво МСП-а, поред њиховог опстанка на тржишту директну корист имају још и велике компаније и држава. Међутим, одређене чињенице о могућностима и ограничењима у раду МСП морале би и требало би се узети у разматрање. Истраживачи у (Abhishek et al. 2014) дали су преглед типичних проблема и ограничења која значајно утичу на спровођење активности за унапређење читавог система, а међу њима и одржавања.

Истраживачи у свом раду (Cossa & Alberti 2010) прецизирали су систем за мерење перформанси (СМП) у предузећима, како би се идентификовали проблеми и слабости предузећа како би могли успешно да одреагују на готово сваку промену на тржишту. Као неизоставни део система експлицитно се помиње одржавање. Међутим, велики број поменутих фактора у оквиру МСП-а има јаку како директну тако и индиректну везу са одржавањем. Аутори у (Bakri et al. 2014), навели су већи број референци у којима су дефинисани критични фактори успешности (енгл. Critical Success Factors) који утичу на потпуну и успешну имплементацију ТПМ. Уз мање или веће варијације, сматра се да постоји седам идентификованих критичних фактора успешности, међу којима су: максимална подршка и лидерство руководства, потпуна укљученост запослених, стратешко планирање и систематски приступ имплементацији ТПМ-а, обука запослених, одлична комуникација на свим нивоима, праћење и адекватна оцена стања, са нагласком на одрживост пословно-производног система. Исти аутори, у прегледном раду (Bakri et al. 2014), представили су најзначајније моделе, њихову структуру и приступ, за успешну имплементацију ТПМ-а. Резултати истраживања били су засновани на анализи података прикупљених методом упитника са коначним циљем да се утврде главни фактори који утичу на имплементацију ТПМ-а. Модел дефинисан у (McKone et al. 1999) заснован је на три врсте фактора који утичу на активности имплементације ТПМ-а у планираног у кратком временском року и то, фактори околине, организациони фактори и фактори управљања. У поменутом истраживању, фактор околине је узет у разматрање кроз призму нивоа варијација ТПМ концепта у различитим земљама (између јапанских компанија и компанија западне Европе).

Такође, један од закључака овог истраживања био је да фактори управљања имају значајно већу важност од организационих и фактора околине. Без обзира што су аутори у (McKone et al. 1999) успели да обухвате готово све критичне факторе успешности, сматра се да овај модел нема значајнију практичну примену. Аутори у (Park & Han 2001) су представили програм имплементације ТПМ-у поштујући осам елемената: циљеви и политика компаније, промена културе, подршка и посвећеност, управљање, комуникација, сарадња, континуирано побољшање и конкурентска предност у смислу испоруке, флексибилности, цене и квалитета. Аутори из истог рада су извукли два закључка из свог истраживања и то да је неопходно, у потпуности, упознати ТПМ методологију пре имплементације и да је руководство компаније задужено за промену културе познавања управљањем пословно-производним системима унутар компаније. Оно што се сматра недостатком истраживања (Park & Han 2001) јесте да је модел сувише уопштен и да недостају детаљи око поменутих елемената за успешну имплементацију ТПМ-а. Следећи модел (Shamsuddin et al. 2004) заснован је на општем оквиру са следећим елементима за успешну имплементацију ТПМ-а: руководство, радници, циљеви и процес. Сматра се да је овај модел општег карактера, а притом и да се односи само на МСП у Малезији и да је неопходно да се даље развија и елаборира, уз додатак елемената као што су одрживост и континуирано побољшање. Модел у (Seng et al. 2005) заснован је на односу организационе стратегије подељене у две категорије (људе и процесе) и утицаја организационе стратегије на имплементацију ТПМ-а. Сматра се да овај модел није задовољавајући и да уз помоћ овог модела није могуће у потпуности имплементирати ТПМ. Критични фактори успешности и читава њихова структура је јако добро осмишљена и сматра се да има велики утицај на достизање резултата имплементације. Међутим, модел у (Seng et al. 2005) је општег карактера и приликом његовог коришћења неопходан је велики број импровизација током имплементације. Овакав приступ значајно умањује примењивост модела. Аутори у (Ahuja & Kumar 2009) свој модел су конципирали на три независна фактора и седам зависних индикатора перформанси предузећа. Исти аутори у свом раду су на одређени начин дефинисали однос између критичних фактора успешности имплементације ТПМ-а и кључних индикатора перформанси производње. Такође, овај рад предочио је значајне закључке, а међу важнијим јесте да спровођење активности у оквиру ТПМ концепта значајно утиче на перформансе производње у поређењу са класичним приступом одржавања. Истраживања у овом раду донекле потврђују и тезу у (McKone et al. 1999) да је једна од важнијих ставки суштинско познавање ТПМ концепта и на основу којих принципа утиче на перформансе производних и осталих процеса. Аутори у свом раду (Batumalay & Santhapparaj 2009) заснивали су свој модел како три ТПМ стуба (два директно – планирано одржавање и квалитет и један индиректно – обука и едукација) утичу на укупну ефективност опреме. Сматра се да је овај модел у великој мери техничке природе и не узима у обзир факторе као што су људи, процеси и околина. Следећи модел (Lazim & Ramayah, 2010) заснива се на праћењу следећих параметара: трошкови производње, испорука купцима, квалитет

производа и флексибилност производње. Уз праћење набројаних параметара, овај модел чини четири важна ослонца: ТПМ тим, стратегија ТПМ-а, аутономно одржавање и планирано одржавање. Сматра се да је овај модел сувише једноставан и да не даје одговор како тимски рад утиче на ТПМ и који су то значајни елементи у стратешком планирању ТПМ-а. Овај модел (Lazim & Ramayah, 2010) се састоји од добро постављених ослонаца, али је неопходно да се овај модел у следећој итерацији прошири са још неколико као нпр., посвећеност руководства, ефикасна комуникација, континуирано побољшање, културолошке разлоге и сл. Аутори овог модела дају значајан допринос будућем истраживању у овој области означавајући неколико променљивих које би на одређени начин (позитивно или негативно) утицале на везу између ТПМ-а и перформанси производње. Те променљиве су експлицитно наведене и односе се на сложеност производног процеса, сложености технологије која се користи и величине компаније. Компаративном анализом предложених модела имплементације ТПМ-а, уочено је да ни један модел, са својом дефинисаном структуром, не обухвата све критичне факторе успешности. Непостојање генерално и опште прихваћеног модела за имплементацију ТПМ-а, отвара могућности. Ова докторска дисертација доприноси ближе дефинисању важних и неопходних елемената имплементације ТПМ-а у МСП. У прилог томе иде и чињеница да ТПМ, као методологија за унапређење концепта одржавања, а посматрајући узрочно-последично везе унутар пословно-производних система, утиче на квалитет производа, расположивост опреме, планирање производње и сл., јесте препозната као једна од карика развоја стратегије пословно-производног система (Singh et al. 2008). У раду (Meng et al. 2012) кроз систематски преглед литературе дошли су до закључка да је модел са пет кључних елемената неопходан за успешну имплементацију ТПМ-а. Важно је нагласити да два елемента од укупно пет обухватају област одржавања и то кроз аутономно одржавање и планирано одржавање. Овим се потврђује да одржавање у предузећима има веома велику улогу и да заобилажење активности које је потребно спровести у оквиру одржавања никако не би требало да буде пракса. Уз то аутори у (Brah & Chong 2004; Chan et al. 2005) сматрају и изводе закључак да су предузећа/компаније које инвестирају у ТПМ у предности и у значајној мери препознатљивији од оних који немају савремени приступ управљању пословно-производним системима.

Достизањем високог нивоа поузданости, квалитета и безбедности опреме, који се постиже имплементацијом ТПМ-а (Swanson 2001), значајно се утиче на укупне трошкове компаније и то на начин који се огледа у смањењу трошкова одржавања (Blanchard 1997; Cooke 2000). Сматра се да је ТПМ главни покретач смањивања трошкова одржавања и да је концепт свеобухватно прихваћен од стране мултинационалних компанија. Велике компаније су увек заинтересоване у улагање у имплементацију концепта ТПМ, из разлога постојања великог броја машина и/или преопрећења инжењера у одржавању. Према (Antosz & Stadnicka 2015; Aspinwall &

Elgharib 2013), велики број аутора је приказао резултате истраживања према којима је успешна имплементација ТПМ-а у великим компанијама загарантована. Разлози увођења ТПМ-а, поред осталих, јесу значајно низак капацитет машина и опреме, висок ниво отказа, као и лоше стање тих машина. Овим приступом значајно се подиже и унапређује ниво расположивости и флексибилности машина, а самим тим и компанија, а као последица тога јесу и одлични резултати. Суштински је важно напоменути да одржавање и увођење напредних метода за одржавање несумњиво позитивно утиче како на велика тако и на мала и средња предузећа (Ablay 2013). Међутим, према неким резултатима истраживања (Baglee & Knowles 2010) већина МСП-а, обухваћена истраживањем, нису имплементирали ТПМ. Поред тога, њихова примарна стратегија одржавања заснивала се на корективном одржавању, уз низак ниво знања и велику незаинтересованост за нове приступе и методологије у одржавању. Један од најчешће помињаних разлога јесте свест о важности одржавања у МСП. Поређење велике компаније и МСП-а није могуће, уколико се анализира власничка структура. Генерално, директор (који је неретко и власник) у МСП-у може да буде задужен за једну, али и за више активности (маркетинг, одржавање, однос са добављачима) унутар предузећа. Такође, аутори у (Vos et al. 2005) изводе значајан закључак да су власници, односно руководство у МСП-у, у значајној мери, нема стечене и захтеване компетенције које би се стратешки усагласиле са циљевима предузећа. Са друге стране, инжењер одржавања једне велике компаније има задужења само у оквиру његове струке и компетенција, у оквиру одржавања. Стога, перцепција директора/власника МСП-а и инжењера одржавања велике компаније значајно се разликује (Kotey & Slade 2005). Потврда овој тези лежи у томе да се и даље сматра да је одржавање „нужно зло“ и уколико се не успостави адекватан напредни концепт одржавања, то може довести до непланираног и нежељеног пада одрживости предузећа (Seow & Liu 2006).

1.3 Научни циљ рада

Основни циљ докторске дисертације јесте да се применом савремених научних метода изврши анализа теоријских аспеката имплементације ТПМ-а, према препорукама ЈИПМ-а, као и практичних искустава имплементације на примеру производног сегмента Тетра Пака, а у циљу дефинисања оптималног приступа унапређењу процеса одржавања у малим и средњим предузећима, узимајући у обзир њихова ограничења у погледу броја запослених, недовољно средстава за инвестициони развој као и адекватну мотивацију власника и запослених.

Посебан значај у имплементацији ТПМ-а имају савремене методе за мониторинг стања и дијагностику отказа техничких система који раде у условима интензивне експлоатације. Овај сегмент активности на одржавању додатно се отежано уводи у праксу у малим и средњим предузећима због специфичности захтева везаних за опрему, методологију и стручна лица која треба да реализују одговарајуће активности.

Развој аутоматизованих метода за дијагностику стања и рану детекцију отказа критичних елемената техничких система (као што су рецимо котрљајни лежаји) представља значајан корак ка дефинисању апликативних алата и техника које могу да се користе у индустријској пракси, како у великим системима тако и у малим и средњим предузећима, у циљу обезбеђивања валидних информација и подршке у доношењу одлука на свим нивоима управљања производним и пословним процесима. Користећи резултате имплементације ТПМ-а у глобалном систему корпорације Тетра Пака биће спроведена анализа успешности имплементације програма унапређења проширеног система одржавања, који на основу података из прошлости и тренда њихове промене може утврдити, са прихватљивом маргином грешке, вредност међусобног односа утицајних фактора у одређеном тренутку у будућности. У том смислу ће се, као улазни и излазни параметри, користити група параметара који дефинишу перформансе система (кључни индикатори перформанси) као и параметри који дефинишу предузете мере на унапређењу стања (кључни индикатори активности).

Значај ове докторске дисертације се огледа у актуелности проблематике и области којој припада. Стога, спровођење процеса унапређења проширеног система одржавања у комплексним и савременим производно-пословним системима МСП-а је специјално оријентисана ка побољшању и унапређењу њихових пословних резултата и конкурентности. Сваки производно-пословни систем, који свој имплементирани концепт управљања предузећем заснива на примени предложених напредних модела проширеног система одржавања, подиже ниво своје организације на један виши, научно утемељен ниво.

Остваривање основног циља докторске дисертације реализује се кроз следеће парцијалне циљеве:

- Дефинисање/снимање тренутног стања система одржавања код изабраних представника групе малих и средњих предузећа,
- Дефинисање проширеног/унапређеног система одржавања утемељеног на принципима ТПМ-а и искуствима Тетра Пака,
- Дефинисање методологије примене проширеног/унапређеног система одржавања у малим и средњим предузећима,
- Развој модела за симулацију и прогностику резултата унапређења производно - пословног система после примене проширеног/унапређеног система одржавања,
- Верификација модела на основу прикупљених података и утврђених вредности кључних индикатора перформанси и активности из пословно -производних система Тетра Пака базираних на концепту савремених производних филозофија, процесуираних кроз адекватан програмски пакет за нумеричке прорачуне,
- Верификација могућности примене аутоматизованих метода за дијагностику стања и рану детекцију отказа критичних елемената техничких система у малим и средњим предузећима.

1.4 Основне хипотезе од којих се полази

Основне хипотезе од којих се пошло при раду на докторској дисертацији су:

- Тотално продуктивно одржавање, као индустријску филозофију, могуће је прилагодити примени у малим и средњим предузећима узимајући у обзир њихова ограничења у погледу броја запослених, недовољно средстава за инвестициони развој као и адекватну мотивацију власника и запослених,
- Систем одржавања производно-техничких система могуће је адекватно модификовати и унапредити коришћењем ТПМ алата како би се као резултат добило свеобухватно унапређење пословања малих и средњих предузећа,
- Напредне алате и методе за аутоматизовану дијагностику стања и рану детекцију отказа критичних елемената техничких система неопходно је применити у малим и средњим предузећима узимајући у обзир сва претходно дефинисана ограничења и специфичности,
- Могуће је идентификовати основне групе утицајних фактора и квантификовати ниво утицаја на процену унапређења пословања применом проширеног/унапређеног система одржавања,
- Имплементацијом прогностичких алата односно модела могуће је извршити фазну процену унапређења пословних резултата малих и средњих предузећа након примене прилагођених метода и алата кроз вредновање кључних индикатора перформанси и активности пре и после спроведених појединих фаза процеса унапређења,
- Могућа је успешна примена процеса реинжењеринга и поједностављивање модела великих индустријских система на мање индустријске системе, без великих улагања финансијских средстава.

1.5 Методе које ће се користити у истраживању

Методе које ће се користити у истраживању током израде ове докторске дисертације су:

- Методе научног прикупљања реалних података из пословно-производних система заснованих на савременим производним филозофијама,
- Метода SWOT анализе малих и средњих предузећа са аспекта специфичности, ограничења и перспектива за имплементацију оптимизованог модела ТПМ-а,
- Напредне математичке методе аутоматизоване обраде сигнала прикупљених током дијагностике стања критичних елемената техничких система,
- Метода рачунарских симулација базирана на програмском пакету за нумеричке прорачуне у циљу верификације модела за унапређење пословања применом проширеног/унапређеног система одржавања.

1.6 Оквирни садржај рада

У **првом поглављу** дата су уводна разматрања која имају за циљ да опишу тренутни начин пословања малих и средњих предузећа у Србији, проблеме са којима се сусрећу у свакодневном раду као и оквире могућих унапређења њихових резултата применом Тоталног продуктивног одржавања (ТПМ). Дат је и преглед досадашњих истраживања на тему примене концепта континуалног унапређења одржавања у МСП у свету. Постављен је научни циљ рада, дате основне хипотезе од којих се полази као и научне методе које ће се користити у дисертацији.

У **другом поглављу** детаљније су проучене карактеристике малих и средњих предузећа као и њихове потребе за унапређењем пословања. Извршена је SWOT анализа малих и средњих предузећа са аспекта специфичности, ограничења и перспектива за имплементацију оптимизованог модела ТПМ-а а све у циљу унапређења пословања. Приказани су резултати истраживања примењених концепата одржавања у системима малих и средњих предузећа у Србији и изведени су закључци који се користе као полазна основа за моделирање новог приступа.

У **трећем поглављу** дата је детаљна анализа методе за континуално унапређење пословања предузећа под називом Тотално продуктивно одржавање (ТПМ), почевши од историјских података и потребе за развојем једне овакве методологије, преко развоја и области деловања. Након тога је сагледана методологија примене и имплементације ТПМ-а у већим производним системима. Описане су и појединачне фазе имплементације као и циљеви појединих стубова ТПМ-а. На крају овога поглавља извршена је анализа потенцијалних бенефита примене ТПМ програма сагледавајући искуства компанија које су примениле ову методологију кроз истраживање унапређења пословања коришћењем ТПМ филозофије у једној интернационалној компанији.

У **четвртном поглављу** детаљно је анализирана улога одржавања као једног од основних стубова ТПМ-а. Извршено је проучавање и поређење теоријског приступа одржавању и ТПМ приступа . Проучен је приступ одржавању производне опреме са аспекта њеног значаја и утицаја на целокупно пословање, квалитет производа и безбедност запослених. Такође је анализиран утицај одржавања на остале стубове ТПМ-а и проучен начин њихове сарадње и интеграције како би се створили предуслови за постизање нула отказа.

У **петом поглављу** извршена је анализа интеграције савремених принципа и метода превентивног одржавања према стању у концепт ТПМ-а. Анализирани су захтеви и изазови за увођење програма превентивног одржавања према стању (СВМ) у индустријску праксу коришћењем доступних научних радова и истраживања.

Истражена је могућност унапређења метода превентивног одржавања према стању и дефинисан је нови алгоритам за рану детекцију отказа као предуслов за адекватну дигитализацију целог процеса. На крају су проучене специфичности и перспективе имплементације превентивног одржавања према стању (СВМ) у малим и средњим предузећима.

У **шестом поглављу** коришћењем сазнања из претходних поглавља развијен је модел оптимизованог система ТПМ-а базиран на одржавању као основном стубу свих активности унапређења малих и средњих предузећа. Доказано је да је могућа успешна примена процеса реинжењеринга и поједностављивање модела великих индустријских система на мање индустријске системе, без великих улагања финансијских средстава. Такође су обрађени и напредни алати и методе за аутоматизовану дијагностику стања и рану детекцију отказа критичних елемената техничких система применљиви у малим и средњим предузећима узимајући у обзир сва, претходно дефинисана ограничења и специфичности организација, а све на основу закључака пилот-пројекта поменутог у петом поглављу. Поред наведеног, извршена је процена очекиваних резултата имплементације новог модела унапређења система одржавања у малим и средњим предузећима базирано на принципима тоталног продуктивног одржавања у МСП, коришћењем прикупљених података о постигнутим резултатима имплементације ТПМ у систему фабрика Тетра Пака из Кластера Европа и Централна Азија, применом рачунарских симулација базираних на програмском пакету за нумеричке прорачуне.

У **седмом поглављу** дата су закључна разматрања и предочени су коначни закључци о различитим аспектима представљене дисертације као и дискусија о правцима будућих истраживања.

У **осмом поглављу** приказана је коришћена и цитирана литература.

1.7 Очекивани резултати

Очекивани резултати ове докторске дисертације огледају се у јасно дефинисаном и практично примењивом моделу за унапређење система одржавања у малим и средњим предузећима са дугорочно одрживим резултатима као и развоју математичког модела за процену потенцијалне добити након примене горе поменутог модела као мотивационог фактора власничко-управљачкој структури предузећа за имплементацију.

2. Мала и средња предузећа

2.1 Дефиниција малих и средњих предузећа

Према стандардима Европске уније и препоруци Европске комисије 2003/361 (Прерогика 2003) да би неко предузеће било препознато као микро, мало или средње, мора испунити два услова:

1. Услов о броју запослених – број запослених у предузећу се мора кретати у датим границама

2. Један од два финансијска показатеља:

- а. Укупни приход на годишњем нивоу мора бити мањи или једнак дозвољеном
- б. Укупна актива/пасива мора бити мања или једнака дозвољеној.

Појединачни услови за сваку групу предузећа су следећи:

- **Микропредузећа** – морају имати мање од десет запослених. Микропредузећа не смеју имати укупан приход на годишњем нивоу већи од два милиона евра, или активу/пасиву већу од два милиона евра.
- **Мала предузећа** – морају имати од десет до четрдесет девет запослених. Мало предузеће не сме имати укупан приход на годишњем нивоу већи од десет милиона евра, или активу/пасиву већу од десет милиона евра.
- **Средња предузећа** – морају имати од педесет до две стотине четрдесет девет запослених. Средње предузеће не сме имати укупан приход на годишњем нивоу већи од педесет милиона евра, или активу/пасиву већу од четрдесет три милиона евра.

У Србији, иако се увелико користи појам мала и средња предузећа, према актуелном Закону о привредним друштвима појам предузеће званично не постоји. Ипак, класификација привредних друштава на мала, средња и велика је извршена сходно одредбама Закона о рачуноводству и ревизији (Službeni glasnik 2006, 2009) у зависности од три основна критеријума и то:

- Броја запослених,
- Годишњег прихода и
- Вредности имовине утврђене на дан састављања финансијских извештаја у пословној години

Полазећи од ова три критеријума подела је извршена на следећи начин:

1. **Мала** су она предузећа код којих број запослених није већи од педесет, годишњи приход не прелази два милиона пет стотина хиљада евра а просечна вредност пословне имовине није већа од један милион евра,
2. **Средња** су предузећа код којих број запослених није већи од две стотине педесет, годишњи приход није већи од десет милиона евра и вредност имовине није већа од пет милиона евра,
3. **Велика** су она предузећа која запошљавају више од две стотине педесет запослених, остварују годишњи приход већи од десет милиона евра и код којих вредност имовине превазилази пет милиона евра.

Да би правно лице било класификовано у једну од три наведене категорије, мора испунити барем два од наведених услова.

На основу истраживања (Erić et al. 2012) закључује се да постоји директна веза између нивоа индустријске развијености једне земље и учешћа МСП у њеној привреди. То се најбоље може илустровати примером најразвијеније земље Европске уније, Немачке у којој МСП представљају чак 99,3% укупног броја компанија које послују на њеној територији, док посматрано са аспекта броја запослених МСП запошљавају 60% од укупног броја запослених грађана (Söllner 2014). Једна од карактеристика МСП јесте и ниска продуктивност производње, узимајући у обзир низак степен аутоматизације МСП као и недовољну развијеност пословних процеса у поређењу са великим привредним субјектима. Такође чињеница да је у већини МСП ангажовани капацитет производње далеко мањи од максималног инсталисаног капацитета, доводи до високих производних трошкова у поређењу са великим системима (Baglee & Knowles 2010). У високоразвијеним земљама Европске уније примећено је да се у једном тренутку губи значај постизања економије великог обима производње, што је карактеристика великих пословних система, и јавља се потреба за ангажовањем мањих и флексибилнијих делова привреде. Ово доводи до појаве укључивања МСП у ланце снабдевања великих пословних система односно формирања мреже добављача из сектора МСП. Овај тренд доводи до појаве фокусирања великих пословних система на кључне елементе пословања компанија док се остали елементи производње могу поверити предузећима која припадају групи МСП (Erić et al. 2012).

Улога МСП у доприносу развоја националних економија значајно расте узимајући у обзир претходно наведене чињенице и трендове развоја индустрије, односно ланца снабдевања великих компанија. На овај начин МСП постају значајан генератор привредног раста националних економија, са посебним значајем у економијама у развоју, као што је наша. Овај допринос проистиче из чињенице да су МСП флексибилнија у свом пословању од великих привредних субјеката, склона

иновативним решењима и приступима за решавање проблема као и прихватању већег степена ризика. Као последица наведених карактеристика МСП остварују ниже стопе профита и имају велику стопу гашења предузећа и нестајања са тржишта (Erić et al. 2012). Она предузећа која у својој транзицији и развоју опстану на тржишту имају велики потенцијал да кроз укључивање у ланце снабдевања великих компанија израсту у велика предузећа.

2.2 Основне карактеристике малих и средњих предузећа

Под основним карактеристикама МСП најчешће се подразумевају (Нобоhm 2001):

- Величина предузећа,
- Мали број запослених,
- Развијање блиског односа са потрошачима и пословним партнерима,
- Једноставна организациона структура.

Величина предузећа се односи на чињеницу да мала предузећа имају већу могућност специјализације и могућност фокуса свога деловања на одређене производне сегменте. Са друге стране она имају ограничења у погледу ограничених ресурса као што су извори финансирања, мали број запослених и слично, што у великој мери ограничава могућности развоја и напретка предузећа.

Мали број запослених се рефлектује и на неразвијену организациону структуру у којој је власник предузећа истовремено и директор. Ово има за последицу висок степен посвећености власника и његову идентификацију са предузећем, што може бити проблем дугорочне визије пословања предузећа и довести до губитка фокуса на постизање резултата и даљи раст предузећа (Beraha 2011). Други проблем овога приступа јесте степен образовања и ниво знања власника који је уједно и менаџер предузећа (Fogel & Zapalska 2001). Веома често власник не поседује адекватна знања за стратешки развој, истовремено сматрајући да су за управљање предузећем довољна искуства стечена у периоду оснивања и рада предузећа док је још било у фази микропредузећа.

Развијање блиског односа са потрошачима и пословним партнерима има као предност успостављање услова за стабилно пословање предузећа и обезбеђивање различитих погодности за пословање, што са друге стране може довести до проблема када се донесе одлука да се не прихвате повољнији тржишни услови пословања који се појављују на тржишту, односно када се пропуштају указане прилике. У сарадњи са великим предузећима МСП су често у ситуацији да прихватају мање повољне услове пословања и постају у значајној мери везана за судбину пословања великих предузећа, што на крају може имати погубне последице на опстанак МСП (Beraha 2011).

Организациона структура је често једноставна и неформална. Систем управљања предузећем није јасно дефинисан и радници су често збуњени. Са друге стране узимајући у обзир чињеницу да је власник уједно и менаџер предузећа а често преузима и друге функције у предузећу, ствара се могућност брзог реаговања, добре адаптивности као и брзог и једноставног доношења одлука без превеликог губитка енергије и времена. Оваква структура често није адекватна за обављање сложених пословних подухвата.

У поређењу са великим предузећима која имају значајан удео аутоматизације у својим производним процесима, МСП су више усмерена на непродуктивну производњу и велики број мануелних операција. Ова предузећа имају значајну улогу у смањивању незапослености и смањењу сиромаштва. У земљама у развоју, као што је наша, МСП доприносе ефикаснијој расподели ресурса тако што примењују производне методе засноване на великом броју мануелних операција, чиме обезбеђују успостављање равнотеже између веће расположивости радне снаге и оскудице капитала (Erić et al. 2012).

2.3 Значај и потенцијал малих и средњих предузећа

Највећи број предузећа која су регистрована на територији Европске уније су мала и средња предузећа. Чак 99% предузећа, од преко две стотине милиона предузећа, су мале и средње величине. То је основни разлог што МСП представљају главни извор запошљавања радне снаге. Преко 60% запослених у приватном сектору Европске уније ради у малим и средњим предузећима, а и преко 50% нових радних места се креира у овом сектору (Lee et al. 2015).

Анализом података прикупљених од стране (Söllner 2014) можемо видети да је у Немачкој као најразвијенијој економији Европске уније у 2011. години пословало преко два милиона предузећа од којих 99,3% припада групи МСП. Истовремено је у МСП запослено 60,2% свих запослених док је у великим предузећима запослено 39,8%. У овом случају МСП остварују промет од 33,5% док велика предузећа остварују промет од 66,5%. Ниво инвестиција иде у корист великих предузећа са 60% учешћа, док МСП припада 40%.

Важност малих и средњих предузећа у Србији илуструју основни показатељи, према подацима Привредне коморе Србије у 2010. години. Од укупно 319.044 привредних друштава, предузетнички сектор чини 99,8%. Сектор МСП генерише 66,4% радних места, 65,3% промета и 55,9% БДВ. Сектор МСП ангажује 45,4% укупне запослености, 43,9% укупних инвестиција, остварује 44,5% извоза, 52,3% увоза, генерише 63,3 спољнотрговинског дефицита привреде Србије и учествује са око 33% у БДП Републике. У структури сектора МСП посматрано по величини, најбројнија су микропривредна

друштва, док мала и средња привредна друштва доминирају по свим посматраним индикаторима (Eurobarometer 2007).

МСП имају значајну улогу у расту националних економија и подизању животног стандарда (Beraha 2011). Многе од њих су такође успеле да се пробију и на инострана тржишта и на тај начин значајно доприносе повећању извоза и имају значајан утицај на раст економије у будућности (Ankur et al. 2016). МСП унапређују конкурентност привреде, имају значајан утицај на смањење незапослености чак и у тренуцима економских криза и стварају стабилне услове за формирање средње класе на тај начин обезбеђујући стабилност друштва. Доприносе успостављању развоја и имплементација иновација. Лакше и брже се прилагођавају променама у пословном окружењу јер су спремне и вољне да брзо и драстично промене своје активности у складу са ресурсима којима располажу а спремне су и да промене своју локацију како би се прилагодили потребама повећања профита (Romanesku 2016).

Потенцијал МСП се огледа у јачању вештина управљања менаџмента МСП, унапређењу капацитета и могућности прикупљања и обраде информација као и у унапређењу технолошке и производне базе предузећа (Beraha 2011). Велику улогу у унапређењу и јачању МСП имају и владе као и локалне заједнице које морају обезбедити привлачније финансирање, приступ интернационалним тржиштима као и обезбедити потребну информациону инфраструктуру. Према (Policy Brief 2000) 30%-60% МСП су окарактерисана као иновативна. Ова иновативност се не огледа у способностима развоја производа и услуга у капацитету великих компанија, већ у прилагођавању производа и услуга новим условима на тржишту, брзом усвајању нових организационих структура као и приступа за унапређење продуктивности или продаје. Постоји мала група МСП чије се иновације могу мерити са великим компанијама и које припадају групи 5%-10% најбрже растућих компанија на свету. Ова МСП су фокусирана на развој нових технологија и међусобно су интегрисана у формалне или неформалне групе предузећа са циљем пионирског развоја нових производа, као што је на пример биотехнологија и слично.

Потенцијал МСП такође може бити препознат и у њиховом међусобном повезивању и удруживању, формалном или неформалном како би својом флексибилношћу, али и великом брзином прилагођавања могли да одговоре новим и стално променљивим условима тржишта. Као пример се у (Policy Brief 2000) наводе предности трговине коришћењем интернета које отварају перспективе МСП за ширење мреже купаца, отварање нових тржишта као и рационализацију пословања.

Како би се боље разумеле предности и мане МСП као и њихове потребе и одредили потенцијални правци унапређења, спроведена је SWOT анализа. Ова анализа представља аналитички алат који може помоћи предузећу да се суочи са разумевањем

пословног окружења и помоћи у дефинисању акција које ће довести предузеће до жељеног циља. Она омогућава организацији да идентификује интерне и екстерне утицаје на њено пословање, а њен примарни циљ јесте да помогне организацији да разуме и буде свесна свих пословних фактора који су укључени у одлуку (Jasiulewicz-Kaczmarek 2016).

Анализа обухвата разматрање интерних и екстерних фактора који утичу на пословање предузећа.

Интерни фактори

- Финансијски ресурси, као на пример расположивост средстава за инвестирање, начини остваривања прихода и слично,
- Физички ресурси, као на пример запослени, сарадници, циљани купци,
- Природни ресурси, као на пример патенти, права и лиценце,
- Тренутни процеси, као на пример програми запошљавања, програми усавршавања, расположиви софтверски пакети и слично.

Екстерни фактори

- Кретања тржишта, нови производи и нове технологије, интересовања купаца,
- Економски трендови, локални, национални и интернационални трендови,
- Законске одредбе,
- Демографска кретања,
- Односи са добављачима и купцима,
- Политички фактори и законодавство.

На слици 2.1 приказана је SWOT анализа МСП настала на основу свега наведеног у другом поглављу, узимајући у обзир како генералне карактеристике МСП тако и ограничења везана за имплементацију производних технологија и система одржавања.

<ul style="list-style-type: none"> - Посвећеност квалитету - Прилагодљивост променама - Једноставна организациона структура - Осећај припадности предузећу - Могућност специјализације <p style="text-align: center;">Strengths</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Мали број запослених - Недостатак капитала за улагање - Недостатак знања и искуства - Недостатак менаџерских вештина - Мала продуктивност - Неразвијена организациона структура - Недостатак ИТ ресурса - Недостатак стандардизације процеса - Технолошки застарела опрема <p style="text-align: center;">Weaknesses</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Брзо реаговање на промене тржишта - Брзо доношење одлука - Прихватање иновативних решења <p style="text-align: center;">Opportunities</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Велики број конкурената у земљи - Ризик од увоза сличних производа - Мали број купаца, велика зависност - Одлив квалитетних кадрова - Недостатак опција за финансирање <p style="text-align: center;">Threats</p>

Слика 2.1 SWOT анализа МСП

Након извршене анализе поставља се питање како искористити снаге (S) и прилике (O) како би се превазишле слабости (W) и претње (T). Свакако треба поћи од жеље власника МСП за дуговечношћу предузећа и опредељењу ка постизању високог квалитета производа и услуга. Такође треба искористити и жељу за иновацијама и могућност брзог доношења одлука у прихватању истих, у светлу малог броја запослених. Све речено нас води ка неопходности имплементације једног од система континуалног унапређења предузећа као што је ТПМ у чијој је основи постизање највишег квалитета, уз развој вештина и знања запослених као и неговање културе иновација.

Са друге стране поставља се питање како решити проблем недостатка како финансијских тако и људских ресурса за имплементацију једног система какав је ТПМ. У овом случају се мора прибећи иновацији, што и јесте циљ ове дисертације. Потребно је развити поједностављени систем континуалног унапређења, фокусиран на унапређење поузданости опреме, унапређење продуктивности и квалитета уз истовремено достизање минималних трошкова производње. Нови систем мора бити таквог карактера да се базира на ресурсима које МСП имају.

2.4 Истраживање примењених концепата одржавања у системима малих и средњих предузећа у Србији

Да би се разумео тренутни менаџмент одржавања у МСП у Србији, извршено је истраживање које је обухватило 42 мала и средња предузећа. Истраживање је спроведено у периоду од фебруара 2015. године до јуна 2016. године (период од 16 месеци) и обухватило је предузећа из седам различитих грана индустрије. Истраживање је започето избором предузећа која ће бити анкетирани. Изабрана је група од 100 предузећа, међутим одговоре на питања из анкете послала су 42 предузећа, што дефинише проценат успешних одговора од 42%. Настављено је анализом радова из области одржавања у МСП након чега је уследило дефинисање питања анкете која је послата власницима односно менаџерима предузећа. Након прикупљених резултата анкете спроведени су интервјуи са особама које су одговарале на питања постављена у анкети и прикупљена су додатна појашњења послатих одговора на питања из анкете. Након интервјуа извршена је посета групи предузећа која имају службу одржавања, односно имају екстерне сараднике који спроводе одржавање, у циљу бољег сагледавања постојећих и примењених стандарда и метода одржавања у тим предузећима као и инспекција стања опреме.

Анкета је дефинисана истраживањима (Abhishek et al. 2016; Baglee & Knowles 2010; Dora et al. 2014; Baglee et al. 2003; Bamber et al. 1999; Al-Najjar 2007; Alsyouf 2007; Alsyouf 2009; Graisa & Al-Habaibeh 2011; Baglee et al. 2008; Carnero 2012) као и коришћењем искустава у развоју одржавања, примењених у периоду од 2003. до 2015. у фабрикама широм света, компаније Тетра Пак. Основни циљ анкете јесте да утврди тренутни ниво и врсте примењених метода одржавања као и да утврди перцепцију власника, односно менаџера МСП о утицају одржавања на пословање и могућности унапређења пословања кроз унапређење одржавања. Анкета садржи тридесет питања подељених у четири групе:

- Питања потребна за класификацију предузећа,
- Питања везана за усвојени концепт одржавања у предузећу,
- Питања која се односе на праћење индикатора успешности пословања који су везани за одржавање опреме,
- Питања која се односе на разумевање улоге одржавања у предузећу.

Ова студија је лимитирала област истраживања на следеће области:

- Предузећа обухваћена студијом послују у Републици Србији и налазе се у Моравичком и Шумадијском округу,
- Фокусирана је искључиво на одржавање као једну од области пословања предузећа,

- Обухвата основне технике одржавања као што су корективно, превентивно и одржавање према стању.

Табела 2.1 Преглед анкетираних МСП према врсти индустрије и броју радника

Врста индустрије	Укупан број одговора	Мање од 10	Од 10 до 50	Од 50 до 250	Више од 250
Металоперађивачка	9		3	6	
Текстилна	4		1	3	
Графичка	15		5	10	
Грађевинска	3		2	1	
Хемијска	3		2	1	
Прехрамбена	5		5		
Дрвоперађивачка	3		3		
Укупно	42	0	21	21	0

Анализа прикупљених резултата показује да је 36% предузећа које су послале своје одговоре припада графичкој индустрији, 21% металоперађивачкој, 12% прехранбеној, 10% текстилној и док преосталих 21% припада осталим анкетираним гранима. Када се анализира дистрибуција одговора према величини предузећа, закључује се да 50% предузећа има од 10 до 50 радника и припада групи малих предузећа, док других 50% има од 50 до 250 радника и припада групи средњих предузећа.

Као сврху и задатак Службе одржавања 88% анкетираних је навело, односно прихвата концепт, да одржавање представља скуп поступака и активности чија је сврха спречавање појаве стања у отказу, као и враћање техничких система по појави стања у отказу поново у стање у раду, у што краћем времену и са што мањим трошковима. Из оваквог разумевања процеса и потребе одржавања производне опреме проистиче и сама организација одржавања у МСП, као и њени резултати. Можемо закључити да је ниво одржавања заснован у 78% случајева на искључиво корективном одржавању док је код малог броја средњих предузећа примењен и одређени облик превентивног одржавања, у складу са ресурсима, организацијом Службе одржавања као и нивоом знања запослених у МСП.

Анализом организације служби одржавања у анкетираним МСП уочавамо четири основна концепта према којима је организована Служба:

- Одржавање је у потпуности делегирано (енгл. outsourced) извршиоцима ван предузећа код 66% анкетираних МСП,
- Постоји особа која је задужена за организацију одржавања, али су сви извршиоци запослени ван предузећа и раде у другим предузећима (енгл. outsourcing) код 7% анкетираних МСП,
- Служба одржавања је интегрисана са Службом производње у 5% предузећа,
- Служба одржавања има одговорну особу и одређени број извршилаца у својој организацији а за специјализована знања користи outsourcing 22% анкетираних предузећа.



Слика 2.2 Организација Службе одржавања у МСП у Србији

Анализа (Baglee & Knowles 2010) која обухвата британска МСП наводи да је 87% МСП у тој земљи прихватило концепт корективног одржавања као доминантан, док је у (Alsyouf 2009) који је обухватио шведска МСП тај проценат знатно мањи и износи 27%, док 53% предузећа примењује превентивно одржавање. Ово истраживање је показало да је прихваћени корективни концепт одржавања у Србији од 78% знатно већи него у Шведској а приближно исти као у Великој Британији, што омогућава адекватна поређења ова два система. У Британији је већина испитаника била задовољна тренутним системом одржавања и није видела потребу за унапређењем што је веома слично са истраживањем спроведеним у Србији, где је 85% испитаника одговорило да није потребно унапредити тренутну стратегију одржавања. Ова чињеница је веома интересантна и показује недостатак разумевања бенефита који се могу остварити применом Превентивног и Превентивног одржавања према стању (Baglee & Knowles 2010).



Слика 2.3 Поређење примењених концепата одржавања

Улога одржавања опреме у циљу повећања ефикасности предузећа, унапређења квалитета производа и безбедности и здравља на раду такође није адекватно препозната а самим тим ни улога радника у производњи у одржавању опреме (Сooke 2000).

Радници у производњи су искључиво фокусирани на саму производњу и немају задужења везана за одржавање опреме. У неким предузећима радници у производњи су задужени и за чишћење опреме, али не у циљу откривања и регистрација аномалија, већ искључиво ради одржавања основног нивоа хигијене (Маџић et al. 2016). У недостатку структурне обуке радника у производњи доводи се у питање и сам начин руковања опремом, који има велики утицај на појаву отказа и оствареног квалитета производа. Недостатак стандардизације производног процеса са аспекта руковања опремом и примене неадекватних сировина и производне технологије такође има негативан утицај на безбедност на раду, квалитет и појаву отказа. Радници у производњи су склони импровизацији у случајевима да опрема има одређене недостатке, не размишљајући о могућим последицама по своју безбедност и здравље (Djaraп et al. 2015) као и на губитке материјала, односно шкарт.

Концепт одржавања где се у 73% анкетираних случајева одржавање поверава екстерним извршиоцима, комбинован са стратегијом „ради док опрема не стане“, доводи до изузетно неповољних услова за унапређење концепта одржавања. Тежећи мањим трошковима производње власници се веома често одлучују за outsourcing у одржавању, примењујући искључиво Корективно одржавање. У овом случају одржаваоци опреме долазе из других предузећа у околини и спроводе интервенције на опреми, а Превентивно одржавање не постоји.

Очигледна предност овога система јесте та што нема запослених у одржавању и с тим су трошкови радне снаге у предузећу смањени на минимум, док са друге стране имамо одређене недостатке који су идентификовани интервјуисањем анкетираних предузећа:

- Извршиоци одржавања из других предузећа немају довољно знања о конкретној опреми и технологији производње домаћина,
- Време трајања отказа је често дуго јер се чека на расположивост и долазак екстерног одржаваоца,
- Екстерни одржаваоци не воде евиденцију о извршеним интервенцијама,
- Екстерни одржаваоци нису заинтересовани за унапређење опреме у циљу повећања поузданости,
- Често се примењују привремена решења у недостатку резервних делова која постају трајна,
- Екстерни извршиоци нису заинтересовани за успостављање планског одржавања, итд.

Анализа расположиве производне опреме у Србији у анкетираним МСП показала је да је највише заступљена већ кориштена опрема из земаља Западне Европе. Основни разлог за то јесте недостатак новчаних средстава за набавку нове опреме као и неповољни услови кредитирања, што је навело 90% испитаника. Овај вид набавке носи одређене недостатке који су априори неповољни за адекватну организацију одржавања:

- Недостаје техничка документација,
- Недостају упутства за употребу,
- Недостају упутства за одржавање,
- Не постоји планирани програм обуке руковалаца опремом,
- Не постоји планирани програм обуке за одржаваоце опреме,
- Не постоји листа препоручених мазива која се користе,
- Не постоји листа препоручених резервних делова, итд.

Са друге стране, средња предузећа у Србији са својим јачањем и развојем почињу са набавком нове опреме при чему се ситуација наведена за набавку коришћене опреме умногоме поправља. Међутим, овде наилазимо на нову групу проблема. Како Служба одржавања практично не постоји, у овим предузећима адекватну обуку и систем руковања и одржавања опремом нема ко да прихвати и настави са имплементацијом и даљим развојем. Са друге стране, власници МСП, у жељи да се повећају своју конкурентност на тржишту у погледу цене коштања производа као и са аспекта унапређења квалитета, врло често приступају набавци опреме најновије генерације која још увек болује од дечјих болести и за чије је одржавање неопходан веома висок ниво знања одржавалаца, верујући да ће произвођач опреме наставити бригу о њој и у

периоду експлоатације у циљу заједничког интереса. Веома често ово није случај јер је један од циљева произвођача опреме и продаја услуга специјализованог одржавања које има веома високу цену. Власници ових предузећа препознају потребу за Превентивним и Превентивним одржавањем према стању и повезивањем опреме коришћењем интернета са произвођачима опреме. Спремни су да додатно инвестирају у образоване и обучене кадрове као и у дијагностичку опрему нове генерације.

Истраживање је идентификовало и недостатак коришћења информационих технологија како у производном процесу тако и у одржавању. Власници МСП у Србији се у 75% анкетираних предузећа ослањају на физички и усмени ток информација како би избегли инвестирање у адекватне софтверске технологије које могу помоћи у бољој организацији производног процеса и истовремено омогућити прикупљање информација потребних за адекватно планирање система одржавања. Из наведеног разлога није могуће ни адекватно проценити праве трошкове производње нити припадајуће трошкове одржавања који би могли бити искориштени за поређење садашњег система са потенцијално бољим и економичнијим системом, нити их упоредити са расположивим подацима о предузећима из земаља Западне Европе.

Анализом (Baglee & Knowles 2010; Alsyouf 2007; Alsyouf 2009; Baglee et al. 2008) као и кроз спроведене интервјуе са власницима анкетираних МСП у Србији дошло се до неколико фактора који спречавају МСП да успоставе бољи и ефикаснији систем одржавања:

Финансијски фактори:

- Власници МСП су заинтересовани за брз повраћај уложених средстава и сматрају да је то немогуће добити улагањем у одржавање,
- Сматрају да одржавање није њихов основни бизнис и не виде га као интегрални део пословне стратегије,
- Сматрају да уколико желе да промене стратегију одржавања, пре свега морају инвестирати у нову опрему,
- Сматрају да је улагање у унапређење система одржавања неоправдано и да су за њега потребна знатна средства,
- Сматрају да је за унапређење система одржавања потребно применити специјализован програм унапређења који није јефтин и да се мора ангажовати и платити консултант,
- Обука запослених кошта, а они не могу производити за време обуке па је трошак још значајнији.

Време:

- Власници траже стратегију одржавања која може да обезбеди резултат веома брзо.

Ресурси:

- Власник предузећа је веома често и менаџер продаје, финансијски менаџер и много других функција, па је фокусирање на одржавање немогуће,
- Запослени који покажу иницијативу и знање и могу покренути унапређење система одржавања веома често одлазе из МСП тежећи да се прикључе већим системима,

Из спроведеног истраживања примењених концепата одржавања у МСП у Србији и коришћењем искустава из других европских земаља сублимираних у цитираним научним радовима може се закључити да уколико се жели унапредити систем одржавања у МСП потребно је изабрати стратешки приступ који може функционисати у условима ограничених ресурса, како људских тако и финансијских. Брз повраћај уложених средстава, позитиван утицај на квалитет производа, ефикасност производног процеса и безбедност запослених су главни мотиватори власника предузећа за унапређење пословних процеса, односно успостављање адекватног концепта одржавања производне опреме као и процеса континуалног унапређења пословања.

3. Принципи, циљеви и искуства у примени ТПМ-а

3.1 Историја ТПМ-а

Превентивно одржавање (енгл. preventive maintenance) усвојено је у Јапану педесетих година двадесетог века као последица опоравка јапанске индустрије након Другог светског рата. У Јапан је доспело након размене искустава јапанских стручњака са америчким производним системом који се заснивао на високој поузданости производне опреме. Продуктивно одржавање је настало шездесетих година двадесетог века тих укључивањем у систем превентивног одржавања дисциплина као што су поузданост техничких система, економски инжењеринг и рано управљање животним веком опреме са циљем унапређења економске ефикасности опреме у току њеног целог животног века (Yamashita 1999).

Јапанска индустрија је веома брзо прихватила принципе превентивног и продуктивног одржавања из разлога што су производни капацитет, продуктивност, квалитет производа, безбедност запослених и утицаји на животну средину скоро у потпуности били зависни од стања производне опреме. Продуктивно одржавање је одиграло кључну улогу у унапређењу квалитета производа и продуктивности. Такође је значајно унапредило целокупни систем одржавања развијајући експертизу у областима као што су специјализоване Службе одржавања, креирајући системе за управљање инвестицијама, унапређујући технолошки развој опреме као и продуктивност у области одржавања.

Развој различитих грана индустрије ишао је у различитим правцима. Процесна индустрија се фокусира на имплементацију превентивног и продуктивног одржавања док су се гране индустрије са већим учешћем радне снаге у производњи одлучивале за инвестиције у аутоматизацију производних процеса. Нови тренд који је обухватио аутоматизацију опреме, комбинован са принципима just-in-time производње захтевао је и нове принципе управљања одржавањем у индустрији. Тако је рођен јединствени јапански приступ назван тотално продуктивно одржавање – ТПМ (енгл. total productive maintenance), као форма продуктивног одржавања која у своју имплементацију укључује све запослене (Suzuki 1994).

Један од најзначајнијих промотера ТПМ-а био је Seiichi Nakajima који се сматра и оснивачем ТПМ филозофије и ТПМ награде као признања компанијама за постигнуте резултате у унапређењу производних процеса, смањењу губитака и доприносу унапређења друштвене одговорности. Данас је носилац развоја ТПМ концепта Јапански институт за унапређење предузећа (Japan Institute of Plant Maintenance – JIPM) који кроз систем консултација и аудита промовише дух унапређења широм света.

3.2 Развој ТПМ-а

ТПМ се прво укоренио у аутомобилској индустрији и веома брзо постао део корпоративне културе у многим компанијама као што су Тојота, Нисан и Мазда као и код њихових добављача. Такође је примењен и у многим другим индустријама, као што је производња електронских компонената, производња машина и алата, пластике, пластичних филмова, производња хране, хемикалија, гуме, цемента, папира, челика и у многим другим (Nakajima 1989).

Можемо посматрати пример јапанске аутоиндустрије и закључити да су њихови аутомобили увек у врху по броју продатих возила. Питање је зашто и како постижу тај резултат. У Јапану се сматра да је купац на првом месту. И ова филозофија доводи до повећања продаје, већег задовољства купца, спорадичних проблема у животном веку производа и коначно нове и поновљене куповине (Boris 2006). У почетку су све ТПМ активности биле лимитиране на одељења која су директно укључена у рад са производном опремом односно са процесом производње. Данас је ТПМ примењен и на административне и логистичке процесе као и на продају и развој производа и услуга како би унапредио пословање целе компаније. Посебан допринос ТПМ даје у раном развоју производа сагледавајући све аспекте животног века производа као и опреме потребне за његову израду са циљем да се производња поједностави, да се обезбеди захтевани квалитет као и да се смањи иницијално време потребно да се производ нађе на тржишту.

Три су главна разлога зашто је ТПМ брзо прихваћен од стране јапанских и светских компанија (Suzuki 1994):

- Гарантује постизање изузетних резултата,
- Видно трансформише радно окружење,
- Подиже ниво знања и вештина запослених у производњи и одржавању.

Постизање изузетних резултата се огледа у смањењу броја отказа опреме, минимизирању технолошких застоја, смањењу броја дефеката и рекламација, значајном повећању продуктивности, смањењу производних трошкова, смањењу залиха, смањењу броја повреда и повећању укључености запослених у процес унапређења. (Погледати табелу 3.1)

Трансформација радног окружења се мења на начин да се производни погон који је прекривен прљавштином, опилцима, уљем и мазивима препороди у безбедну и удобну радну средину. Купци и остали посетиоци бивају импресионирани променом и њихово поверење у производе компаније се повећава.

Подизањем нивоа знања и вештина запослених постижу се значајна унапређења продуктивности, ефикасности и безбедности у компанији а самим тим радници постају мотивисанији и њихова укљученост у процес унапређења резултата се повећава. Запослени почињу да прихватају ТПМ као део њиховог посла и као свакодневни начин рада. ТПМ помаже производним радницима да разумеју начин рада њихове опреме и омогућава им да се укључе у њено одржавање и унапређење. Повећава њихову мотивацију и интересовање да опрема увек буде у најоптималнијем стању.

Табела 3.1 Мерљиви резултати ТПМ-а

Продуктивност	Повећање продуктивности	1.5 – 2 пута
Квалитет	Смањење броја дефеката	90%
	Смањење броја рекламација	75%
Трошкови	Смањење производних трошкова	30%
Безбедност	Смањење броја повреда	100%
Испоруке	Смањење залиха	50%
Запослени	Повећање броја сугестија запослених	5– 10 пута

3.3 Дефиниција ТПМ-а

Како су основне активности ТПМ-а биле усмерене на унапређење производних функција предузећа, ТПМ је имао пет основних стратегија (Nakajima 1989):

1. Повећање ефикасности опреме,
2. Успостављање свеобухватног система одржавања опреме током њеног целокупног животног века,
3. Укључивање свих одељења у планирање, коршћење и одржавање опреме,
4. Укључивање свих запослених од највишег менаџмента до радика на производној линији у процес унапређења резултата пословања,
5. Промовисање продуктивног одржавања кроз активну мотивацију запослених.

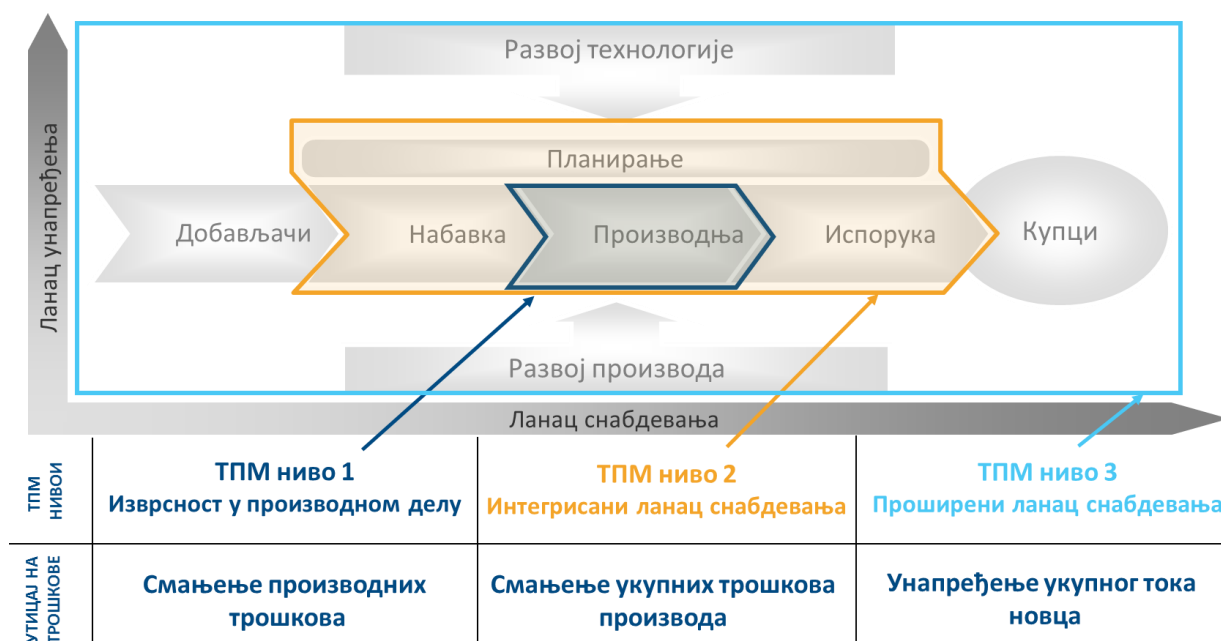
У новије време, како је ТПМ примењен у широком спектру индустрија и организација, као и у развојним, административним и одељењима продаје, дошло се до нове дефиниције која има следеће стратегије:

1. Успостављање корпоративне културе која ће максимизирати ефективност производних система,
2. Коришћење приступа присуства у производњи кроз организацију која је способна да превентивно спречи појаву свих врста губитака (обезбеђујући нула повреда, нула дефеката и нула грешака) у току целог животног циклуса производног система,

3. Укључивање свих одељења у имплементацију ТПМ-а, укључујући и развој, продају и администрацију,
4. Укључивање свих запослених од највишег менаџмента до радника на производној линији у процес унапређења резултата пословања,
5. Спровођење свих активности елиминације губитака уз помоћ активности тимова за унапређење.

3.4 Област деловања ТПМ програма

Област деловања ТПМ се може поделити у три основна нивоа (Baroncelli & Ballerio 2016) у зависности од функција предузећа које су обухваћене ТПМ програмом као и утицајем на укупне трошкове и ток новчаних средстава предузећа. На слици (3.1) је приказана област деловања ТПМ-а, односно различите фазе у имплементацији ТПМ-а, са аспекта тока ланца снабдевања а према захтеваном нивоу развоја производа, услуга и технологија.



Слика 3.1 Област деловања ТПМ-а

ТПМ ниво 1 усмерен је на унапређење искључиво делова предузећа који се баве производњом. Задатак му је да оптимизује производне трошкове кроз повећање ефикасности, продуктивности, смањење броја технолошких застоја, смањење броја отказа опреме и унапређење целокупног система одржавања.

ТПМ ниво 2 се уводи у предузеће након постигнутих успеха имплементације програма у нивоу један са циљем смањења укупних трошкова производа. Усмерен је на укључивање служби набавке, логистике и планирања у ТПМ програм са циљем даље оптимизације дела који се бави производњом кроз унапређења у процесу планирања

производње, оптимизације трошкова набавке сировина као и оптимизације трошкова унутрашњег транспорта и трошкова испоруке готових производа.

ТПМ ниво 3 има задатак да у програм укључи и Службе развоја производа, развоја технологије као и Службу продаје. Сарадња горе поменутих служби са добављачима сировина, добављачима компонената и даваоцима услуга као и са купцима готових производа и конзументима доводи до дубљег разумевања потреба купаца и омогућује предузећу да развије прави производ за купце у складу са њиховим стварним потребама као и производне технологије које ће омогућити израду производа на најоптималнији начин при томе креирајући најмање трошкове у току целог животног века производа.

Развојем нових производа и нових технологија, коришћењем нових или унапређених материјала, водећи рачуна о утицају на животну средину и ширу друштвену заједницу, ТПМ добија свој пуни смисао. Компанија више нема ултимативни смисао стварања додатног профита већ се њена сврха проширује на општу добробит целе друштвене заједнице.

3.5 Успостављање ТПМ програма

ТПМ се уобичајено успоставља у четири фазе (припрема, увод, имплементација и консолидација), које се даље могу поделити у дванаест корака (Suzuki 1994). (Погледати табелу 3.2)

Фаза припреме (кораци 1-5)

Фаза припреме се може поделити у пет корака. Веома је важно поставити темеље програма пажљиво и детаљно. Уколико дође до грешака у планирању, модификације и корекције ће бити неопходне у току имплементације. Фаза припреме почиње са комуникацијом одлуке највишег менаџмента компаније да уведе систем континуалног унапређења ТПМ и завршава се са развојем и комуникацијом мастер плана имплементације програма.

Корак 1: Највиши менаџмент компаније оглашава одлуку да почиње спровођење програма континуалног унапређења под називом ТПМ

Сви запослени морају разумети зашто њихова компанија имплементира програм ТПМ и бити уверени у неопходност имплементације (Hooi & Leong 2017).

Табела 3.2 Дванаест корака за имплементацију ТПМ-а (Suzuki 1994)

	Корак имплементације	Кључне активности
1	Оглашавање одлуке о имплементацији ТПМ-а	Највиши менаџмент врши комуникацију на интерном састанку и објављује одлуку у часопису предузећа
2	Спровођење интерне едукације о ТПМ	Групни тренинг за менаџмент
		Презентација за запослене
3	Креирање промотивне ТПМ организације	Формирање ТПМ канцеларије
		Формирање ТПМ управљачког тела
4	Дефинисање основне ТПМ политике и циљева	Дефинисање полазне основе и циљева
		Прогнозирање ефеката програма
5	Израда мастер плана имплементације	Од припремне фазе до добијања прве награде
6	Започињање имплементације ТПМ програма	Позивање запослених, купаца и добављача
7	Имплементација система	Тежња ка највишим циљевима у унапређењу
7.1	Обука	Групни тренинзи за вође тимова који могу преносити знање на остале чланове тима
7.2	Фокусирано унапређење	Тимске активности за унапређење радног места
7.3	Аутономно одржавање	Развој система корак по корак уз редовне контроле и јасне критеријуме за прелазак из корака у корак
7.4	Планирано одржавање	Корективно одржавање
		Генерални ремонти
		Предиктивно одржавање
8	Рано управљање	Развој производа једноставних за употребу као и опреме једноставне за руковање
9	Управљање квалитетом	Успостављање, одржавање и контрола услова за постизање нула дефеката
10	Унапређење администрације	Подизање продуктивности у помоћним службама
		Унапређење и поједностављивање пословних процеса
11	Управљање безбедношћу и животном средином	Успостављање радног места без повреда и загађења радне средине
12	Одржавање постигнутог нивоа и унапређење	Пријава за добијање ЈИПМ награде
		Постављање још виших циљева

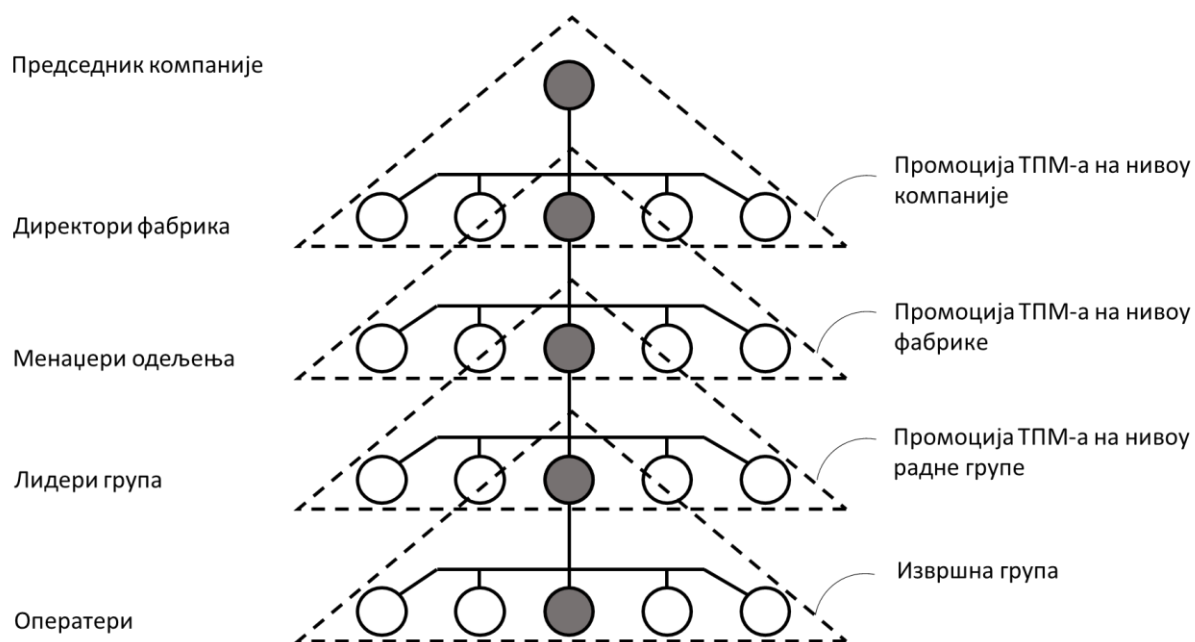
Раст трошкова набавке сировина, константно снижавање продајних цена производа као и остали изазови који се налазе пред предузећима приморавају предузеће да се организује на ефикаснији и ефективнији начин. Све ове чињенице морају бити сагледане пажљиво пре почетка имплементације програма од стране највишег менаџмента предузећа и на прави начин саопштене запосленима. На овај начин су информисани сви запослени као и остале заинтересоване стране ван компаније да менаџмент разуме дугорочну вредност ТПМ-а као и да ће обезбедити све видове подршке потребне да се реше сви проблеми који ће изаћи на површину у току имплементације програма. Припреме за имплементацију ТПМ-а почињу и званично када се одлука саопшти запосленима.

Корак 2: Уводна едукација о ТПМ-у

Пре него што се почне са имплементацијом ТПМ-а, он се мора разумети на прави начин. Да би се ово остварило, поједини чланови организације, пре свега менаџмента, морају присуствовати семинарима и посетити нека од предузећа која су већ започела имплементацију програма. Након тога се планира обука за ширу групу запослених која би се одржала у предузећу од стране екстерних консултаната (Ађија & Khamba 2008).

Корак 3: Креирати промотивну ТПМ организацију унутар предузећа

ТПМ се у организацији промовише принципом преклапања мањих организационих група односно нивоа (Накајима 1986), као што је приказано на слици 3.2.



Слика 3.2 Преклапање мањих организационих група

Свака група се састоји од лидера групе и чланова, па је лидер ниже групе члан више групе или хијерархијског нивоа у организацији. На овај начин систем лидера се пење све до председника компаније или предузећа. Овај систем је веома ефикасан за ширење политике и циљева предузећа кроз целокупну организацију (Ireland & Dale 2001). Такође је неопходно основати ТПМ канцеларију која има задатак да промовише ТПМ као и да организује активности едукације чланова организације. Како би ТПМ канцеларија била ефикасна потребно је да има своје стално запослене који ће своје целокупно радно време провести радећи на успостављању ТПМ-а. Активности овога одељења укључују и припрему мастер плана имплементације као и контролу његовог спровођења, затим и спровођење обуке запослених и њихово адекватно информисање.

Корак 4: Дефинисати основну ТПМ политику и циљеве

Основна ТПМ политика предузећа мора бити интегрални део свеобухватне политике предузећа и мора садржати циљеве и правце деловања активности које се спроводе. Циљеви ТПМ-а морају бити повезани са средњорочним и дугорочним циљевима, пословним циљевима и могу бити постављени тек након консултовања свих чланова менаџмента, укључујући и највиши менаџмент (Takahashi 1981).

Основна начела при изради ТПМ политике једнога предузећа могу бити:

- Тежити ка нула отказа и нула дефеката уз постизање максималне ефикасности кроз укљученост свих запослених,
- Дизајнирати опрему и процесе како би се добио највиши квалитет,
- Развити широка знања запослених о опреми и процесима и искористити их до максималног потенцијала,
- Створити пријатно, безбедно и узбудљиво радно место.

Циљеви ТПМ програма могу бити:

- | | |
|---------------------------------------|-------|
| • Смањење броја отказа | 1/100 |
| • Смањење броја технолошких застоја | 1/20 |
| • Повећање продуктивности | 50% |
| • Смањење производног шкарта | 60% |
| • Смањење укупних трошкова производње | 60% |

Веома је важно поставити циљеве нумерички, ако је могуће, јер то омогућава њихово мерење и упоређивање а самим тим и праћење достигнутог нивоа унапређења. Да би се адекватно поставио циљ, мора се прво измерити тренутно стање и оно дефинисати и квантитативно и квалитативно. Поставити циљ значи постићи одређени резултат унапређења у односу на тренутно стање. Најтежи део постављања циља јесте дефинисати колико унапређење очекивати у односу на тренутно стање. Циљ мора бити веома изазован али са друге стране могућ за достизање.

Корак 5: Направити мастер план ТПМ имплементације

Да би се поставио мастер план за имплементацију ТПМ-а, као први корак потребно је одлучити које су основне активности које је потребно спровести како би се остварили циљеви имплементације. Ово је веома важан корак јер захтева од чланова организације да размишљају и да траже најефикасније начине да елиминишу разлику између тренутног стања и постављених циљева (Aspinwall & Elgharib 2013). ТПМ има својих осам основних активности.

Осам основних ТПМ активности:

- Фокусирано унапређење, енглески Focused improvement
- Аутономно одржавање, енглески Autonomous maintenance
- Планирано одржавање, енглески Planned maintenance
- Обука, енглески Education and training
- Рано управљање, енглески Early management
- Управљање квалитетом, енглески Quality maintenance
- Унапређење администрације, енглески Administrative and support department activities
- Управљање безбедношћу и животном средином, енглески Safety and environmental management

Све наведене активности морају имати свој буџет за имплементацију као и адекватан управљачки тим. Свака активност мора имати свој план активности који ће са мастер планом чинити интегралну целину.

Последњих година са развојем вештачке интелигенције, нових комуникационих технологија, паметних мрежа и генерално посматрано нове четврте технолошке револуције ТПМ програм се такође унапређује. Можемо слободно закључити да је ТПМ додао у своје основне активности и две нове које није могуће пронаћи у традиционалној литератури (Aspinwall & Elgharib 2013) као и у научним истраживањима новијег датума:

- Иновативни ТПМ, енглески Innovative TPM
- Креативни ТПМ, енглески Creative TPM

Нове активности не посматрамо као две додатне активности, већ као матричне активности основних осам претходно наведених са циљем да се постојећи програм такође унапреди и прилагоди новим технолошким системима као и новим генерацијама корисника.

Фаза увода у програм – Корак 6: Старт са ТПМ програмом

Када је мастер план одобрен од стране менаџмента, може се кренути са стартовањем програма. Старт програма треба направити на такав начин да он ствара праву атмосферу у организацији, подиже морал и инспирише све запослене. Препорука је да се организује свечаност у виду састанка свих запослених на коме би присуствовали и купци и добављачи. На овом састанку највиши менаџмент предузећа се обавезује да ће имплементирати програм према усвојеном мастер плану као и да ће постићи постављене циљеве дефинисане у припремној фази.

Фаза имплементације (Кораци 7-11)

Током фазе имплементације програма активности дефинисане мастер планом се спроводе у циљу достизања жељених резултата. Редослед активности и време почетка активности зависе од сваког предузећа, одељења или производне линије понаособ. Неке активности могу почети и трајати упоредо. Осам основних активности ће детаљније бити описане у наставку овога поглавља.

Фаза консолидације – Корак 12: Одржати постигнут ниво и унапредити се

Сматра се да је одређени ниво имплементације ТПМ-а достигнут када се освоји прва ЈИПМ (енгл. Japan Institute for Plant Maintenance) награда. Свакако, ТПМ активности се ту не смеју прекинути. Оне се морају чврсто укоренити у културу предузећа и морају се константно унапређивати. Предузеће расте и развија се континуалним постављањем виших циљева, циљева који рефлектују визију компаније.

ЈИПМ је дефинисао у Јапану три нивоа награда, а у земљама ван Јапана пет нивоа како би обезбедио одрживост постигнутих резултата и континуални напредак.

Те награде су дате на енглеском језику:

- TPM Excellence Award
- TPM Consistency Award (за земље ван Јапана)
- TPM Special Award
- TPM Advanced Special Award (за земље ван Јапана)
- TPM World Class Award

У периоду од 1960., када је систем награђивања успостављен, до данас, само је 15 предузећа у целом свету успело да добије TPM World Class Award. Једно од награђених предузећа јесте и Тетра Пак-ова фабрика амбалажног материјала за течну храну која је лоцирана у Горњем Милановцу. Своју сертификацију започела је 2005. године,

наставила имплементацију система континуалног унапређења и другу награду освојила 2008. године. Након тога следи трећа награда 2010. године коју прати четврта награда 2012. Финална и највиша пета награда је освојена 2015. године. На овај начин фабрика Тетра Пака у Горњем Милановцу постала је прва фабрика у групацији која је стигла до овог престижног признања. Такође је ова фабрика и прва фабрика на свету из групе фабрика које припадају графичкој индустрији која је добила ову престижну награду.

3.6 Губици према ТПМ концепту

За спровођење ТПМ-а и његовог концепта елиминације губитака веома је важно на самом почетку разумети шта су то губици и шта се све може сматрати губитком.

Природно је очекивати да губици у фабричком окружењу постоје у различитим облицима. Када губитак постане значајан, можемо сматрати да губитак више није у фабрици, већ да је фабрика у губитку (Hirano 2009).

Постоје различите дефиниције губитака, као и разумевања шта се може сматрати губитком, а шта не. Према (Hirano 2009) можемо усвојити две дефиниције, „Све што није корисно сматра се губитком“ као и „Све што не доприноси профитабилности јесте губитак“. Са друге стране, према (Baroncelli & Ballerio 2016) дефиниција губитка је, „Губитком се може сматрати коришћење ресурса које није препознато од стране купца као додата вредност производу који они плаћају“. Како на крају приступити дефинисању губитака, па можда кренути са друге стране, идентификовати шта је то што даје вредност производу и што купац жели да плати па све се друго што је преостало може сматрати губитком који је потребно елиминисати или смањити на најмању могућу меру (Seher & Natice 2015).

У јапанским фабрикама врло често се може чути да је потребно елиминисати 3М, односно три основне врсте губитака чија имена почињу са М. Она су дефинисана на следећи начин:

- Јапански **Muda** – свака активност која у произвођачевом процесу не даје вредност производу, односно не ствара вредност за купца,
- Јапански **Mura** – свака варијација која процес чини небалансираним, односно неједнаким, може се разумети и као варијација у процесу,
- Јапански **Muri** – нереално, немогуће или претерано. Свака активност која од запослених, сировине или опреме тражи нерационалан стрес или напор.

У пракси се међутим сав фокус ставља на јапански Muda део јер се сматра да се и остала два М могу наћи у њему и на адекватан начин елиминисати или смањити.

Према ТПМ, разликујемо седам основних губитака (јапански Muda) (Hirano 2009):

- **Дефекти** – јесте задатак, део процеса или финални производ који није извршен или комплетиран према дефинисаном стандарду. Овде основни проблем постаје додатни трошак који настаје како би се због дефекта на пример производ дорадио или поново израдио. Неки од узрока настанка дефекта у процесу могу бити: неадекватно руковање материјалом у току процеса, неадекватно подешена производна опрема, лоше извршена припрема за производњу, неадекватан произвођачки стандард, лоша контрола хигијене или коришћење неадекватних материјала.
- **Производња у обиму већем од потражње** – сама по себи не би била сматрана губитком да не постоје трошкови везани за руковање производима који немају купца. Они обухватају трошкове настале због складиштења производа као што су рента складишта, грејање или хлађење складишта, осветљење складишта и чишћење складишта. Поред тога производи могу бити оштећени у складишту због неадекватне манипулације, може се појавити рђа или оксидација производа као и истицање рока за употребу. Такође треба платити и запослене који ће водити бригу о складишту и вршити транспорт и одржавање у њему. И на крају имамо и трошак капитала јер је претераном производњом заробљен капитал који је могао бити усмерен на друге пројекте или производе и уместо губитака створио профит.
- **Чекање** – представља само чекање у производном ланцу које може настати због, на пример, недостатка руковалаца опремом, опреме која је у статусу отказа или је планирано одржавање, недостатка сировина које нису испоручене на време или чекања на наставак производње услед тестова квалитета.
- **Транспорт** – транспорт материјала је забрањен без апсолутне потребе за њим. Овде се рационализација своди на дизајн производне линије и на тај начин минимизира потреба за транспортом у процесу производње. Овај принцип је применљив и на рад у канцеларијама, на пример колико запослени проведу времена у потрази за неким документом, колико је канцеларија потребно претражити и колики пут се при томе пређе.
- **Претерана обрада** – представља кораке у процесу израде који нису потребни. Како купац жели одређени производ он нема потребу за скривеним елементима чија је функција да подрже произвођачев процес или технологију па самим тим треба тежити оптимизацији операција. Поставља се питање шта је са неопходном контролом квалитета. Истом приступом можемо и контролу квалитета између операција сматрати непотребном или насталу као последицу

несавршености производног процеса и самим том тежити унапређењу. Можда можемо производни процес унапредити да буде поузданији, можда можемо неке од операција искључити као непотребне и слично.

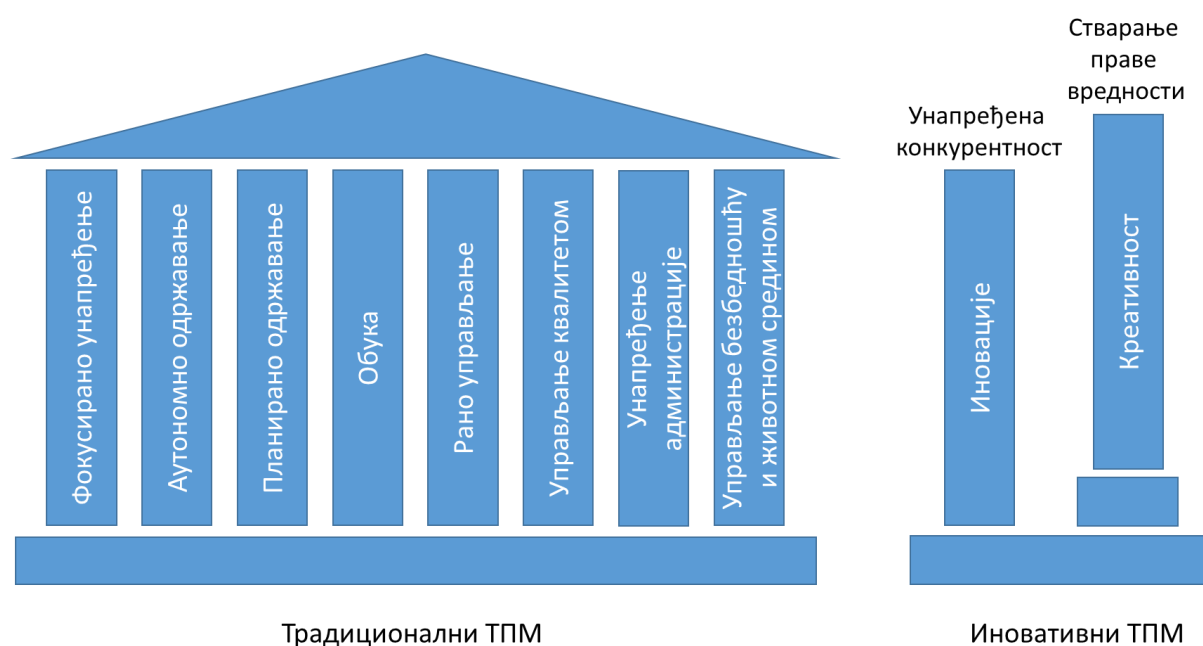
- **Непотребно складиштење** – представља сву робу коју компанија поседује или за коју дугује новац. Она се може налазити у магацину у облику сировина, затим у самом процесу производње у облику полуфабриката и у магацину готове робе као готов производ спреман за испоруку. Једини прави приступ у оптимизацији овога губитка назива се „тачно на време“ (енгл. just in time). Он представља принцип да све што је потребно за производњу мора доћи на производну линију не пре планираног времена, не после планираног времена већ искључиво у планирано време. Како би се овај принцип правилно применио, велики изазов представља успостављање високог нивоа поузданости производног процеса код добављача.
- **Непотребно кретање оператера** – овај губитак се може помешати са губитком услед транспорта и у принципу он се може елиминисати применом 5С концепта: (енгл. 5S). наш задатак је да извршиоцу омогућимо да обави своју операцију без ангажовања непотребне снаге и труда. Такође овај губитак обухвата и проблеме везане за ергономију као што су непотребно увијање тела, савијање, истезање, употреба обе руке истовремено и слично. Не само да ова кретања проузрокују губитак у времену већ узрокују и замор извршилаца. Наш задатак је да активно смањујемо број кретања извршилаца потребних да би се дохватили делови или алати потребни у процесу.

Профит предузећа представља разлика између продајне цене и припадајућих трошкова, при чему продајну цену најчешће одређује само тржиште односно понуда и тражња за одређеним производом. Уколико се цена производа позиционира превисоко, купци ће отићи код конкуренције, уколико се са друге стране позиционира прениско, производ може бити процењен као производ са мањом вредношћу и опет се може изгубити купац. На крају се може закључити да је једини начин да се повећа профит рад на смањењу трошкова односно елиминација свих врста губитака у процесу.

Уз повећање профита, смањење губитака у процесу доводи до повећања задовољства купца испорученим производима и услугама кроз повећање тачности времена испоруке, достизања врхунског квалитета и формирања праве цене производа.

3.7 Активности и стубови ТПМ-а

Основне ТПМ активности допуњене са две нове активности наведене у претходном поглављу представљају такозване стубове ТПМ система континуалног унапређења. Оне могу бити примењене у изворном облику (слика 3.3), свака од њих, али није ни погрешно ако се оне примене и на други начин, прилагођено предузећу које се одлучило на имплементацију. У неким предузећима је на пример већа пажња усмерена на област безбедности и здравља на раду, па је у складу са тим и оформљена независна активност, управљање безбедношћу, као девета активност.



Слика 3.3 Активности – стубови ТПМ-а

Фокусирано унапређење – Представља скуп активности усмерених на елиминацију губитака везаних за ефикасност производне опреме (кратки застоји, време промене алата или производа, губитак у брзини опреме, итд.), производног шкарта насталог у току процеса производње, продуктивност запослених у производном процесу, флексибилност производних процеса као и трошкова производње (Sachit 2014).

Све активности везане за прикупљање података о губицима, анализу губитака, постављање циљева за унапређење као и избор стратегије и адекватних алата за елиминацију губитака изводи тим састављен од чланова из различитих служби у предузећу. Пре свега у тиму се морају наћи представници одељења производње, затим планирања производње и на крају одржавања.

Стратегија тима се разликује у зависности од типа губитака. Уколико су губици спорадични, врше се појединачне анализе губитака, док је код хроничних губитака

приступ другачији. Огледа се у формирању новог специјализованог тима састављеног од групе оператера и супервизора производње који примењују једну од каизен методологија како би дошли до узрока проблема и дефинисали корективне акције као и стандарде за даље унапређење процеса у циљу елиминације проблема.

Веома важан сегмент рада овога стуба ТПМ-а јесте и обезбеђивање одрживости постављеног система кроз такозвани ДМС (енгл. Daily Management System), који обухвата систематизован начин прикупљања информација и праћења постигнутих стандарда као и дефинисања корективних мера на нивоу производне линије као и на нивоу ширег менаџмента.

Аутономно одржавање – једна је од кључних активности, односно стубова ТПМ-а. Кључни чиниоци ове активности јесу оператери односно руковоаци опремом (Chen 2013). Аутономно одржавање има задатак да у процес одржавања опреме и њено задржавање у базном стању укључи све оператере а да специјализовану службу одржавања користи за даље унапређење процеса и опреме као и знања самих оператера. Одређени елементи одржавања где је потребно специјализовано, стручно знање, остају и даље у надлежности Службе одржавања.

Цео процес унапређења подељен је у седам корака. Континуитет и успех програма се обезбеђују редовним системом контролних састанака на којима се утврђује ниво постигнутих резултата, стандарда као и њихова одрживост. У почетним корацима методологије оператери се упознају са вештинама откривања аномалија на опреми и њиховом евиденцијом. Спроводи се такозвано чишћење машине. Циљ овога процеса није да машина буде лепа већ да се у току чишћења открију аномалије као што су цурења уља, претерано подмазивање или недостатак подмазивања, механичка оштећења покретних и клизних елемената, одвијени завртњи и слично. У наредним корацима се спроводи темељна обука оператера из области вештина одржавања као што су подмазивање, хидраулика, пнеуматика, вијчани спојеви, преносници и други са циљем бољег упознавања оператера са функционисањем појединих делова и склопова и њиховим утицајем на безбедност, квалитет и ефикасност. Дефинишу се стандарди чишћења, подмазивања и инспекције.

Оператери временом преузимају власништво над опремом и еволуирају поредећи се са традиционалним руковоацем машине (Narendiranath 2016). Даљим унапређивањем знања почињу да разумевају и сам процес као и утицај процесних параметара на квалитет. Све наведене активности имају као резултат унапређење радног окружења оператера, значајно смањење броја отказа опреме као и технолошких застоја. Оператери постају задовољнији и њихова мотивација се повећава. То омогућава даља унапређења времена измене алата или производа, унапређење ергономије и на крају унапређење целокупног процеса производње.

Аутономно одржавање полако прелази у аутономни менаџмент и оператер више није само руковалац машином, већ неко ко управља процесом (Rodrigues & Hatakeyama 2006).

Планирано одржавање – има задатак да кроз примену корективног, превентивног и предиктивног одржавања елиминише отказе на опреми. Тим одговоран за унапређење састављен је превасходно од чланова Службе одржавања. На челу тима се мора налазити особа одговорна за организацију службе у предузећу док чланови могу бити како инжењери тако и техничари одржавања. Методологија има шест основних корака који по принципу бесконачне петље имају задатак да прикупе податке о отказима, доведу опрему у базно стање, унапреде постојећи систем превентивног одржавања, успоставе систем предиктивног одржавања и даље одржавају постигнуто.

Кључни индикатори успеха програма јесу просечно време између два отказа (енгл. MTBF – Mean Time Between Failure), просечно време трајања отказа (енгл. MDT – Mean Down Time) и трошкови одржавања опреме.

Избор стратегије унапређења за одређену опрему зависи од класификације опреме и тренутног броја отказа. Класификација опреме се врши у три категорије у зависности од утицаја опреме на безбедност, квалитет, утицаја на ток процеса производње, тренутни број отказа као и просечно трајање отказа у тренутним условима. За хроничне отказе примењује се KAIZEN приступ (Prabhuswamy et al. 2013) и њихова елиминација уз помоћ специјализованог тима, док се спорадични откази анализирају уз помоћ FMECA (енгл. Failure Mode Effect Criticality Analyses) анализе, чији је задатак да превентивно елиминише отказ. Даље унапређење система одржавања, када је већ постигнут мали ниво отказа, врши се помоћу RCM (енгл. Reliability Centered Maintenance) методе чији је задатак не само да елиминише отказе већ и да оптимизује трошкове одржавања. Поред горе наведеног, задатак планираног одржавања јесте и да даје подршку осталим стубовима ТПМ-а у имплементацији, а пре свега аутономном одржавању кроз обуку оператера и преношење специфичних знања као и решавање уочених аномалија на опреми и унапређење пројектованог стања опреме. Више о свим активностима планираног одржавања као и о стратегији и методама рада биће речено у наредном поглављу ове дисертације.

Обука – има задатак да на систематичан начин унапређује знање запослених. Почиње се са идентификацијом вештина потребних да би се стратегија предузећа остварила након чега се успоставља веза губитака и потребних вештина за њихову елиминацију. Дефинише се план обуке и систематично се приступа самој обуци. Веома важан сегмент обуке јесте развој самих извођача обуке као и материјала потребног за обуку. Обука мора обезбедити како теоријски део тако и практични део едукације. Након обуке мора се извршити евалуација стечених знања, евалуација извођача обуке и

материјала за обуку како би се материјал и предавач унапредили. Сам процес унапређења знања запослених почиње од саме регрутације новозапослених са правим избором профила кандидата потребног за одређену позицију након чега следи и систематична обука. Обука свих запослених се може поделити у три групе вештина, односно знања: оперативне вештине, знања везана за систем континуалног унапређења и такозване мекане вештине (енгл. soft skills). За унапређење оперативних знања и вештина неопходно је поред квалитетног предавача и материјала за обуку развити квалитетне моделе на којима се могу симулирати одређене појаве и кретања на опреми. На овај начин се оперативне вештине квалитетније усвајају и постиже се бољи резултат обуке. Веома је важно успоставити адекватан простор у коме се може изводити обука на прави начин. Овај простор је намењен искључиво извођењу обуке и мора имати све техничке услове за то. Велики део оперативне обуке мора бити усмерен на обуку о безбедности и здрављу на раду, узимајући у обзир да су за безбедност запослених најодговорнији сами запослени а обука ће им помоћи да сагледају све опасности у свом радном окружењу као и могућност да применом ТПМ алата унапреде своју безбедност.

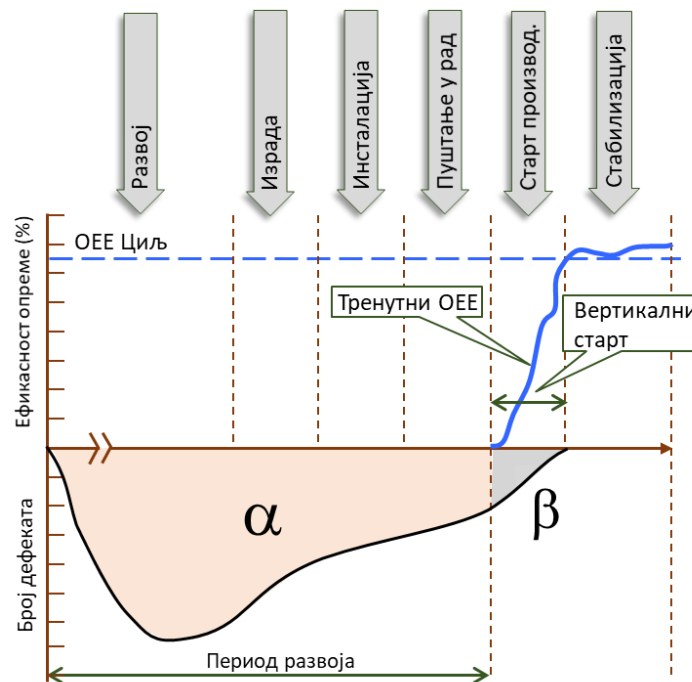
Још један важан сегмент обуке јесте усмерен ка елиминацији људских оперативних грешака које проузрокују губитке у ефикасности и у производњи дефектног материјала или делова. Овде се мора тежити елиминацији самог узрока људске грешке односно минимизирањем услова да она настане. Можда је и најефикаснији пут развој система за онемогућавање грешке, односно пока-јока (енгл. РОКА YOKE) система.

Још једна важна улога овога стуба ТПМ-а јесте развој оператера способних да раде на више позиција, односно да изводе више операција. На овај начин предузеће може адекватно вршити расподелу радне снаге сходно потребама производње а сами оператери бивају задовољнији јер се њихова знања и вештине унапређују као и њихова улога у самој организацији.

Рано управљање – обухвата активности управљања пројектима који имају као коначни циљ нови производ или нову опрему. Оно представља једну од основних ТПМ активности имајући у виду да ако је производ лоше развијен или опрема лоше пројектована неће бити могуће остварити висок степен квалитета и мали број отказа а сам процес ће бити нестабилан. Можемо рећи да је циљ ове активности да брзо и економично развије производе који су једноставни за израду као и опрему која је једноставна за употребу и одржавање (Suzuki 1994).

Основни показатељ успешности пројекта јесте мера под називом „вертикални старт“. Она представља време за које, на пример нова опрема, оствари пројектовани ниво ефикасности уз постигнутих нула повреда, нула отказа као и друге циљане параметре. Успешност вертикалног старта мери се односом $\alpha/(\alpha+\beta)$ (слика 3.4). Уколико је

вредност коефицијента већа од 0,9, пројекат се сматра успешним. Са α се мере сви проблеми идентификовани у развојној фази нове опреме док се са β означавају сви проблеми настали у току иницијалне производње. Крајњи циљ јесте да се кроз успешан развој, израду, инсталацију и пуштање у рад елиминишу сви потенцијални проблеми како би се остварио вертикални старт.



Слика 3.4 Фазе развоја нове опреме

Веома важну улогу у постављању одрживог система има правилно постављање МП система (енгл. Maintenance Prevention System). Он има задатак да обухвати целокупан животни век опреме или производа, забележи недостатке и могућа унапређења и обезбеди да се у развоју нове генерације опреме или производа дизајнира и произведе нова опрема или производ која не само да је унапређена већ је и ослобођена недостатака претходне опреме или производа. Идеје за унапређења се добијају од свих стубова ТПМ-а на основу прикупљања података о губицима и њиховом анализом док се коришћењем ДР система (енгл. Design review system) обезбеђује да се неки од корака не прескочи као и да свака фаза пројекта има свој верификациони део.

Управљање квалитетом – јесте активност која има задатак да кроз континуално унапређење процеса управљања квалитетом оствари циљ од нула дефеката. Цео процес се састоји из шест корака.

Први корак обухвата прикупљање и анализу губитака како би се дефинисали приоритети на којима ће се даље радити. У другом кораку циљ је поново успоставити тренутно важећи систем квалитета са посебним освртом на четири основне категорије, човека, машину, метод и материјал. Затим следи трећи корак са циљем унапређења

тренутног система кроз елиминацију хроничних дефеката применом каизен алата. У четвртном кораку се постављају основе система за нула дефеката и креће се са елиминацијом спорадичних губитака. Пети корак има задатак да даље унапреди систем за нула дефеката док се у шестом кораку тај успостављени систем одржава.

Основу горе наведеног система представља успостављање К матрица (енгл. Q matrix) које повезују дефекте са четири основне категорије, методом, материјалом, човеком и машином као и успостављање услова за постизање нула дефеката. Ови услови се дефинишу за кључне параметре опреме од којих непосредно зависи квалитет производа.

Унапређење администрације – ове активности имају важну улогу у пружању подршке производним активностима. Њихов циљ је унапређење помоћних процеса у циљу правовременог добијања тачних информација које подржавају процес доношења пословних одлука (Nihar et al. 2005). Такође се унапређују и њихова ефикасност и пословна култура. Целокупан рад овога стуба ТПМ-а може се поделити у три групе: повећање ефикасности применом 5С концепта (енгл. 5S), унапређење пословних процеса кроз њихову структурну анализу и на крају увођење аутономног одржавања у административне функције (Jасаа et al. 2014).

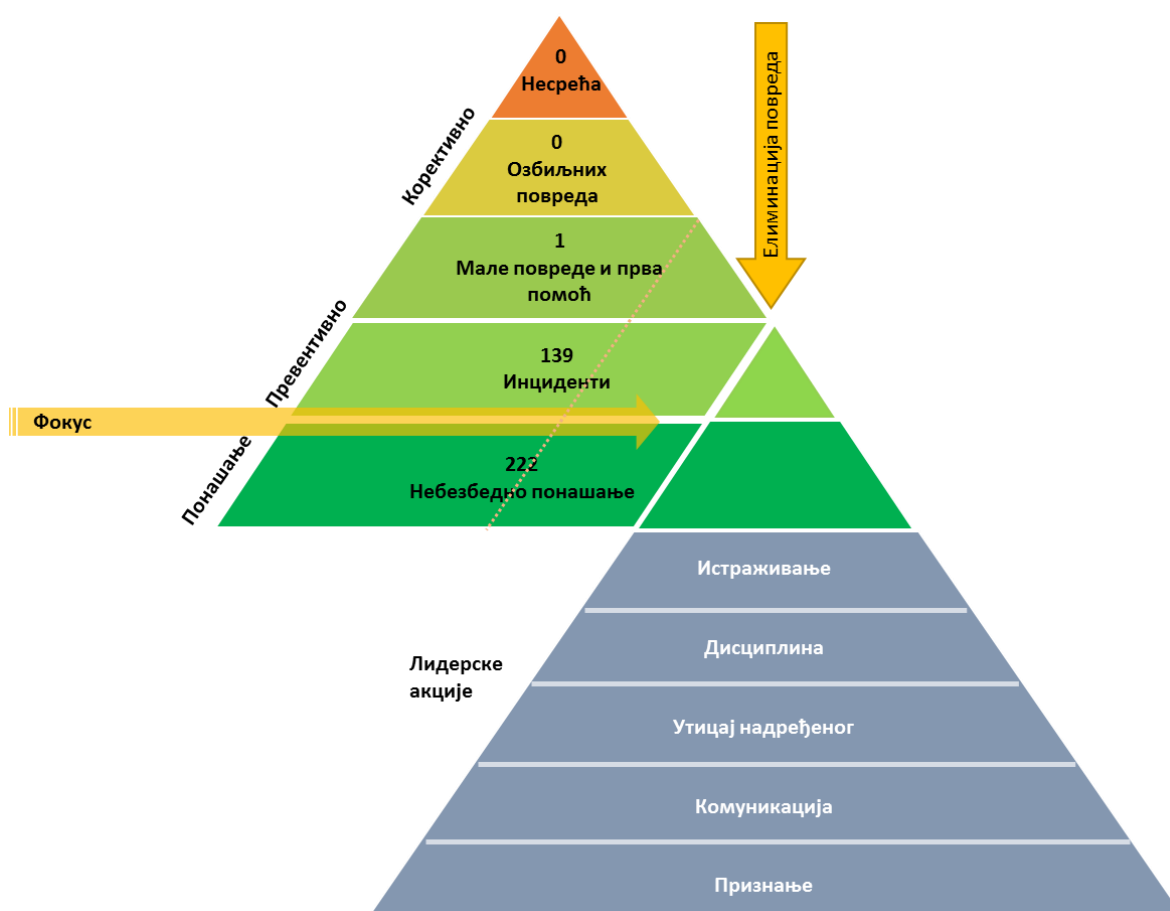
Концепт 5С базиран је на принципу пет јапанских речи које почињу словом С и за циљ имају сређено и уредно радно место организовано на начин да је потребан минимум времена за проналажење неког предмета или информације. Све је заокружено дисциплином у спровођењу стандарда, што обезбеђује дугорочно постизање резултата.

Анализом пословних процеса утврђују се губици у самим процесима и применом алата као што је Макигами анализа идентификовани губици се елиминишу. На овај начин се пословни процеси поједностављују, смањује се време потребно за доношење одлука и извршавање појединих активности, смањује се и број потребних извршилаца тако да на крају имамо изразито ефикасан пословни процес.

Систем аутономног управљања у административним функцијама представља континуални процес унапређења визуелног менаџмента, ергономије, знања и вештина запослених у административним функцијама као и успостављање самоодрживог система кроз ДМС (енгл. Daily management System – DMS). ДМС има за задатак да кроз свакодневно праћење постигнутих резултата и девијација у стандардима обезбеди кориговање и унапређење постојећих стандарда у циљу унапређења ефикасности и ефективности рада административних функција.

Управљање безбедношћу и животном средином – безбедност на раду као и смањење утицаја на животну средину јесу, слободно могу рећи, фокус ТПМ активности. Све активности које предузимамо можемо поделити у три групе: корективне, превентивне и унапређење понашања запослених.

Корективне активности обухватају анализе свих видова повреда. На једну повреду долази и до сто четрдесет инцидентних активности на које се мора деловати превентивно како не би прерасле у повреду. У превентивне активности убрајамо забележене случајеве у којима је за мало дошло до повреде (енглески Near miss), као и пријављене аномалије које потенцијално могу довести до повреде, (енглески Safety tag). Кључну улогу у унапређењу безбедности на раду има утицај на свест запослених и њихово понашање. Дисциплина, комуникација и укључивање свих запослених у решавање проблема безбедности на раду јесу кључ успеха и остваривања нула повреда у производном окружењу. Сваки запослени је пре свега одговоран за своју безбедност док је компанија одговорна да обезбеди безбедну опрему за рад и безбедно радно окружење. Све наведено се може сликовито приказати као на слици 3.5.



Слика 3.5 Пирамида унапређења безбедности и здравља на раду

Иновативни ТПМ представља активност која се матрично простире кроз све стубове ТПМ-а са циљем унапређене конкурентности целе организације. Иновативни приступ је неопходан како би се традиционални приступ додатно унапредио и како би се подстакао даљи развој и унапређење организације. Он се примењује када је организација већ успела да се нађе у напредним ТПМ нивоима и када је већина хроничних губитака елиминисана као и добар део спорадичних. Само достизање нуле сматра се иновацијом за себе.

Иновације су неопходне како у сегменту нових производа, тако и у сегменту унапређења опреме и пословних процеса. У овој фази ТПМ-а се не инсистира на доследном спровођењу традиционалних ТПМ алата, већ је дозвољена њихова модификација и адаптација сходно новим изазовима са којима се организација сусреће на путу ка нула губитака. Иновација мора бити препозната од руководства предузећа као важан алат у повећању опште конкурентности на тржишту а сви запослени морају бити стимулисани да иновирају у домену свога деловања.

Креативност јесте следећи корак у иновативном ТПМ-у који има задатак да вредности које су створене применом ТПМ алата не остану само власништво и бенефит једне организације, већ да од ње имају користи сви елементи друштва. Кроз креативност се промовишу такозване праве вредности, односно унапређења која имају за циљ развој нових технологија, нових производних процеса, нових пословних процеса, развој шире друштвене заједнице и подршку поколењима која долазе после нас. Важан сегмент креативног ТПМ-а јесте друштвена одговорност која се огледа у подршци коју једна организација даје друштвеној заједници у којој се налази као и у заоставштини коју оставља друштвеној заједници за будућност. Вредности нула губитака које промовише ТПМ могу се применити на губитке односно проблеме нашега друштва, као на пример проблеми везани за заштиту животне средине, чијом елиминацијом, уз примену ТПМ алата, корист има цела планета. Овај сегмент ТПМ-а може појединцима деловати као утопија због своје широке области деловања. Међутим, ако пођемо од претпоставке да велики број компанија примењује ТПМ и успе да се нађе у напредним корацима ТПМ-а, допринос креативних активности свих тих компанија друштву постаје изразито велики и немерљив данашњим вредностима.

3.8 Мерење успешности ТПМ имплементације

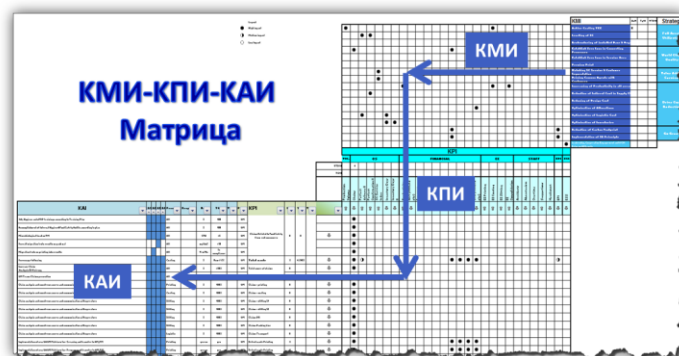
Како би се могли измерити бенефити ТПМ програма пре свега се мора успоставити систем за прикупљање података, на основу њега измерити полазно стање, односно тренутни резултати организације, извршити избор показатеља пословања и након тога поставити жељени циљеви имплементације у свим аспектима пословања обухваћеним програмом (Murata & Katayama 2009).

Систем прикупљања података може бити организован на начин најједноставнијег записивања остварених параметара који се прате а у напреднијим организацијама и у потпуности аутоматизован повезивањем компјутерских система за праћење пословања са производном опремом (Aleksić et al. 2013). И најједноставнији систем може бити довољно ефикасан уколико је у потпуности прихваћен у организацији и уколико се сви постављени стандарди прикупљања података поштују (Maté et al. 2015).

Веома важан корак у мерењу бенефита ТПМ имплементације представља избор адекватних показатеља пословања које желимо да унапредимо. Различити организациони нивои имају и различите показатеље пословања и можемо их поделити у три групе:

- Кључни индикатори менаџмента (енгл. Key Management Indicators – KMI)
- Кључни индикатори перформанси (енгл. Key Performance Indicators – KPI)
- Кључни индикатори активности (енгл. Key Activity Indicators – KAI)

Веома је важна веза између три групе индикатора које као крајњи циљ имају повезивање стратегије предузећа са конкретним активностима које спроводе сви запослени на унапређењу пословања. Најбољи пример повезивања стратегије предузећа са кључним активностима коришћењем већ наведених индикатора јесте КМИ-КПИ-КАИ матрица. Коришћењем овог визуелног алата сваки запослени може видети како његове активности доприносе унапређењу резултата компаније и на крају остваривању постављене стратегије предузећа. Пример једне овакве матрице дат је на слици 3.6.



Слика 3.6 Пример визуелизације везе између стратегије предузећа и кључних активности за унапређење пословања

Као пример наводи се један КМИ и њему адекватне КПИ и КАИ како би се показали принципи избора индикатора.

Полазећи од стратегије предузећа, претпоставимо да је један од стратешких циљева унапређење финансијске стабилности предузећа. Као адекватан КМИ мора се изабрати мерљив индикатор и то ће бити остварени профит у току једног месеца. Затим ће се поставити адекватне КПИ које доводе до унапређења профита, на пример ефикасност производне опреме. На крају процеса ће дефинисати кључне активности које ће довести до унапређења ефикасности, на пример смањење времена потребног да се пређе са једног типа производа на други. На овај начин полазећи сада уназад од КАИ, радници у производњи могу мерити своје активности на конкретној опреми за коју су одговорни и на тај начин допринети унапређењу ефикасности целе линије или погона за који је одговоран ниво средњег менаџмента, пратећи своје КПИ. Унапређењем ефикасности погона унапредиће се и профит компаније и на тај начин ће бити испуњени и КМИ које прати Управни одбор, односно власник предузећа.

Изабрани индикатори морају једнозначно и јасно осликавати резултат одређене активности и морају бити тако изабрани да на фер начин евалуирају постигнуте резултате. Такође, постављени индикатори представљају и дефинишу приоритете организације, једнозначно усмеравајући све запослене у предузећу ка заједничком циљу.

Свако одељење, односно сваки стуб ТПМ-а, мора поставити своје индивидуалне циљеве како би се могли измерити остварени резултати. Генерално све индикаторе можемо поделити у седам група, односно типова:

- Безбедност
- Продуктивност
- Квалитет производа
- Трошкови
- Квалитет испорука
- Утицаји на животну средину
- Морал запослених

Све до сада речено припада групи мерљивих ТПМ бенефита који се могу бројчано измерити, односно квантификовати. Са друге стране, ТПМ има и велики број немерљивих бенефита који такође доприносе успеху предузећа и свих запослених и не смеју се заборавити. То су пре свега унапређена сарадња између запослених на свим нивоима, повећан ниво мотивације свих запослених, знатно унапређен ниво знања оператера и средњег менаџмента, безбедно и ергономско радно место, елиминација професионалних обољења оператера, и тако даље.

3.9 Истраживање унапређења пословања коришћењем ТПМ филозофије у интернационалној компанији

Да би компаније остале конкурентне неопходно је да континуално унапређују ефективност и ефикасност својих производних метода (Aspinwall & Elgharib 2013).

Фокус овога истраживања јесте да проучи пример успешне имплементације концепта континуалног управљања ТПМ-а у Србији, да проучи остварене резултате као и да опише проблеме са којима се предузеће може сусрести у току имплементације ТПМ-а. Успешна имплементација ТПМ-а зависи од низа фактора, као што су култура међусобног поверења, прихватање радника у производњи да буду одговорни за своје машине и обучени припадници Службе одржавања и вешти у примени метода одржавања (Albert et al. 2000). Како наведене факторе није уобичајено пронаћи у предузећима у Србији, ово истраживање има свој значај.

Методологија која је примењена у истраживању обухвата анализу научних радова из области примене ТПМ-а у предузећима широм света, избора предузећа које ће бити кориштено као модел за истраживање, дефинисања области на које се истраживање фокусира (ефикасност, квалитет, одржавање), организовање посете модел предузећу и сумирање и обраду прикупљених података. Овај приступ је направљен на основу истраживања спроведених у (Aspinwall & Elgharib 2013; Ahuja & Kumar 2009; Albert et al. 2000; Sun et al. 2003; Ireland & Dale 2001; Chetan et al. 2015).

У литератури налазимо више примера успешне имплементације ТПМ-а у предузећима широм света. На пример, (Aspinwall & Elgharib 2013) обухвата анализу имплементације у четири предузећа у Великој Британији која имају 250 запослених или више јер се сматра да је имплементација у већим системима склонија успеху. Истраживање (Ahuja & Kumar 2009) обухвата анализу имплементације ТПМ-а у ваљаоници цеви Тата челичне цеви у Индији. Истраживање (Albert et al. 2000) обухвата анализу предузећа које се бави прецизном обрадом машинских делова у Кини, област Хонгконг. Истраживање (Sun et al. 2003) обухвата такође предузеће из Хонгконга. Истраживање (Ireland & Dale 2001) обухвата анализу имплементације у три предузећа у Великој Британији. Оно што је заједничко за сва ова предузећа јесте чињеница да су остварила изузетне резултате у повећању ефективности и ефикасности својих производних процеса захваљујући имплементацији ТПМ-а. Недостатак ових истраживања огледа се у чињеници да су предузећа обрађена у истраживањима доспела до почетних нивоа имплементације према ЈИПМ и освојила награде из почетних корака имплементације а нека од њих још увек нису сертифицирана од стране ЈИПМ-а. У литератури такође налазимо и примере не тако успешне имплементације ТПМ-а. Истраживање (Alsyouf 2009) описује примену ТПМ-а у Шведској индустрији у предузећима са минимално 100 запослених. Ово истраживање је закључило да улога одржавања није на прави начин

препозната и предлаже нови концепт имплементације ТПМ-а базиран на принципима РЦМ-а. Истраживање (Graisa & Al-Habaibeh 2011) истражује примену ТПМ-а у четири фабрике цемента у Либији.

Критеријум успеха у имплементацији ТПМ-а према (Aspinwall & Elgharib 2013) обухвата следеће: подршку највишег менаџмента, укљученост свих запослених у програм континуалног унапређења, развој тимова, образовање и тренинг запослених, размену искустава са другим предузећима (бенчмаркинг), стратешко планирање и задовољство запослених. Наведени критеријуми имају свој недостатак јер није укључен критеријум иновативности, креативности и друштвене одговорности на коме ЈИПМ инсистира у напредним корацима имплементације ТПМ-а. Истраживање је показало недостатак стратегије у спровођењу ТПМ-а, недостатак обуке запослених, недостатак подршке вишег менаџмента као и недостатак мотивације радника.

Из свега наведеног, а пре свега из наведених недостатака анализираних литературе, уочава се потреба за истраживањем успешне примене ТПМ концепта посматрањем предузећа које је стигло до највишег степена ЈИПМ награде, Награде светске класе. Узимајући у обзир да на целом свету постоји само 15 предузећа која су у периоду од 1971. до 2015. остварила овај успех, то значај овог истраживања чини још већим.

За истраживање је изабрано предузеће компаније Тетра Пак које послује у Горњем Милановцу, у Србији. Ово предузеће је 2005. године добило ЈИПМ награду за изврност као прву од пет награда за успешну имплементацију ТПМ-а. Године 2015. ово предузеће је добило Награду светске класе као петнаесто предузеће у свету и прво у оквиру групације Тетра Пак. Истраживање је спроведено у периоду децембар 2015 – август 2016. године.

Компанија Тетра Пак спроводи имплементацију програма ТПМ у својих четрдесет фабрика широм света.



Слика 3.7 Фазе имплементације ТПМ-а у Тетра Паку

Тетра Пак је компанија 100% у приватном власништву, специјализована за производњу опреме за прераду и паковање течне хране као и материјала за паковање течне хране базираног на картону као обновљивој сировини. Компанија има више од двадесет три хиљаде запослених широм света и поседује преко четрдесет производних фабрика од којих тридесет производи материјал за паковање. Ове фабрике имају од сто до три стотине запослених и спадају у групу великих предузећа, узимајући у обзир обрт новчаних средстава. Имплементација ТПМ-а у пилот-фабрикама започела је 1999. године, а већ 2002. програм је широко распрострањен и започето је са применом у свих четрдесет фабрика.

Карактеристике фабрика које су производиле материјал за паковање пре почетка имплементације биле су следеће:

- Фабрикама се управљало искључиво са техничког аспекта, знање о процесу и опреми је углавном било у поседу директора фабрике и топ менаџмента док је остатак организације извршавао задатке,
- Унапређење продуктивности је долазило кроз инвестиције у нову опрему,
- Свака фабрика је имала своје циљеве и свој развојни пут, није постојала шира слика,
- Постојао је снажан такмичарски дух између фабрика који је онемогућавао размену унапређења.

Имплементација ТПМ програма имала је следеће кораке:

- Усвојени су заједнички циљеви за целу компанију као и за све фабрике појединачно,
- Успостављен је систем Кључних индикатора перформанси (енгл. KPI) као и систем мерења резултата. Уведени су редовни састанци менаџмента на којима се дискутовало о степену испуњености резултата,
- Одлука менаџмента да примени ТПМ систем је свима саопштена,
- Организоване су обуке за запослене како би ТПМ програм био прихваћен од стране свих запослених,
- Примењен је принцип „ако га не можеш променити, замени га“,
- Добијена је апсолутна подршка од свих нивоа менаџмента, јер један проценат сумње у успех код менаџмента резултује са педесет процената сумње код оператера,
- Методологија је примењена без одступања и изузетака,
- Сви запослени су укључени у ТПМ програм,
- Поред интерне контроле и вођења програма успостављен је и екстерни систем провере коришћењем Јапанског института за управљање фабрикама (енгл. JIPM).

Доследна примена ТПМ-а према горе наведеним принципима дала је изузетне резултате у погледу повећања продуктивности, унапређења безбедности и здравља на раду, смањења броја рекламација, повећања задовољства купаца, повећања задовољства запослених и на крају смањења трошкова односно повећања профита.

Као пример унапређења резултата на глобалном, компанијском нивоу, можемо видети да је укупан шкарт смањен за 59%, док је укупан број рекламација купаца смањен 79% у периоду од дванаест година. У истом периоду је компанија стигла до прве ЈИПМ награде као екстерног признања за успешну и доследну имплементацију ТПМ-а и постигнуте резултате. Фабрика у Горњем Милановцу у Србији је прва из групе награђена Наградом светске класе (енгл. JIPM World class award), не само као прва у Тетра Паку, већ као прва фабрика у индустрији паковања за храну и једна од петнаест фабрика у свету које су дошле до највишег нивоа.

Ово истраживање има за циљ да прикаже допринос ТПМ методологије унапређењу производних процеса у предузећу које се налази у земљи у развоју као што је Србија. Оно показује да стратешки приступ имплементацији ТПМ-а може допринети значајном унапређењу резултата пословања, што на крају резултира унапређеном конкурентношћу на светском тржишту.

Тетра Пак Горњи Милановац је постао део Тетра Пак групе 1997. године. У финансијској 2014. години остварен је обрт од сто педесет милиона евра, а фабрика је постала један од десет највећих извозника у Републици Србији. Предузеће производи вишеслојну штампану амбалажу за паковање течне хране (млеко, сок, парадајз, сир, супе и слично). Основу амбалаже сачињава папир-картон коме се у процесу прераде додају алуминијумска фолија са задатком спречавања продора светлости у пакет као и полиетилен који има својство да заштити картон од течности у пакету као и од спољних утицаја када је пакет напуњен. Цео производни процес се састоји од три основна корака. Предузеће послује у систему четворосменског рада седам дана у недељи.

У првом кораку на папиру штампа слика производа коришћењем флексо-технологије високе штампе. Клишеи за флексо-штампу се такође производе у оквиру фабрике у Горњем Милановцу. Штампа се спроводи на производној линији која поседује седам штампарских јединица, што омогућава штампу од седам различитих боја. У току процеса штампе на папир се наноси једна по једна боја и наизменично врши сушење. Цео процес је континуалан јер се штампа једног производног налога не прекида при промени ролне, већ се ролне аутоматизованим системом настављају једна на другу, како на почетку, тако и на крају производног процеса. Узимајући у обзир да се процес штампе изводи при брзини од 600 м/мин. као и чињеницу да се линија састоји од великог броја машина које су међусобно повезане у низ дугачак преко педесет метара, присутан је висок степен аутоматизације. Машину опслужује пет радника. Предузеће поседује две описане линије.

У другом кораку производног процеса на одштампани папир се у три под корака додају алуминијумска фолија дебљине шест или девет микрометара и полиетилен. Прво се коришћењем полиетилена као везива спајају папир и алуминијумска фолија, затим се алуминијумска фолија пресвлачи са два слоја полиетилена која долазе у додир са течном храном која се пакује у амбалажни материјал и на крају се одштампана страна папира пресвлачи полиетиленом како би се заштитила од спољашњих утицаја. Линија на којој се обављају наведени процеси назива се ламинатор. Линија се састоји од 29 машина које су повезане у континуални процес и има дужину већу од 50 м. Линију опслужује пет радника у једној смени.

У трећем кораку производног процеса ламиниране ролне чија је ширина 1600 мм и пречник 1200 мм расечају се на мање ролне које ће бити испоручене крајњем купцу амбалаже. Овај део процеса се обавља на три машине за сечење. Сваку од њих опслужују по два радника. На крају процеса сечења ролне се пакују појединачно у термоскупљајућу фолију и групно слажу на палету. Технологија израде производа је власништво Тетра Пак групе и предузеће мора да обезбеди потпуно поштовање прописаних технолошких параметара како би се обезбедио највиши степен квалитета готовог производа.

Предузеће поседује ИСО 9001, ИСО 14001, ИСО 18001 и ИСО 5001 стандарде. Такође поседује и БРЦ ИоП сертификат који је пандан ХЦЦП сертификату као и FDA сертификат издат од стране Бироа за безбедност хране Сједињених Америчких Држава. Предузеће је сертифициковано и ФСЦ сертификатом који обезбеђује да папир који се користи у производном процесу буде набављен искључиво из шума којима се одговорно управља.

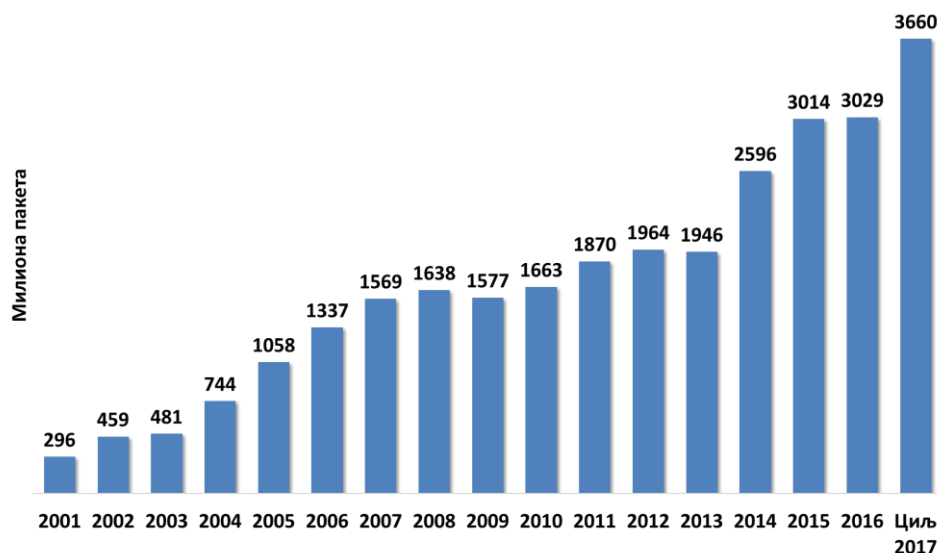
Предузеће тренутно производи три милијарде пакета годишње, што представља повећање од 10 пута у поређењу са 2001. годином, када је започета имплементација ТПМ-а у предузећу. Да би предузеће постало произвођач амбалаже светске класе, започело је са имплементацијом ТПМ програма 2001. године. Разлог за имплементацију јесте повећање ефикасности и ефективности производних процеса као и целокупног пословања. Разлоге имплементације можемо поделити у две групе: екстерне и интерне.

Екстерни су:

- Притисак конкуренције,
- Захтеви за вишим нивоом квалитета производа,
- Захтеви за унапређењем ланца снабдевања,
- Захтеви за иновацијама у области нових производа и услуга.

Интерни су:

- Ниска продуктивност производних процеса,
- Низак ниво безбедности на раду,
- Високи производни трошкови,
- Ниска искоришћеност производних капацитета.



Слика 3.8 Повећање обима производње по годинама

Као стратешки циљеви имплементације постављени су:

- Унапређење задовољства купаца,
- Конкурентност производних трошкова у односу на друга предузећа у групацији и конкуренцију,
- Максимално искоришћење расположивих ресурса,
- Унапређење безбедности и здравља на раду,
- Унапређење задовољства запослених,
- Имплементација ТПМ-а на нивоу светске класе.

Дефинисани су и кључни индикатори перформанси као што су: Продуктивност, ОЕЕ у главним производним процесима, Производни шкарт, Број рекламација купаца, Висина трошкова производње, Време испоруке готове робе купцима, Број дана готових производа на стању у магацину, Број повреда, Број ОПЛ, Број цедуљица, Број тимова и укупно време одржаних тренинга. Како би се систем имплементације ТПМ учинио систематским и дугорочно мерљивим, циљеви за све наведене кључне индикаторе перформанси су постављени за период од пет година.

Да би се разумело са којим резултатима се започиње имплементација ТПМ-а, морамо навести резултате из 2001. године. Предузеће је имало седамдесет два запослена, по

једну линију у сваком производном процесу и на нивоу једне године је производило две стотине деведесет шест милиона пакета. Ефикасност машине за штампу је била 27,8%, машине за ламинирање 34,5% док је производни шкарт износио 10,4%. У 2001. години предузеће је добило 32 рекламације купаца.

Оформљена је ТПМ канцеларија која је имала свог менаџера одговорног за имплементацију као и једног ТПМ координатора. Започело се са системом обука. ТПМ менаџер је присуствовао обуци заједно са осталим ТПМ менаџерима из групе која је спроведена од стране екстерног консултанта. Такође је обезбеђена и посета ТПМ менаџеру другим предузећима у оквиру групе која су своју имплементацију започела као пилот-предузећа у групи 1999. године. Након тога је обезбеђена и обука од стране интерних консултаната за све менаџере одељена у оквиру предузећа. Започета је пилот-фаза у којој је стартовано са четири каизен тима и једним пилот тимом аутономног одржавања. За пилот-машину изабрана је машина за сечење због мање комплексности.

У следећој фази која је започела 2002. године започето је са активностима основних стубова ТПМ-а. Дефинисани су лидери стубова као и чланови Аутономног одржавања, Унапређења квалитета, Фокусираног унапређења и Обуке. Примећује се одступање концепта од препорученог у литератури (Nakajima 1988) којом се препоручује стартовање Аутономног одржавања, Планираног одржавања, Обуке, Фокусираног унапређења и Раног управљања. Разлог за ово лежи у веома ограниченим ресурсима организације и малом броју образованих кадрова спремних да преузму лидерске позиције у новом систему организације. Лидери стубова ТПМ-а, ТПМ менаџер и директор предузећа оформили су ново управљачко тело фабрике. Године 2003. извршена је реорганизација Службе одржавања и омогућено је формирање ТПМ стуба Планирано одржавање и Управљање безбедношћу и животном средином. Тек 2004. године стартовано је са Раним управљањем као посебним стубом активности, а 2007. са стубом Унапређења администрације.

Нова организација је подразумевала да ново управљачко тело буде одговорно за дефинисање стратегије предузећа, праћење кључних индикатора перформанси предузећа и дефинисање приоритета у елиминацији губитака. Тимови основних стубова ТПМ-а су задужени за анализу губитака, планирање каизен тимова и развој и имплементацију ТПМ методологија. Док су каизен тимови одговорни за анализу губитака, предлагање и спровођење активности унапређења.

Како би се обезбедио континуални напредак у имплементацији ТПМ методологија уведени су интерни и екстерни аудити. Интерне аудите је спроводила ТПМ канцеларија док су екстерни аудити поверени ТПМ шампиону одређеном од стране Тетра Пак групе.

Други вид екстерног аудита који је имао за циљ екстерну сертификацију целог програма спровођен је од стране ЈИПМ института из Јапана као власника ТПМ

методологије. Предузеће у Горњем Милановцу је спровело 10 ЈИПМ аудита у периоду од 2005. до 2015. године. По пет припремних и пет финалних аудита. Аудитори су професори ЈИПМ-а са дугогодишњим искуством у имплементацији ТПМ филозофије. Предузеће је освојило следеће ЈИПМ награде:

- 2005. године - TPM Excellence Award
- 2008. године - TPM Consistency Award
- 2010. године - TPM Special Award
- 2012. године - TPM Advanced Special Award
- 2015. године - TPM World Class Award

Важно је напоменути да су као аудитори у предузећу боравили и професори Токатаро Сузуки и Мицуо Сакагучи као највећи промотери ТПМ-а у Јапану и у свету.

Резултати који су постигнути у периоду од 2001. године па до 2015. године су следећи:

- Обим производње је повећан десет пута,
- Број радника је повећан са седамдесет два на две стотине педесет,
- Продуктивност је унапређена три пута,
- Укупан шкарт је смањен за 63,5 %,
- Број рекламација смањен за 75%,
- Трошкови производње су смањени за 68,2%,
- Укљученост радника у ТПМ програм је 100%.

Поред мерљивих резултата постигнути су и значајни немерљиви резултати у погледу унапређења радног окружења у производном погону, знатно унапређеног задовољства запослених, унапређеног знања запослених и укључивања купаца и добављача у програм ТПМ-а. Предузеће се нашло пред великим изазовом 2011. године када је Тетра Пак група започела са имплементацијом нових производа које предузеће у Горњем Милановцу није могло да производи услед технолошких ограничења на линији за ламинирање. Истовремено су се од стране купаца појавили захтеви за напреднијом врстом штампе у односу на тренутни стандард као и одређени захтеви за унапређењем нивоа услуга у сегменту припреме дизајна за штампу. Како је предузеће производило ограничени портфолио производа и имало мали број запослених, већа инвестициона улагања од стране групе нису била планирана. Претило је затварање предузећа услед нових околности на тржишту. У том тренутку кључну улогу је одиграло предавање професора Сакагучија на тему иновативног и креативног ТПМ-а које је иницирало нов начин размишљања у организацији.

Категорија	Индикатор (јединица)		Степен унапређења у односу на 2001. годину					
			Excellence 2005.	Consistency 2008.	Special 2010.	Adv. special 2012.	World Class 2015.	
Производња	П	Производност (Милијарди пакета/Глави) Производња (Милијарди пакета) Број нових производа	↑	2,4 пута 3,5 пута + 7	2,5 пута 5,5 пута + 19	2,7 пута 5,6 пута + 44	2,8 пута 6,7 пута + 49	3 пута 10 пута + 137
Квалитет	К	Укупни шкарт(%) Рекламације купца (случајева/ Милијарди пакета.с)	↓	43 % 1/1,5	46 % 1/2	53 % 1/2	57 % 1/3	63,5 % 1/5
Трошкови	Т	Индекс трошкова (индекс)	↓	53,5 %	66,9 %	62,4 %	65,6 %	68,2 %
Испоруке	И	Време испоруке (дани)	↓	1/1	1/1	1/2	1/3	1/3
Безбедност	Б	Број повреда (случајева)	↓	5	3	2	1	0
Морал	М	Цедуљице решили оператери (%) Задовољство купца (апсолутна вредност %) (* - ново мерење)	↑	23 % НП	37 % 88 %	116 % 97 %	228 % 98 %	340 % * 93 %

Слика 3.9 Резултати имплементације ТПМ-а у фабрици Тетра Пак у Горњем Милановцу

Снага ТПМ-а је искоришћена као база за унапређење и прилагођавање захтевима тржишта. Значајну улогу је одиграо стуб раног управљања који је омогућио предузећу да искористи своје пуне капацитете у инжењерском кадру и изврши потпуну реконструкцију линије за ламинирање без подршке Тетра Пак групе и екстерних добављача. На овај начин трошак имплементације нове технологије је са процењених двадесет милиона евра смањен на пет милиона. Поред уштеде у новцу нови концепт је изазвао и реорганизацију централних функција задужених за развој и унапређење производних процеса усклађујући их са расположивим ресурсима у појединачним предузећима. Поред наведене реконструкције линије за ламинирање предузеће у Горњем Милановцу је заједно са колегама из централне групе за развој развило нову технику штампе базирану на флексо-технологији са визуелним ефектом премијум сегмента офсет-штампе. Овим пројектом добијена је знатна уштеда у производним трошковима а купцима је понуђен квалитетнији производ. За ову иновацију предузеће је награђено интерном наградом за иновацију. Ово унапређење би било немогуће имплементирати без учешћа стубова ТПМ-а као што су: Аутономно управљање, Фокусирамо унапређење, Обука и Унапређење квалитета. Наведена унапређења која излазе из оквира традиционалног ТПМ-а и спадају у нове категорије иновативног и креативног ТПМ-а омогућила су предузећу да опстане и додатно унапреди своје резултате пословања.

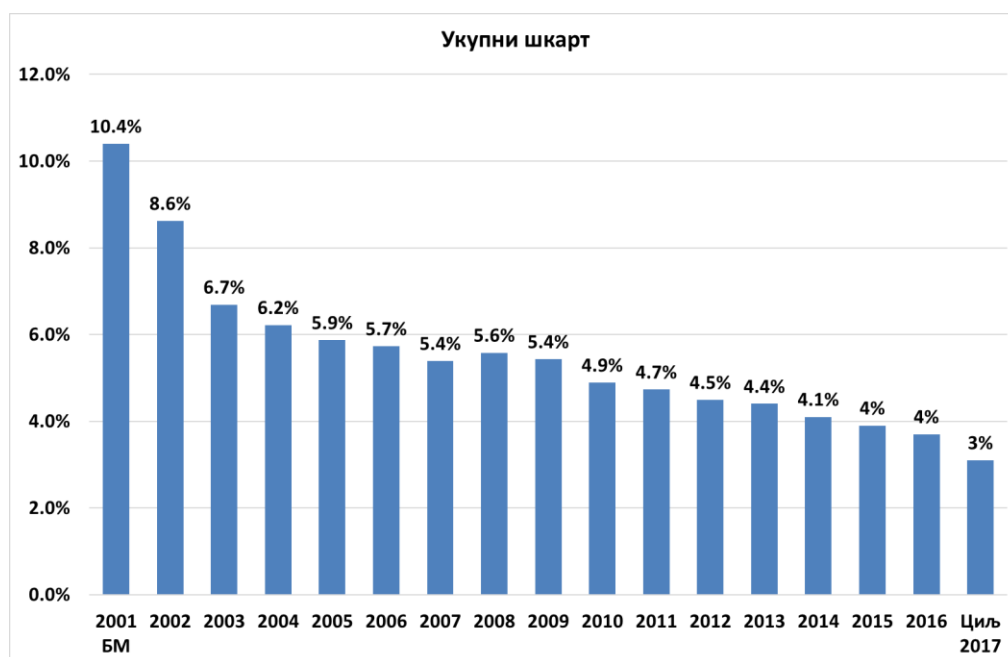
Још један важан сегмент ТПМ-а који мора бити препознат од стране аудитора у сертификацији за Награду светске класе јесте и сегмент друштвене одговорности. Овај сегмент је делом описан у истраживању (Lee et al. 2015) које обрађује овај проблем посматрајући два предузећа у Шведској. Важно је разумети да сва унапређења која у току примене ТПМ-а оствари неко предузеће не смеју имати искључиво и само утицај на то предузеће, већ морају помоћи и другим предузећима у групацији, добављачима

и купцима као и широј друштвеној заједници. Промоција и подршка заједници у спровођењу еколошких идеја, имплементација еколошких метода производње као и развој најмлађих чланова заједнице јесу примери добре друштвене одговорности. Преглед тренда основних кључних индикатора перформанси дат је на следећим дијаграмима:



Слика 3.10 Преглед ефикасности процеса ламинирања

У анализи дијаграма на слици 3.10 потребно је нагласити да је реконструкција производне линије извршена 2012. године. У оквиру реконструкције извршено је њено унапређење механичке брзине, што је за последицу имало и пад ефикасности услед задржаних технолошких ограничења у производњи одређене групе производа.



Слика 3.11 Преглед резултата укупног шкарта

При анализи дијаграма смањења шкарта потребно је нагласити да је ТПМ концепт омогућио константно смањење вредности шкарта и поред имплементације нових производа и нових производних технологија и ако се очекивало да оне имају негативан утицај. Правилна и потпуна имплементација ТПМ-а је те негативне ефекте елиминисала.



Слика 3.12 Преглед резултата индекса оперативних трошкова

Идентификовани су кључни елементи успеха имплементације ТПМ-а у предузећу у Горњем Милановцу: максимална подршка и посвећеност највишег менаџмента, руковођење личним примером, стопроцентна укљученост свих чланова организације, приступ нула губитака, филозофија елиминације губитака, стандардизација рада кроз примену ОПЛ система, филозофија превенције губитака, приступ сваком проблему на лицу места (јапански, гемба), обученост каизен тимова у примени ТПМ методологије и перманентна обука и развој свих запослених. Такође је истраживањем закључено да је ТПМ омогућио развој запослених, пословних и производних процеса и целе организације предузећа.

Препреке са којима се предузеће сусретало у неким фазама имплементације ТПМ-а су: стратегија предузећа је нејасна и није разумљива свим запосленима, недовољно дубоко разумевање проблема, неправилна примена методологије, постављени циљеви су недостижни, признања и награђивање запослених није адекватно постигнутом успеху, ТПМ није интегрисан у свакодневни посао већ се посматра као додатна активност, култура гашења пожара уместо систематског приступа, лоша комуникација и сумња у успех ТПМ програма. Уколико менаџер има сумњу у успех програма од 1%, радник ће имати сумњу од 50% и програм неће успети. У овом случају је неопходно применити правило „промени се или буди промењен“.

Као закључак, ово истраживање је показало да је могућа успешна имплементација ТПМ-а у земљама у развоју каква је Србија. Приказан је примењени концепт и показане су основне смернице имплементације. Истраживање је показало и да је ТПМ имао изузетан значај за унапређење резултата предузећа који свакако не би били достигнути са применом традиционалне организације и без примене метода континуалног унапређења. ТПМ је трансформисао организацију и на тај начин јој омогућио да се избори за свој опстанак на тржишту значајно унапређујући конкурентност. Истраживање је показало да је могуће спровести успешну имплементацију ТПМ-а чак и ако се у потпуности не испоштују принципи дефинисани у (Nakajima 1988) већ су дозвољене и одређене модификације. Ове модификације су настале као резултат недостатка људских ресурса у предузећу који би на адекватан начин у пуном обиму испратили принципе постављене у (Nakajima 1988). Из овога разлога се и појавила иницијатива обрађена у више научних радова да се за потребе МСП редукује и прилагоди ТПМ, што су донекле и успели аутори у истраживању (Baglee & Knowles 2010). Међутим, како је наведено у закључку поглавља 2.4 и овај нови предложени концепт има своје недостатке. Ту се налази место и простор за даље унапређење што представља тему ове дисертације.

4. Одржавање као основа ТПМ концепта

Индустријски сектор се суочава са великим изазовима и потребом за оптимизацијом свог пословања као и функције система одржавања услед континуираног унапређења технолошког нивоа производне опреме, глобалних изазова конкурентности, еколошких изазова и све виших стандарда безбедности и здравља на раду. Са повећањем нивоа аутоматизације производних процеса, они постају све више зависни од производне опреме а сами радници у производњи добијају нову улогу. Улога одржавања опреме у функцији квалитета производа, ефикасности производних процеса и смањења производних трошкова добија на значају више него икад (Velmurugan & Dhingra 2015).

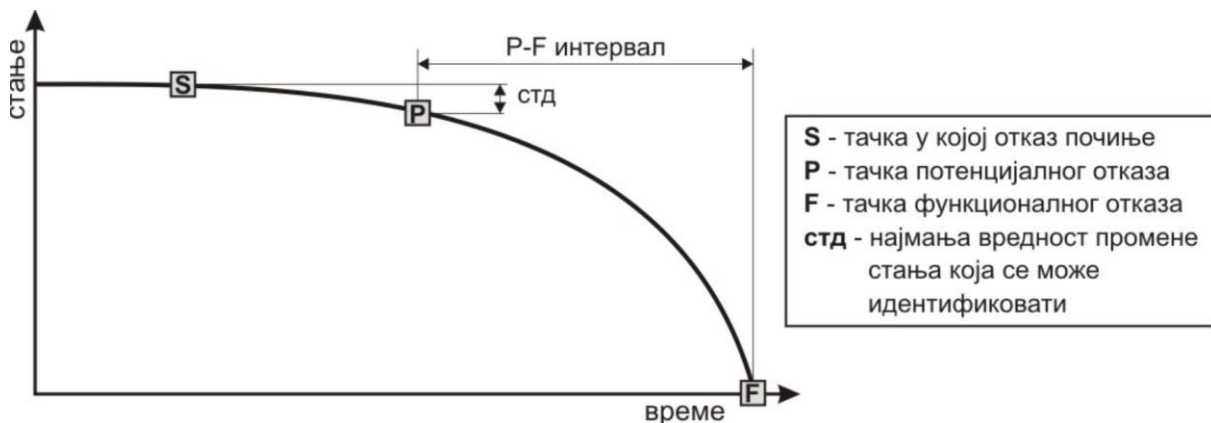
Теорија одржавања бави се појмом отказа као догађаја односно стања, које доводи до престанка способности компоненте или система да врши захтевану и пројектовану функцију (Маџић & Ђарап 2016). Важно је нагласити да се са развојем науке и технике променио начин на који се врши перцепција отказа. Разумевање отказа као неконтролисаног и неизбежног фактора мењало се у покушају да се он одложи, али и да се прати његов настанак и развој, да се дефинишу узроци и утицајни параметри а све у циљу да се он предвиди и спречи односно да се отклоне узроци који иницијално и доводе до настанка услова за отказ. Паралелно са унапређивањем теоријско-техничког приступа отказу јављали су се и нови концепти и методе одржавања који доносе нове технике и методологије.

У анализи метода одржавања опреме користиће се два приступа, научни приступ и искуства Јапанског института за управљање фабрикама (енгл. JIPM) као оснивача и власника методологије ТПМ. За разумевање научног приступа кориштена је најновија литература и академска истраживања (Todorović 2016; Chetan et al. 2015; Velmurugan & Dhingra 2015; Sharma et al. 2011; Vebert et al. 2017; Roy et al. 2016; Wong et al. 2013; Koochaki et al. 2013; Tambe & Kulkarni 2016). Као предмет истраживања одржавања према ТПМ-у у највећој мери је коришћена литература (Nakano 2003; Suzuki 1994; Todorović 2016) као и искуства стечена на имплементацији ТПМ-а у оквиру компаније Тетра Пак у Горњем Милановцу која је 2015. године дошла до највишег признања за имплементацију ТПМ концепта – Награде светске класе (енгл. JIPM World Class Award). Анализирани концепт одржавања у ТПМ-у је упрошћени концепт одржавања тако да ће у истраживању бити направљена паралела са научним приступом.

4.1 Концепт одржавања опреме – научни приступ

Једна од дефиниција одржавања јесте да се оно дефинише као скуп мера и поступака за отклањање отказа, односно спречавања њихове појаве (Todorović 2016).

Отказ се дефинише као прекид способности компоненте или система да врши захтевану и пројектовану функцију. Већина отказа на техничким системима се не дешава тренутно већ они настају као последица промене стања на техничким системима у току експлоатације у дужем временском периоду. Тренутак у коме је могуће закључити да ће до отказа доћи у скоријем временском периоду назива се потенцијални отказ (Todorović 2016). Примери оваквих стања јесу повећане вибрације услед оштећења на лежајевима, повећање температуре услед лошег подмазивања, продукти хабања у уљима преносника снаге, пукотине на кућиштима елемената као последице замора материјала и слично. На слици 4.1 је приказана „P-F” крива која илуструје понашање компонената или система од тренутка првих симптома отказа па до његовог настанка. Тачка „P” представља потенцијални отказ, односно тачку са најнижим прагом промене стања компоненте или система који се може детектовати мерењем а који указује да ће у будућности доћи до функционалног отказа. Тачка „F” представља функционални отказ, односно улазак компоненте или система у стање у отказу као и њихов прекид способности да врше захтевану функцију.

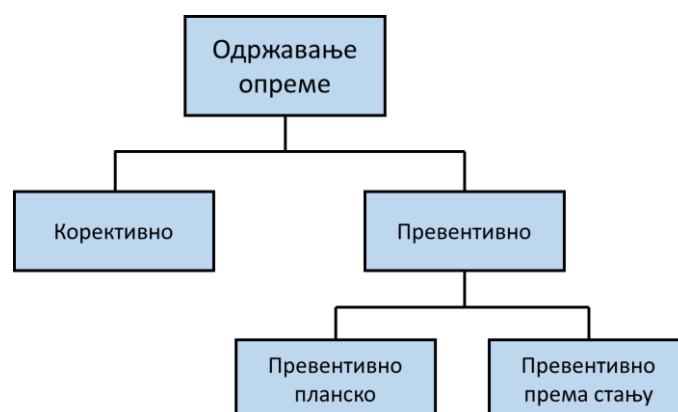


Слика 4.1 „P-F” крива

Тачка „S” представља тренутак у коме долази до појаве отказа, односно он започиње. Она представља најранију фазу појаве отказа на техничком систему и углавном је није могуће прецизно детектовати (Todorović et al. 2010). Како време експлоатације техничког система протиче, долази до развоја отказа, односно погоршања стања техничког система. Највећи број отказа не настаје изненада већ има тренд који се развија у току времена и манифестује се кроз различите симптоме. Ово временско кашњење дефинисано на временској оси као интервал између тачака „S” и „F” омогућава да се предузму одговарајуће активности како би се спречила појава функционалног отказа. Овај временски интервал представља основ за дефинисање и развој различитих метода, техника и концепата одржавања базираних на праћењу стања техничких система (Маџић 2010). Како стандардним активностима у одржавању није могуће прецизно одредити положај тачке „S”, у практичном смислу се користи тачка „P” за дефинисање тренутка у коме је могуће идентификовати почетак отказа, односно у коме је вредност погоршања стања мерљива техникама и методама којима

данас располажемо. Веома је важно да тачка „P” буде што је могуће ближа тачки „S” односно да се почетак отказа идентификује што је могуће пре након његовог отпочињања. Овде су значајна два фактора, први представљају интервали у којима се врше испитивања и мерења, док други представља минимална вредност промене стања која може бити идентификована, на слици 4.1 означена као „стд”. За рано идентификовање тачке „P” велику важност имају прецизност сензора и инструмента за мерење промене стања као и методе за обраду измерених вредности. Један модалитет отказа може имати већи број параметара промене односно погоршања стања који дефинишу тачку „P”.

Индустријски стандард у области одржавања дефинише основну поделу одржавања на корективно и превентивно. У оквиру Превентивног одржавања препознају се две методе, Превентивно планско и Превентивно према стању (Velmurugan & Dhingra 2015). Ова подела се може сматрати основном поделом метода одржавања.



Слика 4.2 Основна подела метода одржавања опреме

Корективно одржавање (енгл. Corrective Maintenance) подразумева скуп активности које се спроводе након појаве отказа у техничком систему. Задатак корективног одржавања је да систем из стања у отказу преведе у стање у раду. Код корективног одржавања све активности одржавања се спроводе након настанка отказа. Опрема се експлоатише до тренутка појаве отказа без икаквих превентивних радњи на њој (Todorović 2016).

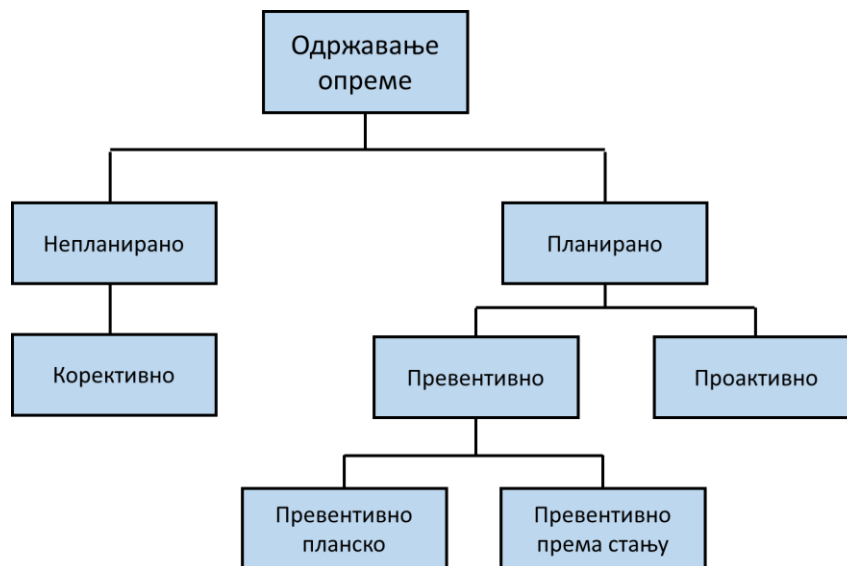
Превентивно одржавање (енгл. Preventive Maintenance) представља скуп свих превентивних активности које се спроводе у циљу спречавања настанка отказа или евентуалног одлагања појаве отказа. Ове активности обухватају али нису ограничене на подешавање, чишћење, подмазивање, поправке, замене и продужавање животног века (Velmurugan & Dhingra 2015).

Превентивно планско одржавање (енгл. Time Based Maintenance - TBM) подразумева тачно дефинисане временске интервале у којима се спроводе одређене активности

одржавања на опреми у циљу превенције стања у отказу и одржања стања у раду опреме.

Превентивно одржавање према стању (енгл. Condition Based Maintenance - CBM) заснива се на периодичном или континуалном праћењу стања техничког система и регистравању и препознавању проблема који би могли да доведу до појаве отказа. Метода подразумева избор најутицајнијих параметара техничких система, са аспекта функционисања, путем којих ће се вршити праћење и дијагностика (Kooschaki et al. 2013).

У литератури новијег датума (Todorović 2016) среће се и нови концепт поделе одржавања на непланирано и планирано. Где се под непланираним подразумева корективно одржавање док се планирано одржавање може класификовати у две категорије, превентивно и проактивно.



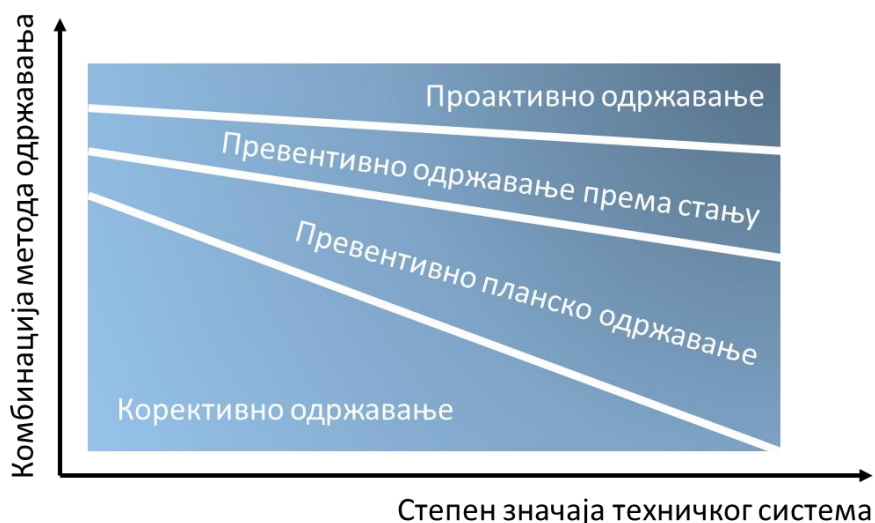
Слика 4.3 Савремена подела метода одржавања

Проактивно одржавање (енгл. Proactive Maintenance) је базирано на сталном праћењу и контроли основних узрочника отказа као и на спровођењу потребних активности на њиховом елиминисању (Todorović 2016).

Важно је разумети разлику између превентивног одржавања и проактивног одржавања. Превентивно одржавање је усмерено на откривање симптома отказа и раних показатеља отказа кроз контролу контаминације, динамичко уравнотежавање и подешавање саосности елемената техничких система у циљу рада без отказа и продужења века експлоатације техничког система. Проактивно одржавање је усмерено на идентификацију и елиминацију узрочника отказа коришћењем вибродијагностике, термовизије и анализе продуката хабања у циљу раног откривања грешака које доводе до појаве отказа.

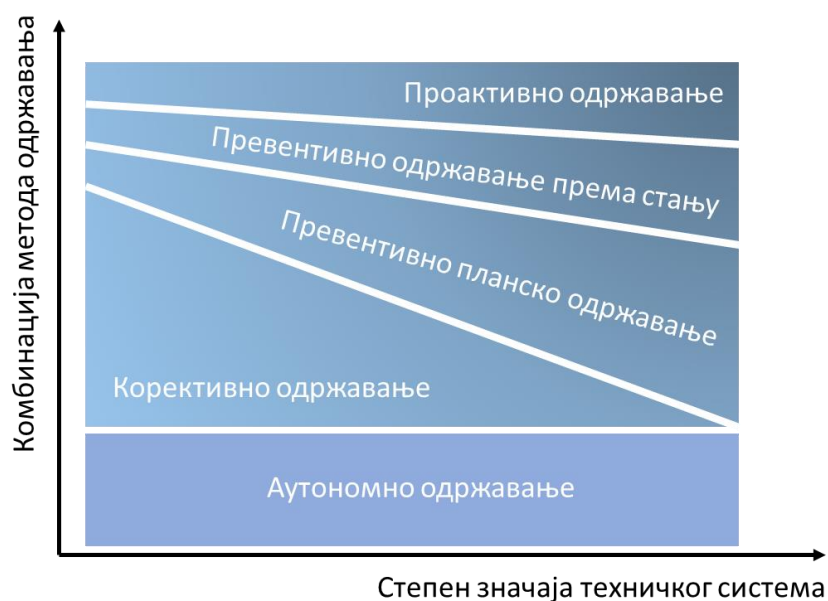
У најновијим научним радовима појављује се и термин континуално одржавање (енгл. Continuous Maintenance) узимајући у обзир захтеве да се код техничких система обезбеде захтеване перформансе система у његовом животном веку уз истовремено постизање оптималних трошкова експлоатације и одржавања (Roy et al. 2016). Овај вид одржавања је најсличнији проактивном одржавању. Примењује се код техничких система високе вредности, високог технолошког нивоа и критичног са аспекта своје поузданости. Развој технике и технологије посматрано кроз 4. индустријску револуцију и интернет технологију (Internet of Things) долази до значајних могућности за унапређење метода одржавања. Континуално одржавање зависи од шест основних области: разумевање механизма погоршања односно деградације стања компонената техничких система, механизма враћања техничког система у основно стање, мониторинга, дијагностике и прогностике, аутономног одржавања, истека ресурса и интегрисаног планирања (Roy et al. 2016).

Тренутно, предузећа у пракси примењују комбиноване методе одржавања у зависности од опреме коју поседују, расположивих људских ресурса и организације предузећа (Todorović 2016). Ова констатација је потврђена и у истраживању описаном у поглављу 2.4 спроведеном на узорку од четрдесет два мала и средња предузећа.



Слика 4.4 Утицај значаја техничког ситета на одлуку о примени методе одржавања

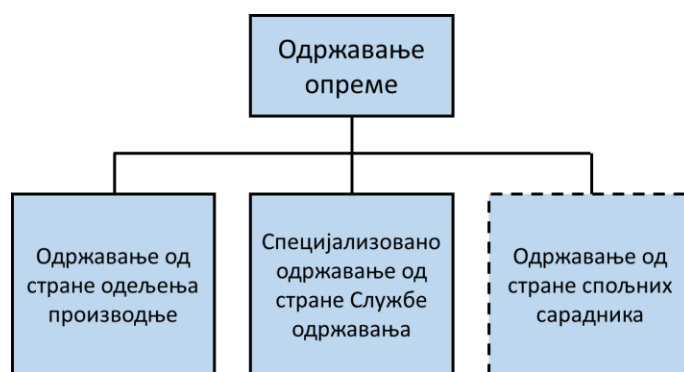
У традиционалном приступу одржавању сматра се да је улога одржавања у отклањању отказа на техничком систему који учествује у производном процесу у што краћем временском периоду. Данас имамо нови приступ одржавању по коме одржавање треба да помогне уклањању готово свих губитака у производном процесу и заснован је на концепту производње светске класе, односно ТПМ концепту (Todorović 2016). Како у новом концепту поред професионалне Службе одржавања део активности одржавања преузимају и радници у производњи јавља се и модел Аутономног одржавања као један од метода одржавања.



Слика 4.5 Утицај значаја техничког ситета на одлуку о примени методе одржавања у концепту ТПМ-а

4.2 Концепт одржавања опреме према ТПМ

Према ТПМ концепту, одржавање опреме можемо поделити на два типа, одржавање од стране руковалаца опремом (радника у производњи – оператера) и специјализовано одржавање. Ова подела омогућава поделу задатака одржавања у зависности ко је одговоран за њихово спровођење, да ли је то одељење производње или одељење одржавања. Одељење одржавања је такође одговорно за ангажовање спољних сарадника за одржавање опреме у случајевима када не постоје компетенције унутар предузећа или су потребна специјалистичка знања. Типови одржавања према ТПМ (Nakano 2003) су приказани на слици 4.6.



Слика 4.6 Типови одржавања опреме

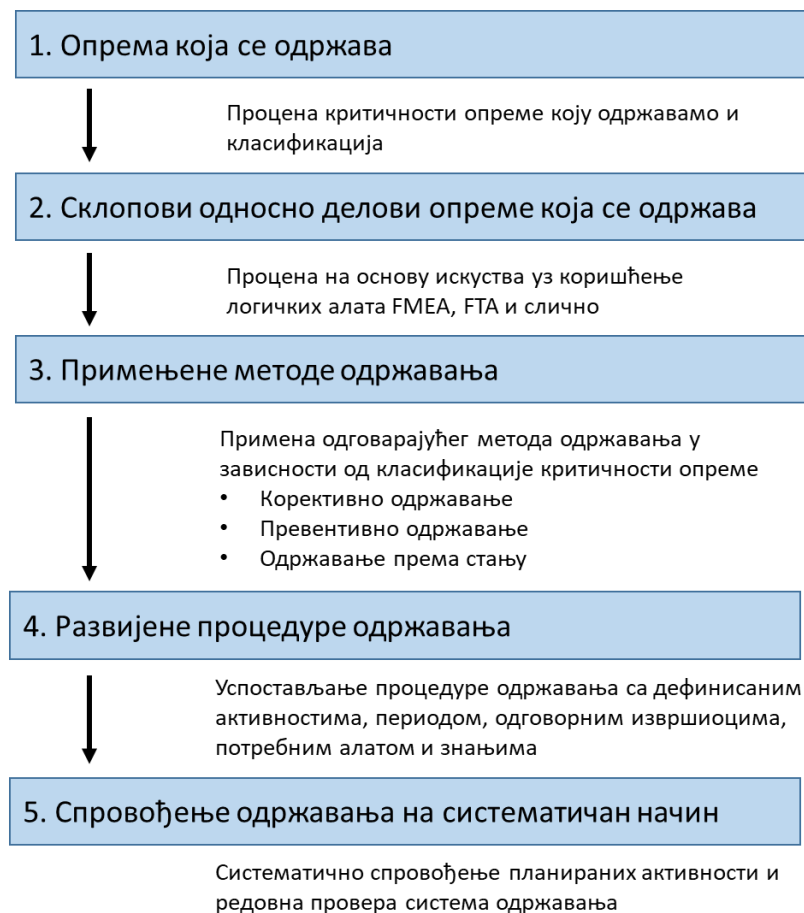
Веома је важно нагласити да је за развој одржавања у оквиру предузећа задужена Служба одржавања, као и менаџер Службе одржавања који мора преузети водећу улогу.

Уколико менаџер одржавања и сви запослени у тој служби имају потребу за проширивањем знања из области одржавања опреме, мора им се омогућити адекватна обука.

Следећи корак у развоју одржавања јесте разумевање процеса одржавања. Процес одржавања укључује одлуке о томе, коју опрему или које њене склопове и којим методом одржавамо, као и ко је за то одржавање одговоран. Ово је неопходан корак у развоју процеса одржавања као и развоја календара односно плана одржавања са крајњим циљем превенције отказа на опреми.

За разумевање процеса одржавања, у концепту ТПМ, процес одржавања се дели на пет основних елемената (Nakano 2003):

1. Опрема која се одржава,
2. Склопови, односно делови опреме која се одржава,
3. Примењене методе одржавања,
4. Развијене процедуре одржавања,
5. Спровођење одржавања на систематичан начин.



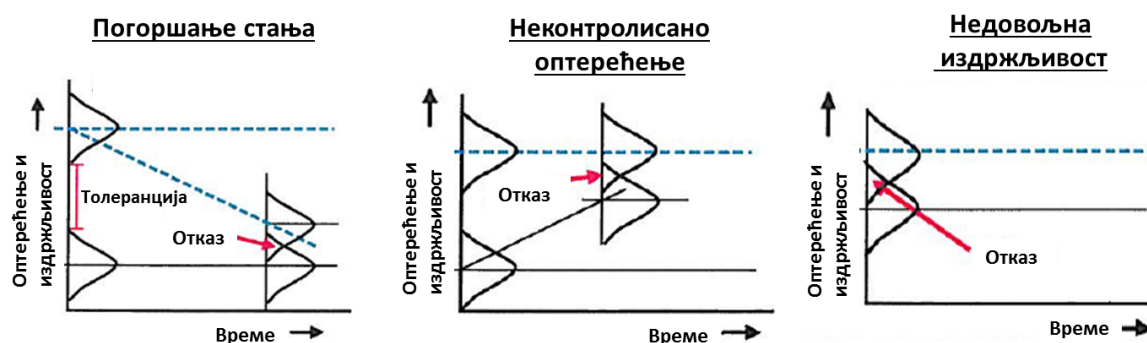
Слика 4.7 Процес одржавања опреме

4.2.1 Разлози отказа опреме према ТПМ концепту

Производна опрема је пројектована да издржи одређени ниво оптерећења коме је изложена у току рада. Разликујемо две врсте оптерећења, механичко и електрично, и оба су потребна да би опрема функционисала. Уколико у току рада опреме дође до повећања оптерећења изнад пројектованих граница, долази и до појаве отказа на опреми. Поред наведеног, на појаву отказа утичу и екстерни фактори као што су температура, влажност, вибрације и честице прашине.

Узроци отказа се могу поделити у три основне групе (Nakano 2003):

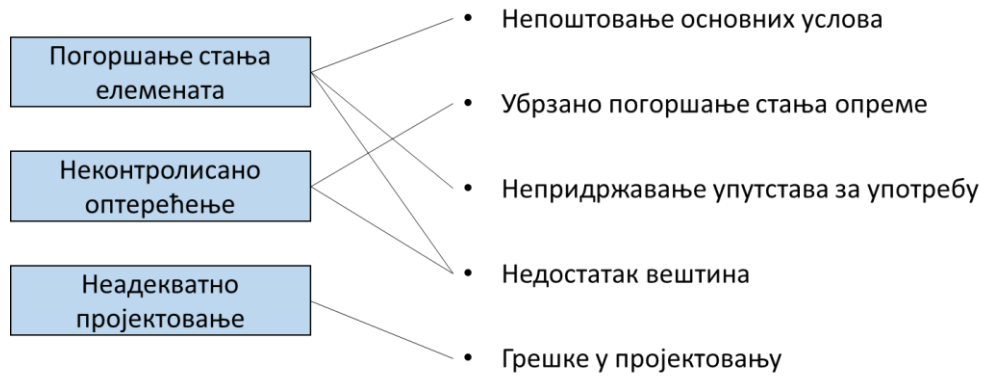
1. **Погоршање стања опреме**, које може довести до тога да опрема више није у стању да издржи радно оптерећење, које резултира отказом. Узроке погоршања стања можемо даље поделити у две групе:
 - 1.1. Прва група обухвата узроке где неодговарајућа пажња и лоше стање у коме се опрема налази доводе до убрзаног погоршања. Непоштовање основних елемената хигијене, подмазивања и недовољна затегнутост вијчаних спојева су узроци убрзаног погоршања.
 - 1.2. Друга група обухвата природно погоршање стања. Ово стање се јавља иако је опрема изложена правилном руковању и одржавању као и добрим условима околине. Ако се не примењују мере за враћање опреме у основно стање, резултат ће бити отказ на опреми.
2. **Неконтролисано оптерећење**. У случајевима када опрема још није дошла до критичне величине погоршања стања и још увек је способна да издржи пројектовано оптерећење до отказа може доћи ако је изложена оптерећењу већем од пројектованог. Веома је важно да руковаоци опреме као и Служба одржавања буду свесни технолошких ограничења опреме и да са њом рукују у оквиру њених пројектованих граница.
3. **Неадекватно пројектована опрема** јесте кривица пројектанта опреме који или није имао довољно знања и искуства при пројектовању или је занемарио основне принципе пројектовања. У овом случају до отказа опреме долази и поред чињенице да приликом руковања није превазиђено пројектовано оптерећење опреме.



Слика 4.8 Узроци отказа (Nakano 2003)

Како би се даље разумели узроци отказа наведена три фактора могу се даље поделити на пет практичних узрока за које Службе производње и одржавања морају дефинисати контрамере. Према слици 4.9 можемо видети везу наведених фактора. Сваки од пет фактора је повезан са једним од три узрока на овај или на онај начин (Nakano 2003).

- I. **Непоштовање основних услова**, од стране служби производње и одржавања, као што су инспекција, чишћење и подмазивање опреме као и дотезање вијчаних спојева доводи до појаве отказа. На овај начин се убрзава погоршање стања опреме.
- II. **Убрзано погоршање стања опреме** представља случај када је са опремом настављен рад и поред знакова погоршања стања који показују да је потребно применити контрамере. Уколико одељења производње и одржавања имају мањак знања и вештина потребних да изврше адекватну инспекцију, као резултат ћемо имати отказ.
- III. **Непридржавање упутстава за употребу**. Свака опрема има своје упутство за употребу које прописује основне услове рада као на пример температуру, влажност, број обртаја, потребан напон под којима је пројектована да ради. Ако се примењени услови рада разликују од пројектованих, тада ће оптерећење којим је опрема изложена прећи пројектовано, што може довести до отказа.
- IV. **Недостатак вештина**. Веома често откази долазе као резултат неадекватног одржавања услед недостатка знања запослених у служби одржавања као и услед неадекватног руковања опремом од стране руковалаца који могу оптеретити опрему начином рада за који она није пројектована.
- V. **Грешке у пројектовању**. Потичу од неадекватног пројектовања опреме у складу са захтевима намене или непоштовања пројектне документације од стране произвођача опреме. Настају као последица непажње, незнања или искуства.



Слика 4.9 Фактори отказа (Nakano 2003)

Како је циљ предузећа потпуна елиминација застоја и отказа опреме, у идеалном случају она може бити постигнута уколико се елиминишу свих пет узрока отказа наведених у овом поглављу.

Мора се створити такав систем одржавања који ће омогућити опреми да ради у оквиру пројектованих услова, морају се обучити радници служби одржавања и производње да препознају погоршање стања опреме као и да на адекватан начин користе опрему. Такође морају се унапредити оне компоненте на којима су се појавили знаци погоршања стања као и редизајнирати они елементи који су погрешно пројектовани или погрешно направљени.

4.2.2 Одговорности делова организације за одржавања опреме

У поглављу 4.2.1 су анализирани узроци настанка отказа на производној опреми. Како би се наведени узроци елиминисали у циљу остваривања нула застоја и нула отказа морају се применити одређене активности. Све активности одржавања могу се поделити у три основне групе (Nakano 2003):

- Превенција погоршања стања
- Мерење параметара погоршања стања опреме
- Унапређење стања опреме

Превенција погоршања стања опреме има задатак да заштити опрему од убрзаног погоршања путем редовног одржавања. Правилно руковање опремом и правовремено основно одржавање као што је подмазивање, чишћење и дотезање вијчаних спојева ће елиминисати убрзано погоршање.

Мерење погоршања стања опреме је неопходно јер и поред адекватног одржавања и руковања, опрема је изложена пројектованом процесу погоршања стања, па је са друге стране потребно препознати када спровести одржавање опреме како процес не би

прешао у убрзано погоршање стања. Ова мерења процеса погоршања стања опреме спроводе се редовним процесом инспекције, подешавања и тестирања опреме. Примењене методе могу варирати од најједноставнијих визуелних провера до употребе напредних дијагностичких алата.

Унапређење стања опреме засновано је на мерењу параметара погоршања стања и избору адекватне методе враћања опреме у основно стање. Ове мере морају бити планиране и извршене у адекватном временском интервалу.

Након разумевања начина превенције отказа доноси се одлука о томе ко је одговоран за спровођење активности одржавања. Више пута је наглашено да су за одржавање опреме одговорни и Служба производње и Служба одржавања. Једино се на овај начин опрема може адекватно и правовремено одржавати.

Задатак Службе производње је да:

- Обезбеди адекватно основно одржавање кроз чишћење, подмазивање и дотезање вијчаних спојева,
- Обезбеди правилно руковање опремом,
- Покуша да детектује, коришћењем људских чула, ране симптоме отказа опреме
- Унапреди оперативне вештине коришћења опреме, унапреди методе промене производа у току производње као и основних подешавања опреме.

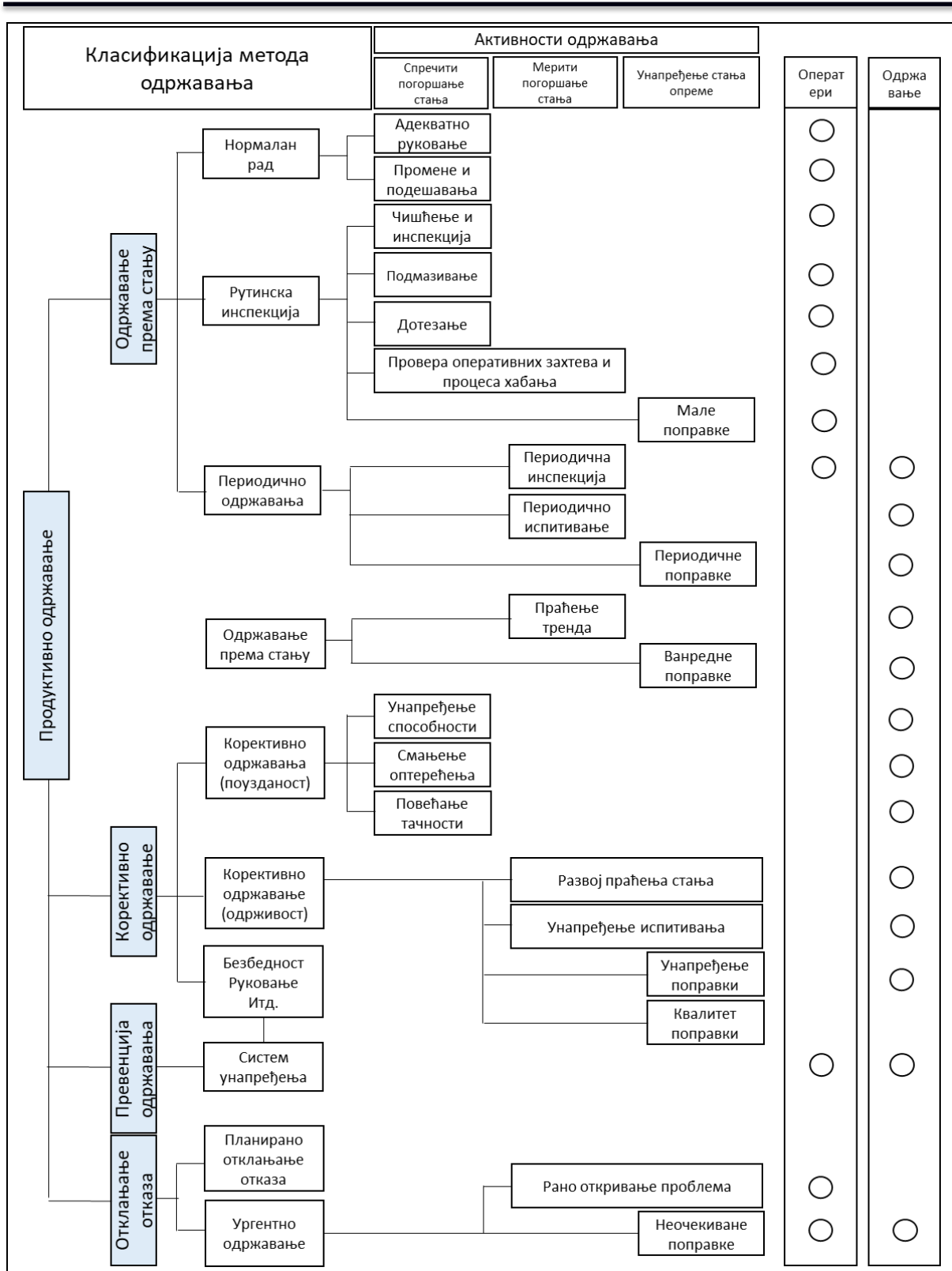
Задатак Службе одржавања је да:

- Обезбеди техничку подршку Служби производње за адекватно одржавање,
- Унапређење стања опреме изведе на најбољи могући начин, поуздано и не пропусти да елиминише све аномалије уочене инспекцијом Службе производње,
- Идентификује недостатке настале у пројектовању опреме као и да изврши потребна унапређења,
- Перманентно унапређује вештине одржавања као што су инспекција, испитивања и поправке.

На овај начин Служба производње и Служба одржавања превазилазе поделе типа „ја производим, ти одржаваш“ и постају заједно одговорни за безбедност, квалитет производа, ефикасност и трошкове производње. Не сме се задовољити резултатима докле год постоје застоји или откази на техничким системима у производном процесу. Тежи се стратегији да сваки радник познаје своју опрему и начин функционисања као и да је способен да препозна процесе погоршања стања и да буде обучен да велики део унапређења стања опреме може извршити сам.

Одељење производње се мора фокусирати на фундаменталне активности одржавања, превенцију и мерење погоршања стања опреме, док је основни фокус Службе одржавања на унапређења опреме и процеса као и на унапређење техника за дијагностику. Подела задатака између Службе одржавања и Службе производње дата је на слици 4.10.

Према ТПМ-у, методологија, односно скуп активности, који има задатак да унапреди активности одржавања а које спроводи Служба одржавања назива се Планирано одржавање (енгл. Planned Maintenance-PM) док се методологија унапређења активности које спроводи Служба производње назива Аутономно одржавање (енгл. Autonomous Maintenance-AM).



Слика 4.10 Подела задатака одржавања опреме према ТПМ (Nakano 2003)

4.2.3 Успостављање Планираног одржавања

Како би се остварила стратегија предузећа која има за циљ повећање продуктивности, унапређење квалитета производа и услуга као и постизање минималних трошкова производње потребно је успоставити и нову стратегију одржавања. Први предуслов за успостављање нове стратегије одржавања јесте промена начина размишљања целе организације (Nakano 2003). Потребно је постојећу стратегију одржавања опреме искључиво када је она у отказу променити у стратегију која има за циљ да до отказа не дође. Ово се може постићи применом превентивног и проактивног одржавања као и укључивањем одељења производње у активности одржавања.

Основна улога Планираног одржавања као једног од стубова ТПМ-а јесте да обезбеди да опрема увек функционише у складу са потребама и пројектованим стањем, при томе обезбеђујући минималне трошкове одржавања. Поред наведене основне улоге, планирано одржавање, има задатак да подржи и друге стубове ТПМ-а у остваривању својих циљева, са крајњим циљем остваривања најнижих трошкова производње уз постизање највишег нивоа квалитета и безбедности запослених (Suzuki 1994). Практично посматрано, према концепту ТПМ-а, Планирано одржавање се грубо може поделити на две комплементарне активности:

1. Успостављање система Превентивног одржавања, уз апсолутну подршку Аутономног одржавања, са циљем елиминације отказа.
2. Унапређење осталих активности одржавања у циљу подршке успостављању система превентивног одржавања.

Планирано одржавање у својим активностима примењује четири модела одржавања. Како се једно од њих, Превентивно одржавање, може поделити на три групе активности, то укупно даје шест модела одржавања (Nakano 2003). Структура ових модела дата је на слици 4.11.



Слика 4.11 Модел планираног одржавања (Nakano 2003)

Како би се боље разумели наведени модели сваки од наведених ће бити објашњен (Nakano 2003):

- I. **Превентивно одржавање** има задатак да одржава опрему у базном стању. Оно спречава отказе на опреми спроводећи редовне и периодичне инспекције опреме, дијагностику опреме као и елиминацију пронађених аномалија. Овај модел одржавања можемо поделити у три групе:
 - a) **Превентивно планско одржавање**, односно одржавање према фиксним временским интервалима. Период извршавања одређених активности изабран је пре свега искуствено, поштујући препоруке произвођача, као и уважавајући планове производње и рокове испоруке производа купцима. Применом овога метода одржавања опрема не ради до максимума својих ресурса већ се замена делова врши искључиво поштујући унапред дефинисан план. Предност овога метода је та што не захтева инспекцију и самим тим штеди потребне ресурсе које би инспекција захтевала, са друге стране трошкови овога метода су повећани јер се врши замена делова опреме која није дошла до краја свог века трајања.
 - b) **Превентивно одржавање према стању** обухвата активности које имају за циљ регуларно и систематично праћење стања производне опреме. На основу стања опреме доноси се одлука о методама унапређења опреме и њеног враћања у основно стање. Предност овога метода јесте та што се максимално користе ресурси опреме и нема претераног одржавања, са друге стране трошкови дијагностике стања опреме могу бити велики а потребно је и знање како би се параметри опреме пратили на високом нивоу.
 - c) **Ремонт опреме** представља метод код кога се у планираном интервалу опрема зауставља, врши се демонтажа опреме са циљем утврђивања стања компонената након чега се врши замена дефектних делова.
- II. **Одржавање након отказа** се примењује када не постоји систем инспекције нити праћења стања опреме, већ се опрема враћа у основно стање искључиво након отказа. Овај вид одржавања се може применити за опрему мање важности и утицаја на резултате предузећа. Предност овога метода је што искоришћава максималне ресурсе компонената док са друге стране има ману у својој непредвидивости јер никада не можемо проценити када ће доћи до отказа.

- III. **Корективно одржавање** обухвата активности које се предузимају на опреми у циљу унапређења њених перформанси на основу уочених недостатака који још увек нису критични са аспекта појаве отказа. Овом методом се унапређује поузданост опреме, спречава се понављање отказа, продужава и време између два интервала одржавања.
- IV. **Превенција одржавања** обухвата све активности прикупљања података како планираног одржавања тако и аутономног одржавања о проблемима на постојећој опреми у току њеног животног века као и евиденцији потенцијалних узрока отказа опреме са циљем елиминације тих дефеката у току пројектовања нове опреме.

4.2.4 Активности неопходне за елиминацију отказа

Планирано одржавање започиње своје активности смањењем броја отказа након чега се ради на успостављању система превентивног одржавања. Важни кораци у овом процесу су смањење броја отказа, класификација опреме и избор метода одржавања.

Први корак при увођењу планског одржавања јесте елиминација неочекиваних отказа опреме кроз активности враћања опреме у основно стање и унапређење опреме. Да би се ове активности квалитетно спровеле, неопходна је сарадња одељења производње и одељења одржавања.

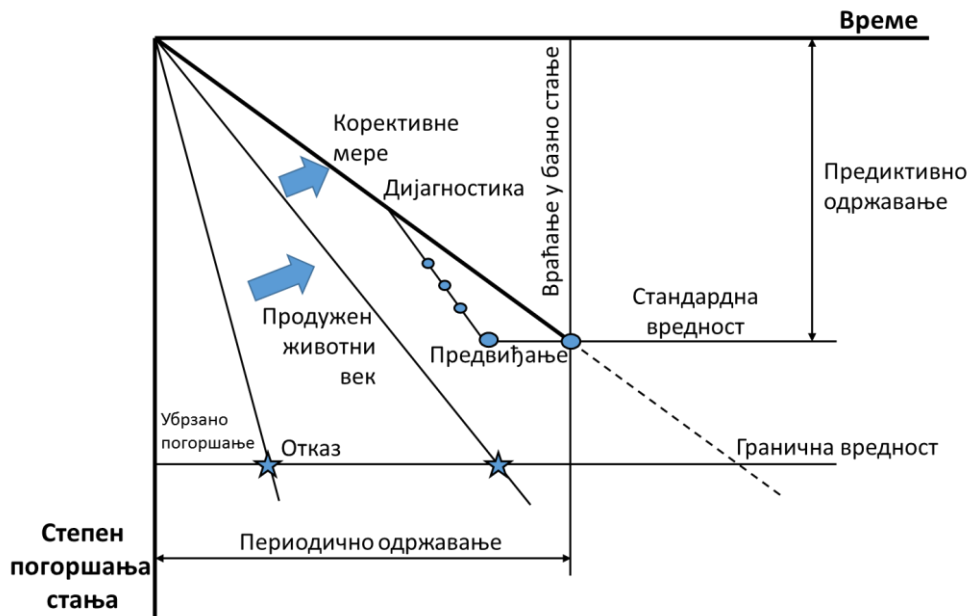
Враћање опреме у основно стање ће урадити Служба производње поштујући методологију аутономног одржавања истовремено радећи са Службом одржавања на развоју компетенција оператера производње у области вештина одржавања.

Одељење одржавања ће своје активности на смањењу броја отказа изводити у следећим корацима (Nakano 2003):

1. Идентификација узрока убрзаног погоршања стања опреме и враћање опреме у базно стање,
2. Унапређење животног века критичних компонената применом корективног одржавања,
3. Истраживање и идентификација природних услова погоршања стања компонената,
4. Започињање спровођења Превентивног одржавања, применом Превентивно планског одржавања, како би се установили параметри погоршања стања опреме,
5. Имплементација метода Превентивног одржавања према стању на компонентама на којима није могуће или је скупо применити Превентивно

планско одржавање. Дефинисање контролних параметара и њихових лимита како би се адекватно прогнозирала појава отказа.

Слика 4.12 показује горе описани принцип активности неопходних за елиминацију отказа.



Слика 4.12 Активности елиминације отказа (Nakano 2003)

Други корак обухвата класификацију опреме према критичности. Критичност опреме се одређује утврђујући како и колико опрема утиче на безбедност, капацитет производње и квалитет производа. Свака машина се мора оценити посебно како би се имала потпуна слика о критичности опреме и како би се одредио прави метод одржавања.

Класификација опреме се врши узимајући у обзир шест фактора:

- Обим производње (Коефицијент искоришћености опреме и доступност алтернативне опреме за производњу),
- Утицај на квалитет,
- Утицај на трошкове,
- Утицај на испоруку производа,
- Утицај на безбедност,
- Утицај на морал запослених.

Сваки од наведених фактора се оцењује користећи питања наведена у табели 4.1. након чега се опрема класификује на основу критичности у групе АА, А, Б, Ц и то на основу укупног броја поена. Што је фактор критичнији, то се даје већа оцена за његов утицај. Оцене могу бити од пет до један.

Критеријум оцењивања	Тачке за проверу
П (Производња)	<ul style="list-style-type: none"> • Опрема која је јединствена • Опрема са великим бројем отказа • Опрема која значајно утиче на обим производње • Опрема са мањим нивоом продуктивности • Опрема која производи скупе производе
К (Квалитет)	<ul style="list-style-type: none"> • Опрема која значајно утиче на квалитет производа • Опрема са варијабилним утцајем на квалитет производа • Опрема која значајно угрожава квалитет у случају отказа
Т (Трошкови)	<ul style="list-style-type: none"> • Опрема на којој се користе вредне улазне сировине • Опрема коју опслужује велики број руковалаца • Опрема којој је потребна велика количина енергије • Опрема која изазива велике трошкове уколико не функционише
И (Испорука)	<ul style="list-style-type: none"> • Опрема која се користи на крају производног процеса • Опрема која се користи за хитне испоруке • Опрема која може проузроковати застоје у испоруци
Б (Безбедност) М (Морал)	<ul style="list-style-type: none"> • Безбедносна опрема • Опрема за климатизацију • Опрема која може да проузрокује загађење • Опрема која утиче на животну средину

Слика 4.13 Критеријуми класификације опреме

Тако ће се на пример на основу оцене критичности извршити избор методе одржавања опреме (Nakano 2003):

- Класа АА – Превентивно одржавање према стању – напредни ниво
- Класа А – Превентивно одржавање према стању – средњи ниво, поједностављено
- Класа Б – Превентивно планско
- Класа Ц – Одржавање након отказа

Како је неизводљиво да се сва опрема одржава Превентивним одржавањем према стању, и како није препоручљиво да се сва опрема одржава искључиво након појаве отказа, препоручљиво је применити следеће методе одржавања у препорученом проценту:

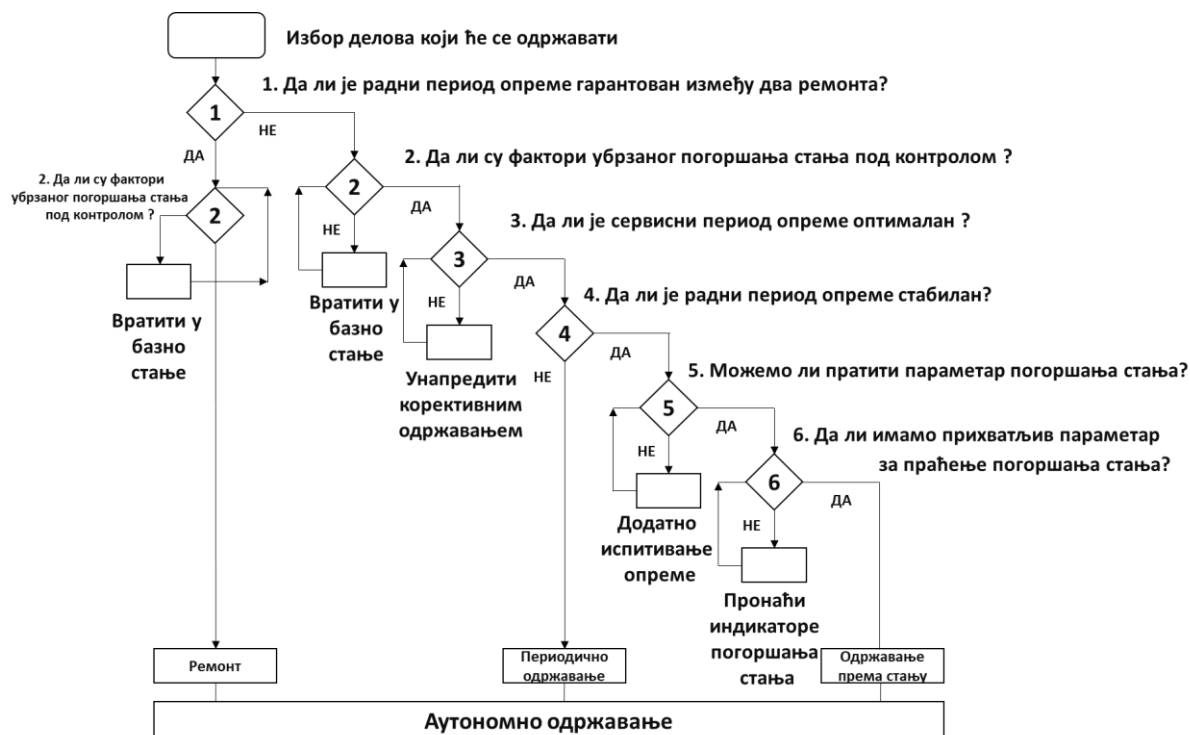
- Класа АА – 5% до 7%
- Класа А – 25%
- Класа Б – 60%
- Класа Ц – 8% до 10%

Трећи корак обухвата избор делова опреме која ће се одржавати као и избор метода одржавања. У основи, избор делова који се одржавају на опреми је пожељно извршити у току пројектовања и израде опреме примењујући FMEA (енгл. Failure Mode Effect Analyses) или FTA (енгл. Fault Tree Analyses). Међутим, пракса је показала да се делови

опреме који се морају одржавати идентификују искуствено након великог броја отказа који се на њима догоде.

Након извршеног избора делова опреме који ће се одржавати врши се и избор методе одржавања. Разликујемо два основна фактора за избор методе одржавања:

1. Критичност опреме
2. Факторе погоршања стања опреме



Слика 4.14 Алгоритам за избор методе одржавања (Nakano 2003)

Важно је проверити да ли су фактори погоршања стања опреме или степен погоршања пропорционални оперативним параметрима опреме као што је време коришћења опреме, број произведених јединица производа као и чињеница колико је пута опрема коришћена за производњу. У случају постојања пропорције врши се избор Превентивно планског одржавања као методе која ће бити примењена, у супротном примењује се превентивно одржавање према стању или ремонт опреме. Овај начин избора методе одржавања захтева велико искуство у коришћењу конкретне опреме као и знање о њеном функционисању. Поред поменуте методе развијене су и друге методе за избор. Као други пример употребићемо методу развијену од стране Кињиро Накано (енгл. Kinjiro Nakano) (Nakano 2003), слика 4.14.

4.2.5 Седам корака имплементације Планираног одржавања

Процес имплементације Планираног одржавања према методологији ТПМ обухвата седам корака (Suzuki 1994):

Корак 1: Разумети тренутно стање

Овај корак обухвата иницијално чишћење опреме од стране радника одржавања и спроводи се заједно са радницима производње како је наведено у претходном поглављу. Чишћењем опреме идентификоваће се велики број узрочника отказа опреме. Након тога следи анализа отказа, која ће имати закључак да се откази не дешавају без разлога, већ да постоје тачно одређени узроци. Анализом ће се боље упознати опрема, њени механизми и начин функционисања.

Активности које се спроводе у овом кораку су:

1. Идентификовати видљиве и скривене проблеме на опреми и елиминисати видљиве,
2. Поставити цедуљице на идентификоване узроке отказа и извршити њихово решавање, враћањем опреме у базно стање,
3. Анализирати отказе на опреми. Анализирати сваки отказ идентификујући узроке отказа као одступања од базног стања,
4. Пратити број постављених и елиминисаних цедуљица,
5. Увести систем за евиденцију отказа и праћење параметара поузданости опреме као што су MTBF (енгл. Mean Time Between Failure – средње време између два отказа) и MTTR (енгл. Mean Time To Repair – средње време поправке),
6. Направити визуелну мапу отказа на шематском приказу опреме,
7. Направити план за отклањање уочених аномалија и узрока отказа.

Израда поменутог плана јесте увод у следећи корак имплементације.

Корак 2: Враћање у базно стање и унапређење опреме

Вратити у базно стање и елиминисати проблеме на опреми који су идентификовани у првом кораку. Како бисмо елиминисали могућност понављања отказа, морамо извршити детаљну анализу отказа и разумети узроке који су до њега довели. Такође морамо спровести корективно одржавање на елементима са кратким веком експлоатације како бисмо га

продужили. Паралелно са поменутиим активностима радићемо и на унапређењу знања и вештина радника одржавања.

Активности које се спроводе у овом кораку су:

1. Елиминација узрока убрзаног хабања као и враћање опреме у базно стање.
2. Детаљно истражити узроке отказа применом метода за анализу као што су 5 зашто, ПМ анализа итд.,
3. Темељно радити на превенцији понављања узрока отказа,
4. Применом корективног одржавања продужити век експлоатације компонентама са кратким експлоатационим веком,
5. Део задатака инспекције пренети на Аутономно одржавање,
6. Пратити реализацију плана за отклањање уочених аномалија и узрока отказа,
7. Унапредити знања и вештине радника одржавања,
8. Идентификовати опрему која ће се одржавати као припрема за израду процедура одржавања у следећем кораку.

Корак 3: Дефинисати привремени стандард одржавања

У циљу одржања унапређеног стања опреме потребно је направити привремени стандард одржавања опреме. У складу са њим започећемо са Превентивним одржавањем. Пре свега ћемо започети са периодичним одржавањем.

Активности које се спроводе у овом кораку су:

1. На сваком делу опреме идентификовати компоненте које ће се одржавати превентивним одржавањем,
2. Идентификовати потребне активности чишћења и подмазивања,
3. За сваку компоненту дефинисати почетни стандард периодичног одржавања,
4. Извршити расподелу задатака између Службе производње и Службе одржавања,
5. Дефинисати привремене стандарде инспекције као и циклусе када се врши замена појединих компонената на опреми,
6. Дефинисати временске интервале идентификованих активности и започети са извршавањем.

Корак 4: Генерална инспекција у циљу квалитета

Проширити схватање улоге Службе одржавања на препознавање важности опреме у производњи захтеваног квалитета производа. Ово значи да морамо

спроводити активности одржавања у циљу превенције дефеката квалитета. Пронаћи везу између дефеката квалитета и делова опреме. Темељно извршити инспекцију оваквих делова опреме и радити на враћању у базно стање.

Активности које се спроводе у овом кораку су:

1. Разумети како опрема функционише,
2. Разумети производни процес,
3. Спровести генералну инспекцију стезних алата, резних алата, носача алата и слично, како би се разумели потенцијални проблеми,
4. Разумети захтеве квалитета производа,
5. Установити које компоненте на опреми утичу на квалитет производа,
6. Применити ПМ анализу за разумевање везе између дефеката и отказа компонентата опреме.

Корак 5: Унапређење инспекције и ефикасности одржавања

Као што само име овога корака каже, у њему се тежи унапређењу инспекције и ефикасности постављеног система одржавања. Спроводе се активности одржавања опреме базирано на недељном и месечном плану одржавања који је систематизован у годишњем календару одржавања. Започиње се са активностима одржавања према стању.

Активности које се спроводе у овом кораку су:

1. Направити Q-M матрицу која повезује дефекте и отказе компонентата,
2. Из матрице издвојити компоненте које утичу на квалитет и унети их у план превентивног одржавања,
3. Предузети акције како би се елиминисала места тешка за инспекцију.
4. Ревидирати и модификовати план одржавања, консолидовати инспекцију и продужити циклусе одржавања,
5. Повећати поузданост опреме повећавајући број компонентата које се одржавају на основу анализе узрока отказа,
6. Вршити замену само опреме која показује знаке хабања како би се смањили трошкови одржавања,
7. Смањити време трајања активности одржавања као и трошкове одржавања применом анализа за смањење времена промене посла и стандардизовати активности одржавања,
8. Започети са одржавањем према стању користећи на тржишту доступну опрему,

9. Започети са допунским активностима одржавања као што је менаџмент резервним деловима, планирање задатака одржавања, израда информационог система одржавања, контрола трошкова одржавања и слично.

Корак 6: Успостављање Предиктивног одржавања

Предиктивно одржавање има за циљ оптимизацију периода односно фреквенције активности одржавања праћењем тренда параметара хабања делова опреме помоћу уређаја за дијагностику. Оно се примењује на компонентама које су у прошлости имале значајне отказе као и на компонентама које када откажу за последицу имају значајне трошкове.

Активности које се спроводе у овом кораку су:

1. Идентификовати компненте које су у прошлости имале значајне отказе који су проузроковали озбиљне последице по предузеће,
2. Изабрати делове који ће се одржавати предиктивном методом,
3. Користити опрему за дијагностику која је доступна на тржишту,
4. Изабрати параметре хабања опреме који ће се мерити и пратити,
5. Имплементирати систем за праћење тренда одабраних параметара хабања,
6. Покушати са сопственим развојем опреме за праћење стања користећи различите сензоре,
7. Започети са вибродијагностиком,
8. Развити специјалисте у Служби одржавања за примену дијагностике,
9. Унапредити знање запослених у одржавању и организовати тренинге за раднике одржавања.

Корак 7: Хоризонтална експанзија

Искуства стечена током имплементације система одржавања треба применити и на осталу опрему у предузећу која је изабрана за одржавање на основу анализе критичности. Да бисмо били ефикасни, поновићемо само кључне кораке имплементације.

4.2.6 Седам корака имплементације Аутономног одржавања

Планирано одржавање не може остварити своје циљеве уколико не постоји Аутономно одржавање (Prickett 1999). Систем Превентивног одржавања није могуће успоставити на прави начин уколико Аутономно одржавање није имплементирано на прави начин.

Имплементација Аутономног одржавања, према методологији ТПМ, подељена је на седам практичних корака (Suzuki 1994):

Корак 1: Иницијално чишћење (Чишћење је инспекција)

Задатак првог корака јесте да се опрема детаљно очисти од свих непотребних ствари које се на њој налазе, да се очисте наслаге заосталих мазива и уља и да се уклоне све остале нечистоће. Након тога је потребно извршити подмазивање опреме као и дотезање вијчаних спојева. На крају се све уочене аномалије забележе у регистар аномалија и планира се спровођење елиминације аномалија које представља враћање опреме у базно стање.

Радници у производњи који још увек немају довољно знања о начину рада опреме по први пут детаљно чисте своју машину са циљем уочавања аномалија. Својим очима први пут виде проблематичне делове, одвијене завртње, цурења уља и недостајуће подмазивање. Ово представља суштину система „чишћење је инспекција, а инспекција је превенција проблема“. Оператери се постепено упознају са својом опремом и откривају како да препознају аномалије на опреми.

Како је иницијално чишћење захтеван и физички напоран посао а уједно представља и почетну активност на имплементацији ТПМ-а, неопходно је да у њега буду укључени сви запослени, почевши од директора и менаџера па до радника одржавања. На овај начин се недвосмислено даје пуна подршка производним радницима да започну револуцију у свом послу и на својој опреми.

Подршка Службе одржавања је кључна у овом кораку. У почетку је потребно научити раднике у производњи да препознају аномалију на опреми у току њеног чишћења. Након тога их је потребно обучити и да мање аномалије сами отклоне јер се на овај начин ојачава њихово самопоуздање.

Веома важан део овога корака јесте успостављање система прикупљања информација о аномалијама као и само планирање елиминације аномалија. Све аномалије се обележавају коришћењем такозваних „тагова“ (енгл. tag) – цедуљица. Имамо две врсте цедуљица, прва група намењена радницима у производњи за решавање, док је друга група намењена радницима Службе одржавања. Сви подаци са цедуљица се сакупљају у централни регистар аномалија на основу кога се прави план решавања и планирају неопходни ресурси.

Корак 2: Елиминисати изворе прљавштине као и места тешко доступна за чишћење

Задатак другог корака јесте да смањи време потребно за чишћење тако што ће се идентификовати места на опреми или у процесу која генеришу појаву нечистоћа и иста унапредити као и поставити заштита од прљања на местима тешко доступним за инспекцију. Ова заштита мора омогућити лаку и ефикасну инспекцију покривених делова опреме.

Детаљна елиминација аномалија откривених у процесу иницијалног чишћења је веома важна како за унапређење опреме тако и за подизање морала запослених радника производње. Уколико недостаје подршка у отклањању аномалија и ако сам процес траје дуго времена, постоји велика опасност од неуспеха програма. У овом кораку подршка Службе одржавања је неопходна с обзиром на то да радници одржавања имају расположиво знање и ресурсе за елиминацију идентификованих аномалија. Кључно је да се радници у производњи укључе у процес елиминације аномалија како би научили више о својој опреми и како би вежбали вештине одржавања.

Корак 3: Направити привремени стандард чишћења, подмазивања и инспекције

Задатак трећег корака је да креира привремени, изводљив и практичан стандард који дефинише активности чишћења, подмазивања, дотезања вијчаних спојева и инспекције. Веома је важно дефинисати време потребно за све активности аутономног одржавања, тако да оно омогућава да се стандард спроводи регуларно и у потпуности. Уколико је стандард тешко постићи, јавиће се отпор код радника у производњи.

Радницима у производњи је у овом кораку неопходна подршка радника одржавања. Пре свега у изради самога стандарда а након тога и у обуци за потребне активности. Међутим, како би радници у производњи спроводили и поштовали стандард, неопходно је да га они сами и направе.

Ваома важан сегмент овога корака јесте обука радника у производњи из области мазива, њихових карактеристика, адекватних услова рада и примене. За ове потребе је потребно обезбедити материјал за обуку као и направити учила којима је могуће симулирати промену вискозитета мазива, различите типове средстава и метода подмазивања као и саму вештину подмазивања.

Корак 4: Генерална инспекција

Задатак четвртог корака јесте да обезбеди унапређење знања радника производње о начинима и принципима функционисања производне опреме како би се унапредила инспекција. Потребно је унапредити знања радника из области хидраулике, пнеуматике, електронике, подмазивања и погонских система. Са унапређењем наведених знања оператери ће постајати све бољи и бољи у свакодневном раду и руковању опремом као и у процесу уочавања аномалија. Служба одржавања има задатак да подржи процес унапређења знања кроз организовање обуке радника у производњи као и кроз израду разних учила. Други циљ овога корака јесте да радници производње полако почну да сами отклањају аномалије регистроване кроз систем цедуљица и да врше ситне поправке. За ово им је такође неопходно обезбедити и потребан алат, што је задатак Службе одржавања.

Корак 5: Аутономна инспекција

Задатак петог корака јесте да дефинише финални стандард чишћења, подмазивања и инспекције који ће омогућити ефикасно извршавање наведених активности. Стандард треба да садржи, са једне стране листу за праћење активности, а са друге стране јасно дефинисан стандард који описује сваку од активности. Такође је неопходно стандард подржати адекватном визуелизацијом на машини тако што ће се притупити обележавању свих тачака подмазивања и инспекције са јасно дефинисаним критеријумима, методама и алатом.

У овом кораку се, поред наведеног, развија свест радника производње о квалитету производа као и о утицају опреме и процесних параметара на квалитет. Заједничким радом служби производње и одржавања мапирају се критичне компоненте и њихови радни параметри са аспекта квалитета производа и дефинишу се тачке квалитета. Тачке квалитета јесу процесни параметри или параметри опреме које је неопходно одржавати у основном стању како би био гарантован квалитет производа. Као додатна активност уводи се и инспекција ових тачака, што је покривено стандардом аутономне инспекције.

Корак 6: Стандардизација

Задатак шестог корака јесте да додатно унапреди већ успостављене стандарде као и да унапреди систем безбедности на раду и омогући даље смањење производних губитака.

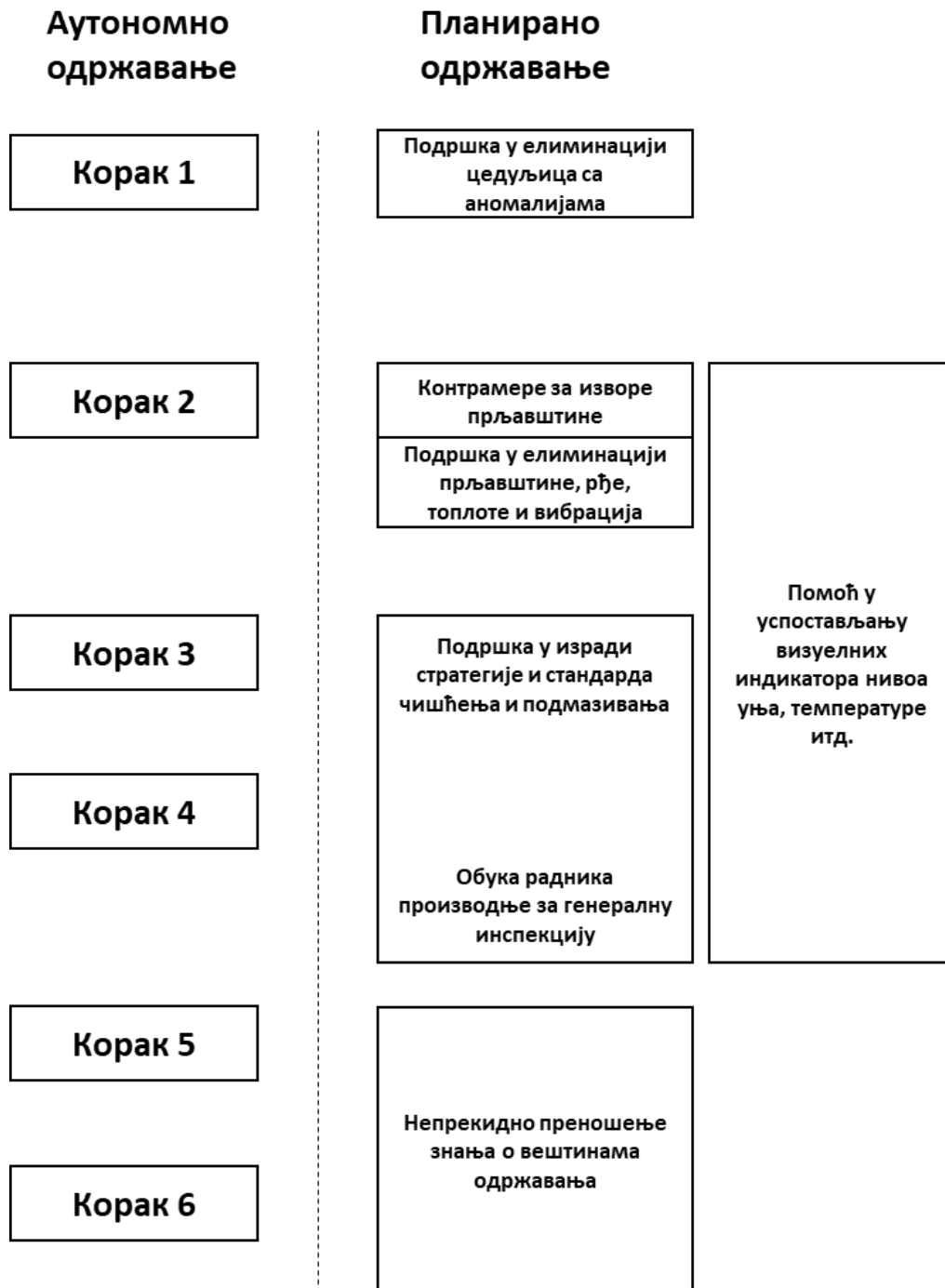
Радници у производњи се обучавају да анализирају свој рад кроз призму ергономије и на тај начин унапреде своје радно место и себе. Такође анализирају и свој труд уложен у неопходне производне операције и траже решења да смање пут који прелазе у току рада као и број операција које обављају. На овај начин доприносе и повећању ефикасности производње као и смањењу производних трошкова.

Како су радници у производњи у претходним корацима научили како њихова машина функционише, како се подмазује и подешава као и да извршавају мање поправке, теже да заокруже вештине одржавања кроз контролу резервних делова потребних за одржавање њихове машине. Преношењем групе резервних делова на машину и успостављањем KANBAN система радници брину у потпуности о резервним деловима.

Корак 7: Аутономно управљање

У седмом кораку радници у производњи у потпуности управљају својим процесом. Способни су да сами унапређују постављене стандарде и ефикасно прате њихову примену. Имају свест о својим утицајима и доприносу на остваривање стратегије предузећа и способни су да сами постављају циљеве за унапређење. Владају алатима и методама за анализу губитака као и за унапређење. Имају разумевање шире слике, сагледавају процесе пре и после свог. Способни су да раде на више радних места као и да сами организују своју обуку.

Подршка Планираног одржавања Аутономном одржавању обухвата пре свега обуку производних радника из области вештина одржавања како би они на прави начин спроводили задатке основног одржавања. Након тога долази подршка кроз смањење броја отказа као и унапређење опреме (Nakano 2003). На слици 4.15 приказана је подршка Планираног одржавања Аутономном одржавању.



Слика 4.15 Подршка успостављању Аутономног одржавања (Nakano 2003)

4.2.7 Превенција одржавања

Превенција одржавања, посматрана из перспективе животног века опреме, може се поделити у две групе, прву која се одвија у фази дизајна, пројектовања, конструисања и израде опреме и друга фаза која се одвија у току њене експлоатације (Nakano 2003).

Основни задатак превенције одржавања јесте прикупљање информација о опреми, отказима, унапређењима и генерално свим врстама недостатака како би се они елиминисали приликом пројектовања нове опреме. Задатак превенције одржавања јесте да обезбеди да нова опрема има високи степен ефикасности, да је лака за употребу и одржавање, безбедна за рад и не загађује животну средину и да има висок степен поузданости, односно нула отказа. Превенција одржавања се пре свега спроводи активностима једног од стубова ТПМ-а који се назива Рано управљање (енгл. Early Management), међутим без подршке других стубова њен успех није могућ. Овде се пре свега мисли на Аутономно одржавање и Планирано одржавање.

Превенција отказа у фази дизајна опреме има задатак да спречи да се у почетној фази имплементације нове опреме не производе дефектни производи. Прво се приступа анализи недостатака на постојећој опреми. Добијени закључци се користе за повећање поузданости нове опреме. Улога одељења одржавања се огледа у обезбеђивању информација везаних за отказе на постојећој опреми као и уоченим процесима хабања. Док је улога производње да обезбеди информације везане за проблеме у руковању постојећом опремом као и да објасни утицај отказа на опреми на квалитет производа.

Кључ за успех система превенције отказа јесте у добро организованом систему прикупљања информација. Овде се мисли не само на информације везане за отказе већ и за времена трајања поправки, активности корективног одржавања предузете у циљу унапређења опреме, итд. Мора се развити стандардизован систем прикупљања информација који ће бити опште прихваћен у организацији.

4.3 Анализа интеграције научног и ТПМ приступа одржавању у складу са потребама и ограничењима МСП

Научни приступ одржавању усмерен је ка циљу раног откривања отказа коришћењем расположивих техничких и технолошких метода које у свом приступу захтевају специјалистичка знања која се пре свега могу пронаћи у Служби одржавања. На овај начин Служба производње није укључена у одржавање опреме и нема довољно развијену свест о утицају стања опреме на њену поузданост, ефикасност, утицај на квалитет производа и безбедност радника. Са друге стране ТПМ приступ захтева обуку радника Службе производње из области основних вештина одржавања, применом

Аутономног одржавања, и препушта им део одговорности за превенцију и рано откривање отказа уз перманентно праћење и подршку од стране Службе одржавања. Долази до расподеле одговорности између радника производње и радника одржавања али и до њихове боље међусобне сарадње. Радници Службе одржавања преношењем дела одговорности и обавеза на Службу производње могу се више посветити новим методама одржавања према стању као и унапређењима техничких система како би се могућност појаве отказа елиминисала.

Наведена дискусија доказана је у великим предузећима и компанијама које располажу великим бројем запослених и чија је организациона структура дефинисана на начин да омогућава примену свих аспеката научног и ТПМ приступа одржавању. Поставља се питање на који начин приступити проблему у случају МСП која имају ограничене ресурсе и у већини случајева немају специјализовану службу одржавања.

Анализирајући све речено, ова дисертација има задатак да дефинише за МСП оптимални концепт унапређења пословања базиран на одржавању као носиоцу програма и ТПМ-у као концепту који одржавање помера из традиционалног фокуса на отказ у потпуно нову улогу унапређења ефикасности и ефективности производних процеса. Традиционални концепт имплементације ТПМ-а предложен у (Nakajima 1988) показао се као веома изазован за МСП јер подразумева потпуну имплементацију пет стубова ТПМ-а, што је велики и нерешив изазов за МСП. Концепт АММИС предложен у (Baglee & Knowles 2010; Baglee et al. 2008; Vamber et al. 1999) такође је лимитиран чињеницом да занемарује у потпуности улогу безбедности и здравља на раду као и цео један сегмент Превентивног одржавања, а то је превентивно одржавање према стању. Фокус даљих истраживања ове дисертације има задатак да дефинише нови модел ТПМ-а прилагођен имплементацији у МСП, заснован на одржавању као основном стубу свих активности који укључује безбедност и здравље на раду као и рано управљање опремом, као корак ка елиминацији потребе за одржавањем, и коришћењу Превентивног одржавања према стању односно СВМ. Са развојем нових технологија које резултирају 4. индустријском револуцијом, развојем паметних сензора и могућности повезивања техничких система са базама података кроз Cloud, отварају се нове могућности за примену Превентивног одржавања према стању у МСП. Важан корак у остваривању ове стратегије представља и истраживање (Gligorijevic et al. 2016), које је имало за циљ иновацију у области раног откривања отказа применом нових математичких алгоритама. Ово истраживање чини саставни део новог модела ТПМ-а прилагођеног имплементацији у МСП.

5. Интеграција савремених принципа и метода Превентивног одржавања према стању у концепт ТПМ-а

5.1 Превентивно одржавање према стању

Превентивно одржавање према стању (енгл. Condition Based Maintenance - CBM), представља (уз проактивно одржавање) најсавременији концепт у одржавању техничких система (Dieulle et al. 2001; Han & Song 2003; Moysa 2004) који је иницијално уведен у индустријску праксу у циљу повећања ефикасности одлучивања и спровођења активности планираног одржавања (Martin 1994). У литератури се овај концепт често назива предиктивно одржавање (енгл. Predictive Maintenance - PdM), при чему ће у даљем тексту за идентификацију овог концепта бити коришћена латинична скраћеница „CBM“ која је глобално прихваћена и у научним и у индустријским оквирима, као и термин Превентивно одржавање према стању који је стандардизован за употребу на српском говорном подручју.

Превентивно одржавање према стању, односно CBM, представља концепт одржавања техничких система у коме се све препоруке, одлуке и активности одржавања базирају на прикупљању, обради и анализи информација о стању техничких система у току њиховог експлоатационог века (Jardine et al. 2006).

Научни основ за иницијализацију концепта CBM представљала су истраживања која су указивала да највећи број отказа у техничким системима не наступа изненада и без најаве, већ да су откази праћени раним симптомима и индикацијама које су могле бити идентификоване, односно да су, базирано на тим информацијама могле бити предузете активности које би продужиле животини век и омогућиле боље управљање техничким системима (Ahmad & Kamaruddin 2012). Врло значајан бенефит имплементације концепта CBM представља не само подршка у одлучивању за предузимање мера на одржавању, већ подједнако и подршка у избегавању свих активности које нису биле потребне. Наиме, успостављање ефикасног и ефективног програма одржавања подразумева смањивање свих облика трошкова при чему редуковање броја непотребних активности предвиђених програмом превентивно-планског одржавања може резултовати значајним уштедама (Jardine et al. 2006).

Основу CBM чине методе за **мониторинг стања** (енгл. Condition Monitoring - CM) техничких система. Мониторинг стања подразумева дефинисање тзв. дијагностичких параметара чије се вредности прате у циљу утврђивања промене стања посматраног техничког система и постојања евентуалних поремећаја у функционисању.

Резултати мониторинга стања користе се за две веома важне активности концепта CBM (Jardine et al. 2006):

- дијагностика отказа (енгл. Diagnostics) и
- прогностика отказа (енгл. Prognostics)

Дијагностика отказа обухвата анализу података прикупљених кроз мониторинг стања, у циљу детекције, изолације и идентификације отказа или његових раних симптома. Детекција отказа представља идентификовање ненормалних и нерегуларних појава на посматраном техничком систему или стања која им непосредно претходе, односно потенцијално воде ка отказу. Изолација отказа представља откривања локације отказа док идентификација отказа представља утврђивање узрока, природе и карактеристика отказа (Martin 1994).

Прогностика отказа има за задатак да процени вероватноћу настанка отказа у будућности и очекивано време његовог настанка. Резултат процедуре прогностике представља процењено време до отказа (енгл. Estimated Time To Failure – EТTF), односно преостало време експлоатације (енгл. Remaining Useful Life – RUL), који се као термин и чешће среће у литератури (International 2004; Medjaher et al. 2012).

Прогностика отказа представља скуп активности које се спроводе пре него што дође до отказа са циљем његове превенције док се дијагностика отказа спроводи по настанку отказа или у његовим раним фазама. Ове две активности не искључују једна другу јер ако процес прогностике не буде успешан и до отказа ипак дође, онда је неопходно спровести поступак дијагностике отказа (Jardine et al. 2006).

Према (Lee et al. 2004) CBM програм се састоји од три основна корака:

1. **Аквизиција података** – прикупљање информација и мерење вредности дијагностичких параметара релевантних за одређивање стања посматраног техничког система;
2. **Обрада података** – процесирање и анализа прикупљених података и измерених сигнала у циљу бољег разумевања и доношења одговарајућих закључака;
3. **Доношење одлука** – дефинисање препоручених активности одржавања као и термина, односно рокова за њихово спровођење, у циљу постизања оптималног односа постигнутих резултата, ефективности опреме и трошкова одржавања.

Аквизиција података, као процес прикупљања и чувања измерених и прикупљених података са одабраних техничких система, представља кључни корак у

имплементацији СВМ програма, имајући у виду да кроз мониторинг стања обезбеђује информације за спровођење дијагностике и прогностике отказа. Активности које се спроводе у оквиру овог корака подразумевају решавање значајног броја проблема као и избор одговарајућих метода, алата, инструментације, софтвера, информатичке подршке итд.:

- начин спровођења поступка мониторинга стања: постоје два основна начина, док опрема ради (енгл. on-line) или док опрема није у функцији (енгл. off-line)
- континуитет и динамика мониторинга: дисконтинуално, односно у предефинисаним мерним интервалима (дневно, недељно, месечно, годишње или у складу са реализованим радним сатима) или континуално
- дијагностички параметри: индиректни или посредни дијагностички параметри (вибрације, температура и продукти хабања у уљима за подмазивање) данас се интензивније користе у односу на директне, радне параметре (притисак, проток, сила, итд.).
- сензори за мерење вредности дијагностичких параметара: данас је у употреби изузетно велики број сензора различитих димензија, принципа рада, прецизности, начина за монтажу, отпорности на спољашње утицаје, ценовног ранга итд.
- системи за аквизицију измерених података: интензиван технолошки развој, посебно развој електронике довео је до појаве нових генерација система за прикупљање и иницијалну обраду измерених података (појачавање, филтрирање и припрема за пренос или складиштење) који су данас веома компактни, преносни, једноставни за употребу и имају значајно нижу цену у поређењу са ситуацијом од пре само неколико година.
- системи за пренос података: развој и интензивна употреба система за бежични пренос података довели су до промене у начину на који се посматра проблем преноса података у индустрији, са мерног места до места на коме се врши обрада података. И поред одређених недостатака бежични системи преноса преузимају примат и почињу да потискују традиционалне жичне системе преноса.
- складиштење података: некада врло озбиљан проблем везан за складиштење велике количине података добијених кроз мониторинг стања, посебно у дужем временском периоду, данас је, услед развоја складишних могућности компјутерске меморије, постао практично ирелевантан, имајући у виду да је у интерним или екстерним базама података могуће сместити теоријски чак и неограничену количину података.
- софтверска подршка: софтверски пакети за мерење и аквизицију данас су саставни део не само напредних система за компјутерски подржано управљање одржавањем (Computerised Maintenance Management Systems – CMMS), већ су

доступни и у већем броју индивидуалних решења прилагођених раду на рачунарима у Windows окружењу или мобилним уређајима и платформама.

У оквиру аквизиције података подједнако је важно да се прикупљају резултати мониторинга стања али и подаци о свим релевантним догађајима на посматраном техничком систему. У пракси је чест случај да се занемарује прикупљање података о догађајима и да се програм СВМ своди на мониторинг стања. Разлози леже, пре свега, у чињеници да се подаци о догађајима морају ручно прикупљати и уносити у систем, као и у погрешној претпоставци да ће резултати мониторинга стања бити сасвим довољни за доношење релевантних одлука. Паралелно и равномерно организована аквизиција обе врсте података, на посматраном техничком систему, веома је важна јер су подаци о догађајима значајни не само у кораку који се односи на доношење одлука већ представљају један од најзначајнијих извора информација за унапређење и евентуални редизајн успостављеног система за СВМ.

У оквиру корака **обrade података** прво се врши припрема измерених и прикупљених података за даљу обраду и анализу. Циљ је да се различитим техникама и алатима филтрирања уклоне некорисни и непотребни делови података како не би негативно утицали на наредне фазе. Прикупљени подаци могу бити у једноставној форми бројчаних вредности (анализа уља, температура, притисак), таласном облику (вибрације) или мултидимензионалном облику (термовизија) (Jardine et al. 2006). Различити модели технике и алати су развијени у циљу анализе података добијених у таласном или мултидимензионалном облику. Ова фаза се назива обрада и анализа сигнала и у основи постоје три основне категорије за анализу података који се налазе у таласном облику:

- **Анализа у временском домену** која је базирана на директној анализи података у таласном облику при чему се врши одређивање карактеристичних одлика сигнала кроз израчунавање статистичких параметара као што су средња вредност, peak вредност, peak-to-peak вредност и интервал, стандардна девијација, средње квадратно одступање, crest фактор, kurtosis, skewness, итд. (Almeida et al. 2002). Ови параметри се називају карактеристике временског домена.
- **Анализа у фреквентном домену** се базира на трансформацији сигнала из временског у фреквентни домен. Предности анализе у фреквентном домену налазе се у могућности да се једноставно идентификују и издвоје компоненте сигнала одређене фреквенције. Основна идеја анализе спектра сигнала у фреквентном домену јесте да се омогући сагледавање целог спектра али и детаљна анализа одређених делова који одговарају фреквенцијама које су означане као значајне или критичне са аспекта утврђивања стања посматраног

техничког система. Најшире коришћена техника за фреквентну анализу спектра јесте брза Фуријеова трансформација (FFT).

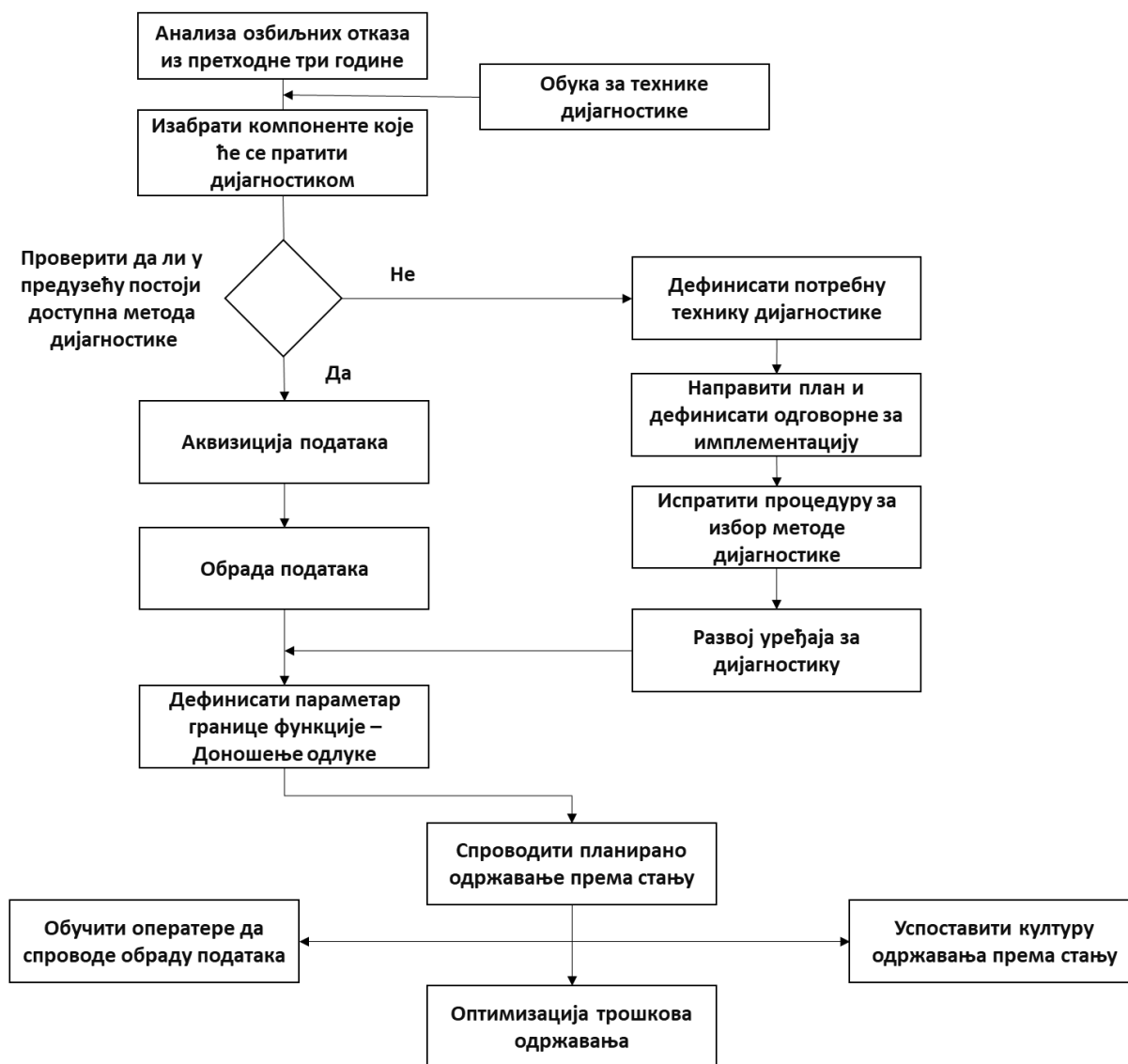
- **Временско - фреквентна анализа** представља резултат покушаја да се превазиђу утврђени недостаци анализе у фреквентном домену који се односе на немогућност обраде нестационарних сигнала који су веома чести приликом настанка отказа на техничким системима. У том циљу је развијена временско-фреквентна анализа која омогућава посматрање нестационарних сигнала и у временском и у фреквентном домену (Sejdić et al. 2009). Резултат временско-фреквентне анализе представља спектар снаге посматраног сигнала као дводимензионална функција времена и фреквенције и који омогућава бољу анализу и прецизнију дијагностику. Најчешће коришћене технике јесу специјални облик Фуријеове трансформације - Short-time Fourier transform (STFT) (Sejdić et al. 2009) и Wigner–Ville дистрибуција (Baydar & Ball 2001).

Последњи корак у оквиру СВМ програма представља **доношење одлуке**. Правовремена и адекватна одлука о предузимању (или непредузимању) одговарајућих активности на одржавању представља најважнији, често критични елемент, не само у оквиру функције одржавања већ и генерално на нивоу целог производно-пословног система. Технике обезбеђивања подршке у доношењу одлука у одржавању, базирани на имплементираним СВМ програмима, могу се, као што је већ речено, поделити у две основне категорије: дијагностика и прогностика. Јасно је да је, у својој основи, прогностика напреднија техника од дијагностике, имајући у виду да је усмерена ка предвиђању тренутка настанка отказа у циљу његове превенције. Међутим, прогностика никада не може у потпуности заменити дијагностику с обзиром на то да је немогуће постићи ни апсолутну тачност прогнозе нити прогнозирати све могуће отказе. Због тога је дијагностика отказа неопходна и незаобилазна активност у оквиру СВМ програма. Осим директног утицаја на доношење одговарајућих одлука у одржавању, информације и сазнања добијених дијагностиком могу бити веома корисне за унапређење модела прогностике као и за спровођење активности на редизајну техничког система.

Дијагностика отказа представља процедуру мапирања информација добијених мерењем и посматрањем, односно праћењем понашања техничког система. Ова процедура мапирања се често назива и препознавање обрасца понашања (Jardine et al. 2006). У традиционалном приступу ово се обавља ручно, упоређивањем различитих графичких облика снимљених и обрађених спектра измереног сигнала са теоријским обрасцима који дефинишу карактеристичне облике неправилног функционисања или отказа компонената техничког система. Овакав поступак подразумева значајни утросак времена као и обучене и искусне стручњаке за анализу резултата. Због тога се интензивно ради на развоју техника и алата за аутоматско препознавање образаца

понашања техничких система и њихових елемената. Основни приступи су базирани на примени статистичких метода и алата односно на примени метода вештачке интелигенције. Имплементација програма одржавања базираног на концепту Превентивног одржавања према стању – CBM, подразумева спровођење низа активности и мера у зависности од карактеристика компаније, опреме, расположивих људских и материјалних ресурса итд. У литератури се може наћи већи број конкретних модела и препорука за имплементацију концепта CBM (Xia et al. 2013; Gulledge et al. 2010; Fangji et al. 2910).

На слици 5.1 приказан је алгоритам препоручених корака за имплементацију превентивног одржавања према стању базиран на препорукама индустријске литературе из области TPM (Nakano 2003):



Слика 5.1 Алгоритам имплементације превентивног одржавања према стању – CBM

На приказаном алгоритму могу се уочити два приступа. Први се примењује у случајевима када у предузећу постоје расположиви људски и технички ресурси за спровођење мониторинга стања и дијагностике отказа, односно постоје кадрови који познају принципе, методе рада, имају доступне мерне системе и уређаје и обучени су за њихову примену. Осим тога први приступ подразумева да је, у претходном периоду, извршен избор одговарајућих дијагностичких параметара и да је одговарајућа мерна опрема инсталирана или набављена.

Други приступ се примењује у свим осталим случајевима, када нису одређени дијагностички параметри, не постоји мерна опрема за мониторинг стања или када није могуће комерцијално доступним уређајима извршити мерење изабраног дијагностичког параметра. У том случају мора се приступити детаљнијој анализи потенцијалних узрока отказа (модалитета отказа) као и избору физичке величине коју желимо да пратимо као дијагностички параметар. Такође се врши дефинисање мерних места, интервала мерења, метода за аквизицију и обраду података, итд. Након тога је потребно дефинисати одговарајући мерни уређај или систем који може одговорити дефинисаним захтевима за праћење изабраног дијагностичког параметра имајући у виду фреквенцију мерења и број дефинисаних мерних места.

5.2 Захтеви и изазови за увођење програма Превентивног одржавања према стању (CBM) у индустријску праксу

Иако су напредни концепти одржавања, међу којима се посебно издваја превентивно одржавање према стању – CBM, познати и доступни већ више деценија, ситуација са њиховом практичном имплементацијом у индустријској пракси није задовољавајућа. И даље постоји значајна несразмера у примени CBM техника, метода и алата у одржавању у односу на најзаступљеније концепте корективног одржавања, односно техника превентивно планског одржавања где се недостатак података о стању техничког система компензује скраћивањем интервала за спровођење превентивних активности односно интензивирањем броја и обима активности на одржавању. Оба ова приступа могу имати задовољавајуће резултате у случају одржавања техничких система мање сложености као и код техничких система који нису у потпуности експлоатисани. Код савремених, софистицираних, скувих техничких система који раде у условима интензивне експлоатације трошкови отказа и последичних застоја по правилу вишеструко превазилазе све форме трошкова одржавања и у таквим случајевима се концепт CBM намеће као рационалније и практично незаобилазно решење које обезбеђује неупоредиво боље вредности кључних индикатора перформанси (КПИ) производних система.

Разлози за недовољну имплементацију СВМ концепта, метода, техника и алата у индустријској пракси су веома бројни и могу се груписати у следеће четири категорије:

1. Недостатак мерне опреме за спровођење мониторинга стања

Недостатак софистициране опреме за мониторинг стања и праћење кључних дијагностичких параметара, као и релативно висока цена ове опреме, често се наводе као једна од кључних препрека за интензивније увођење СВМ концепта. У оквиру ове категорије могу се утврдити два правца која значајно мењају поглед на сам приступ и начине имплементације СВМ концепта. Први правац се односи на то шта се, у оквиру СВМ концепта, може урадити и без напредне дијагностичке опреме, а други правац се односи на утврђивање врсте и карактеристика дијагностичке опреме која је заиста потребна једном предузећу.

Посматрањем проблема из првог правца може се утврдити да у великом броју производних система, пре свега, не постоји систем прикупљања података о стању техничких система а такође не постоји ни свест о значају ових података. Чак и у предузећима која немају инсталиране системе за континуиран мониторинг стања опреме, нити се користе напредни преносни уређаји за мерење и анализу, одређене, веома важне анализе и процедуре могу се спровести само коришћењем података о стању и догађајима који се прикупљају ручно и за које није потребна било каква дијагностичка опрема. Такође, одређени дијагностички параметри (директни - процесни дијагностички параметри) често се могу пратити искључиво коришћењем мерне опреме која је већ уграђена на техничким системима, при чему је свакако неопходно направити програм праћења и организовати читавање њихових вредности (за уграђене инструменте са аналогним показивањем) или аквизицију података (за инструменте са дигиталним читавањем). Може се закључити да недостатак мерне опреме за спровођење мониторинга стања не може бити оправдање за непредузимање корака у циљу увођења СВМ концепта, односно да је почетак рада на његовој имплементацији ствар свести о потреби и воље менаџмента, а не искључиво ствар набавке мерне опреме.

Што се дијагностичке опреме тиче тачно је да одређени уређаји и даље имају високу набавну цену (пре свега напредни системи за вибродијагностику, дијагностику стања уља и термовизијске камере високих перформанси). Међутим, развојем технике и електронике као и појавом низа нових произвођача дијагностичке опреме на светском тржишту дошло је до значајног пада цена у односу на ситуацију с краја прошлог века. Данас су доступни инструменти средњег нивоа перформанси, који ће задовољити потребе значајног броја корисника, по ценама које су вишеструко ниже и у апсолутном и у релативном односу у поређењу са ситуацијом од пре 5 – 10 година.

Такође је присутна појава већег броја уређаја са ниском ценом, који и поред свих својих ограничења и недостатака могу имати веома значајну примену у индустријској пракси. Примера ради, уређаји за бесконтактно мерење температуре па чак и основне верзије термовизијских камера, данас су доступни и приступачни сваком производном систему, без обзира на његову величину.

2. Недостатак обучених кадрова

Проблем кадрова који ће пројектовати, имплементирати и управљати СВМ концептом представља озбиљнију препреку имајући у виду да су стручни и обучени кадрови кључна карика читавог система. Имајући у виду да су кадрови са одговарајућим знањима и вештинама врло ретки на тржишту рада, компаније могу приступити решавању овог проблема на један од два могућа начина или њиховом комбинацијом.

Први начин представља коришћење екстерних услуга стручних и професионалних лица и предузећа и то како у фази пројектовања и имплементације концепта СВМ тако и у реализацији самог програма. Један од честих проблема који се јавља у овом случају представља стихијско и непланско коришћење екстерних услуга за активности које нису добро испланиране а врло често су и потпуно непотребне. Ово је последица прескакања значјних корака у фази пројектовања програма одржавања, базираног на СВМ концепту, при чему се полази од погрешне претпоставке да што пре треба почети са мерењима (иако нису одрађене неопходне припреме) односно да је мониторинг и дијагностика стања "чаробни штапић" који ће решити све проблеме у одржавању. Последица оваквог приступа јесте реализација активности које подразумевају издвајање значајних финансијских средстава а чији су резултати незадовољавајући. У том смислу је веома битно да се развој и имплементација програма одржавања, базираног на СВМ концепту, обаве кроз прецизно дефинисане кораке и методологију.

Други начин решавања проблема недостатка обучених кадрова представља спровођење програма обуке сопствених кадрова који ће бити у могућности да преузму управљање читавим програмом или неким његовим деловима. Обука сопствених кадрова свакако представља незаобилазан елемент јер, без обзира на степен укључивања екстерних стручњака, неопходно је да и интерно постоје кадрови који познају техничке системе и пројектовани програм одржавања и који су способни да обезбеде његову реализацију.

Коначно треба додати да су кроз развој напредних информатичких решења подржаних елементима вештачке интелигенције значајно унапређене перформансе експертских система за анализу резултата и подршку у одлучивању. На овај начин

се смањује потреба за високостручним кадровима који би радили анализу резултата мерења, односно обраде велике количине података, упоређивање са стандардним обрасцима отказа и доношење одговарајућих закључака и препорука, преноси се на ниво компјутерски подржаних, информационих експертских система.

3. Недостатак финансијских средстава

Проблеми везани за финансирање увођења програма одржавања базираног на СВМ концепту често се наводе као једна од најзначајнијих препрека његовој широј имплементацији. При томе се, по правилу, подразумева да су напредне методе одржавања истовремено и веома скупе и да су резервисане за велике и финансијски моћне компаније или за оне системе који због специфичности опреме и процеса, захтеване расположивости и поузданости, безбедносних, еколошких или других захтева свакако морају имати врло висок ниво одржавања.

Иза оваквог става, обично, не стоји било каква озбиљнија анализа и прецизна калкулација трошкова и бенефита које би подразумевало увођење програма одржавања базираног на СВМ концепту. Процењени трошкови се безразложно мултиплицирају и прецењују а уштеде које се могу постићи углавном се игноришу и превиђају тако да се доносе упрошћени закључци који не одражавају право стање и потребе компаније у делу одржавања и имплементације напредних метода.

Имајући у виду претходно наведене чињенице које се односе на опрему за мониторинг стања, може се закључити да стварни и реални проблем представља избор одговарајуће опреме, која ће у правој мери задовољити потребе једног предузећа, док ће цена опреме представљати фактор секундарног значаја. У том смислу се цена опреме за мониторинг стања мора посматрати у поређењу не само са ценом производне опреме, већ и са свим директним и индиректним трошковима који могу бити редуковани или у потпуности елиминисани применом напредних метода одржавања.

4. Недовољно развијена свест о значају одржавања и потреби увођења напредних метода одржавања

Недовољно развијена свест менаџмента производних система и приступ "то није за нас" доводи до посматрања одржавања искључиво на традиционални начин, прихватајући концепт "док ради – ради". Овакав концепт делом потиче од непрепознавања свих облика губитака који су последица неадекватног одржавања техничких система као и од недовољне информисаности менаџмента.

Посматрано из перспективе менаџмента производних система, могу се идентификовати следеће основне групе потреба и очекивања које се постављају пред CBM концепт и које представљају ограничења и лимите за његову ширу имплементацију у наредном периоду (Dunn 2009):

1. Потреба за унапређењем поузданости и расположивости производне опреме.

Успостављање програма одржавања базираног на CBM концепту спроводи се са основним очекивањем и потребом да се поузданост и расположивост производне опреме увећавају пропорционално напорима и активностима које се реализују у оквиру програма одржавања. Квантификација постигнутих унапређења врши се праћењем вредности стандардизованих кључних индикатора перформанси (КПИ) за одржавање (енгл. OEE Overall Equipment Efficiency, MTBF – Mean Time Between Failure, MTTR – Mean Time To Repair). Свакако да се прогресивно продужење параметра MTBF може постићи модификацијом производне опреме и компонената или уградњом поузданијих компонената, али пре тога треба максимално исцрпети све могућности које у том погледу има постојећа опрема и компоненте. Управо ту се налази и основни задатак и очекивање које се поставља пред CBM концепт, односно било који други концепт одржавања а односи се на потребу да се постојећој опреми продужи експлоатациони век уз повећање поузданости и расположивости до крајњих могућих граница.

Ова потреба намеће, између осталог, императив да резултати дијагностичких поступака буду што прецизнији у циљу одређивања преосталих расположивих ресурса (RUL). Стандардне, традиционалне методологије за спровођење процедура дијагностике и мониторинга стања базиране су на одређеним препорукама и табелама које дефинишу дозвољене, граничне и недозвољене нивое одређених дијагностичких параметара у зависности од типа опреме и њених основних карактеристика. Тако се рецимо у вибродијагностици алармни нивои дефинишу на основу прилично општих препорука које важе за веома широки спектар различите опреме и не узимају довољно у обзир специфичности како саме опреме тако и услова експлоатације и значаја у оквиру производног и пословног система (Todorović et al. 2010).

На основном нивоу имплементације CBM концепта овакав приступ је био прихватљив јер је имао задовољавајуће резултате, али све строжи захтеви, повећане потребе и очекивања имплицирају неопходност за ревидирање приступа. То са собом носи и потребу за значајно сложенијим методологијама спровођења дијагностичких и процедура за мониторинг стања, посебно у делу који се односи на тумачење резултата и дефинисање одговарајућих мера. Оваква потреба је условљена чињеницом да се, у кораку који се односи на подршку при дефинисању одлука, осим основних препорука по питању вредности критичних нивоа посматраних дијагностичких параметара, мора

узимати у обзир и низ других конструкционих, технолошких, експлоатационих, организационих, техно-економских, безбедносних и других показатеља и параметара.

Генерално посматрано свакако да је, на пример, погоршање вибромеханичког стања једног лежаја у потпуној корелацији са његовим експлоатационим карактеристикама и скраћењем очекиваног експлоатационог века, као и да су неке стандардне и опште прихваћене препоруке добра основа за дефинисање активности у одржавању, али је исто тако потребно сваки посебни лежај (нарочито оне одговорне и критичне) посматрати као независан систем са својим специфичностима и у том смислу извршити и одређене корекције препоручених граничних вредности, како би се кроз детаљнији и знатно ригорознији дијагностички поступак постигла очекивана побољшања и унапређења поузданости и расположивости како конкретне компоненте тако и читавог система.

2. Потреба да се што прецизније предвиди отказ опреме односно преостали расположиви период експлоатације. Индустриска пракса је показала да се теоријска очекивања везана за прогностику отказа односно преосталог расположивог периода експлоатације техничког система и његових компонената (RUL) не могу увек и материјализовати у потпуности. Концепт CBM довео је до значајних побољшања уз низ позитивних примера, ефикасно и правовремено утврђених раних симптома отказа који су праћени одговарајућим активностима на одржавању, али су такође бројни и други примери. који се односе на настанак отказа упркос редовном праћењу стања система и компонената.

Разлози за неадекватан одговор упркос уложеним средствима и времену могу се пронаћи у бројним факторима који одређују разлику између теоријског и практичног посматрања проблема. Реални технички системи поседују читав низ специфичности које усложњавају њихово моделирање и апроксимацију, дефинисање дијагностичких параметара, правилан избор мерних места и мерне опреме, дефинисање адекватне мерне процедуре и интервала, тумачење добијених резултата и њихово коришћење за дефинисање акција. У почетку имплементације CBM концепта, овај проценат успешности није био доминантан фактор с обзиром на то да је сваки напредак у односу на традиционалан реактивно - корективни приступ био значајан и важан, па су у складу с тим и позитивни резултати превентивних активности били вишеструко вредновани док се одређеним пропустима није придавала превелика пажња. Такође је била пракса да се у програм укључују пре свега витални, сложени технички системи од великог значаја за производно-пословни систем у целини.

Данас су, међутим, пословни системи постали много мање толерантни по питању отказа производне опреме, технички системи су све комплекснији а пројектовање значајнијих резерви у производним капацитетима (које се могу укључивати у случају

непланираних застоја услед отказа) сматра се превазиђеном, непотребном и неоправданом праксом. То доноси значајно повећање очекивања од СВМ концепта, с обзиром на то да се значајно проширује круг опреме која се у програм укључује, да се спушта праг толеранције према отказу као прихватљивом фактору (тренд постављања нула-отказа као реалног и остваривог циља) и да се очекује брз и мерљив повраћај инвестиција које су пласиране у увођење и имплементацију СВМ концепта.

3. Потреба за увидом у целокупно стање опреме. Примарно је приликом увођења одређених техничких система у СВМ концепт пажња била фокусирана углавном на једну, најкритичнију компоненту или подсистем (нпр. лежај, зупчасти преносник, итд.) уз дефинисање најчешће само једног дијагностичког параметра који указује на њено стање. Резултати поступка мониторинга стања коришћени су за дефинисање временског тренутка у коме се систем плански искључује у циљу отклањања проблема, односно замене критичне компоненте. Тај плански застој је обично коришћен и за дијагностику стања осталих компонената и подсистема и за спровођење осталих активности на одржавању уколико се укаже потреба. Време застоја, у том смислу, није могло бити прецизно унапред планирано с обзиром на то да није било познато које ће додатне активности бити потребно предузети (замене додатних компонената, време чекања на испоруку делова, итд.) Овакав приступ, на данашњем нивоу техничког развоја, у условима перманентног повећања захтева и потребе за очувањем конкурентности на тржишту, није у потпуности прихватљив, односно мора се тежити унапређењу СВМ концепта у циљу обезбеђивања увида у стање целокупне опреме. У том смислу се пројектанти система одржавања не могу задовољити само праћењем стања најкритичнијих компонената већ обезбеђивањем увида у целокупно стање посматраног техничког система, што треба да омогући прецизно дефинисање и планирање активности на одржавању. Проблеми који проистичу из оваквог захтева су веома бројни а везани су за:

- дефинисање дијагностичких параметара и метода за мониторинг стања условно мање критичних компонената и подсистема,
- дефинисање адекватних интервала за спровођење дијагностичких процедура и поступака мониторинга стања како би се максимално искористила расположива мерна опрема и како би се са расположивом опремом покрила што већа група техничких система,
- интеграција резултата процеса дијагностике и мониторинга, који су добијени различитим дијагностичким процедурама и инструментима, у свеобухватни, интегрисани опис стања техничког система,
- адекватно планирање и дефинисање активности на одржавању у циљу постизања максималног искоришћења расположивих ресурса и смањења свих облика трошкова, имајући у виду ризик од настанка изненадних и неочекиваних отказа.

4. Потреба за смањењем одступања резултата дијагностике и мониторинга стања.

Индустријска пракса је показала да, без обзира на теоријске претпоставке и дефинисане перформансе мерне опреме, увек постоје мање или веће варијације и одступања у добијеним резултатима мониторинга техничких система у току одређеног временског интервала. Ова одступања су углавном објашњавана стандардним грешкама мерења и одступањима услова испитивања, односно варијацијама дијагностичких параметара. Поштравање захтева који се постављају пред СВМ концепт подразумева и потребу да се повећа прецизност резултата, односно да се смање одступања која настају у процесима дијагностике и мониторинга.

Правци за постизање овог циља су вишеструки а односе се на унапређење мерних система и инструмената, увођење интегрисаног праћења више дијагностичких параметара и анализе њихове интеракције и међузависности, унапређење софтверских пакета за анализу резултата мерења и увођење савремених инжењерско-математичких алата за напредну обраду података, као и увођење праћења релевантних процесних параметара и параметара који дефинишу утицај околине паралелно са мерењем одабраних дијагностичких параметара.

5. Потреба за смањењем трошкова дијагностичких и мониторинг процедура.

Овај захтев је у одређеном смислу опречан у односу на претходно наведене с обзиром на то да постоји потреба за повећањем броја техничких система који се укључују у програм Превентивног одржавања према стању, повећањем прецизности резултата и увођењем приступа којим се обезбеђује увид у целокупно стање опреме, док са друге стране очекује се да се пратећи трошкови спровођења програма дијагностике и мониторинга смањују или да се барем не увећавају.

Један од праваца усмерен је на редуковање трошкова везаних за набавку и инсталирање опреме за дијагностику и мониторинг стања, при чему су ту могућности доста ограничене. Известан пад у ценама опреме је евидентан али недовољан за постизање значајнијих уштеда. Постоји, међутим, простор да се кроз процедуру избора адекватне мерне опреме постигну одређене уштеде при чему ће се перформансе опреме прилагодити реалним потребама. Други правац за постизање редукација трошкова везан је за кадрове који раде на имплементацији и управљању програмом одржавања базираном на СВМ концепту.

У претходном периоду се подразумевало да ове процедуре спроводе високо квалификовани, тренирани и искусни појединци, али је евидентан тренд да се смањи ниво квалификационе структуре особа које су задужене за техничку дијагностику и мониторинг стања. У том смислу и произвођачи мерне опреме пласирају на тржиште различите облике „паметних“ софтвера и експертских система, базираних на

концептима вештачке интелигенције, који самостално анализирају резултате, доносе закључке и предлажу решења и акције. Овакви експертски системи представљају тренд који заузима све значајнију позицију не само у теоријском делу већ и у индустријској пракси.

Такође је све присутнија примена концепта дијагностике у два нивоа, при чему основна мерења на великом броју техничких система и мерних места спроводе радници који раде на тим системима (кроз програм Аутономног одржавања) док се квалификовани стручњаци укључују само у случају и на местима на којима се утврди нерегуларно стање, односно на којима је потребно спровести сложеније и компликованије дијагностичке процедуре.

6. Потреба за оптимизацијом перформанси техничких система. У претходном периоду основни захтев и критеријум ефикасности, који је дефинисан за техничке системе, односио се на извршавање основних пројектованих функција на задовољавајућем нивоу. Међутим, технолошки развој и пооштрени захтеви који намећу потребу за све већим бројем нових критеријума које технички системи морају задовољити и који постају подједнако важни као и критеријум вршења основне функције система (на пример критеријуми енергетске ефикасности, еколошке исправности, безбедности коришћења, ергономичности, компатибилности са осталом опремом, погодности за одржавање, коришћења нетоксичних, рециклабилних и био-разградивих материјала, итд.). Утицај ових критеријума се прво манифестовао код техничких система за широку употребу, али све већи значај има и у индустријским техничким системима. Поред подразумевајућег критеријума да технички систем мора да врши своју функцију, постало је подједнако важно и како ту функцију врши, односно какав је његов директни и индиректни утицај на радну и животну околину (Маџић 2010).

Овакви захтеви се пре свега решавају на пројектном и конструкционом нивоу, али је и на експлоатационом нивоу потребно обезбедити услове да конкретан технички систем ради у оптималном режиму у коме су задовољени сви пројектовани и препоручени услови рада. Функција одржавања има прворазредни значај у смислу обезбеђивања и очувања ових услова. Такође процедуре, технике и алати одржавања могу се користити у циљу одређивања одступања у функционисању техничког система од режима оптималних перформанси.

Може се закључити да савремени концепти одржавања, пре свега Превентивно одржавање према стању (CBM), представљају веома важан алат у остваривању постављених глобалних циљева сваке компаније који се огледају у постизању поузданог рада свих техничких система уз остваривање оптималних трошкова одржавања (Gulledge et al. 2010). Изазови и очекивања која се постављају пред концепт

СВМ су све комплекснији и строжи, али се и напори на његовој имплементацији валоризују у низу директних и индиректних уштеда, побољшања и унапређења производних и уопште пословних процеса као и безбедности и здравља на раду.

Имајући наведено у виду, веома је важно да се у процесу имплементације система ТПМ посебна пажња да систему односно стубу планираног одржавања, који представља носиоца напредних метода одржавања техничких система. У иницијалној фази ће имплементација планираног одржавања подразумевати увећане трошкове одржавања, пре свега због увођења концепта СВМ као и значајно повећане захтеве у вези са потребним знањем и компетенцијама кадрова који раде на одржавању опреме. Међутим адекватно постављени, организовани и управљани програм планираног одржавања, у оквиру система ТПМ, у синхронизацији и сарадњи са Аутономним одржавањем, представља носиоца унапређења целог производног и пословног процеса на компанијском нивоу и ресурс који може омогућити постизање врло значајних уштеда у пословању.

5.3 Истраживање могућности за унапређење метода имплементације Превентивног одржавања према стању (СВМ) у индустријској пракси

У претходном поглављу наведене су основне групе изазова и очекивања која се постављају пред концепт СВМ као и основни разлози за његову недовољну експанзију, као самосталног концепта одржавања или у оквиру стуба планираног одржавања система ТПМ. У овој тачки ће бити приказани резултати спроведених истраживања која су имала за циљ давање одговора на следећа питања, односно дефинисање прилога у решавању претходно дефинисаних изазова и очекивања:

1. Како додатно унапредити поузданост метода за мониторинг стања производне опреме?
2. Да ли је могуће постићи смањење трошкова дијагностичких и мониторинг процедура у реалним условима?
3. Да ли је могуће додатно унапредити прецизност дијагностичке процедуре, односно могу ли се у реалним условима постићи теоријски дефинисани нивои прецизности?
4. Може ли се, применом напредних електронских и софтверских решења као елемената експертских система за подршку у одлучивању постићи смањивање захтева у вези са стручношћу и квалификационом структуром радне снаге потребне за спровођење дијагностичких и мониторинг процедура као и за анализирање добијених резултата?
5. Може ли се, и у којој мери, унапредити обим у коме се добијени резултати користе као подршка у одлучивању о активностима одржавања на стратешком, тактичком и оперативном нивоу?

Истраживање је реализовано у фабрици Тетра Пака у периоду 2013–2016. на производној опреми која је била у режиму интензивне експлоатације (три смене, седам дана у недељи). Ради се о опреми за производњу папирне амбалаже која обједињује технолошке процесе штампе, ламинирања и сечења. Осим услова интензивне експлоатације важно је напоменути да сви делови опреме раде у режиму врло великих радних брзина.

Дефинисани програм истраживања подразумевао је два кључна елемента:

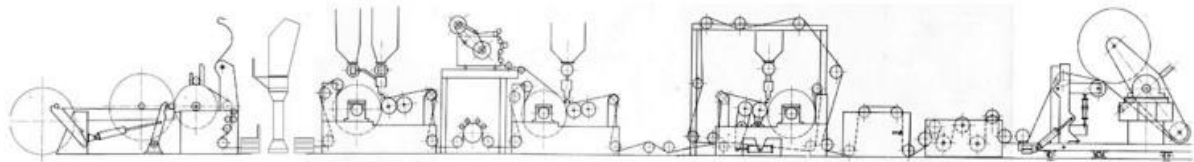
Мониторинг стања одабраних елемената производне опреме и то коришћењем система за континуирано праћење вибромеханичког понашања као и мониторинг стања додатних елемената производне опреме уз коришћење ручног преносног уређаја за вибродијагностику.

Анализа могућности за имплементацију и коришћење напредних алата и метода за анализу резултата у циљу аутоматизације процеса и смањивање утицаја и улоге људи у процесу постављања дијагнозе и дефинисања препорука за одлучивање.

Резултати истраживања су публиковани у радовима под називом:

- Online Condition Monitoring of Bearings to Support Total Productive Maintenance in the Packaging Materials Industry (Gligorijevic et al. 2016) и
- Early fault detection and diagnosis in bearings for more efficient operation of rotating machinery (Brkovic et al. 2016)

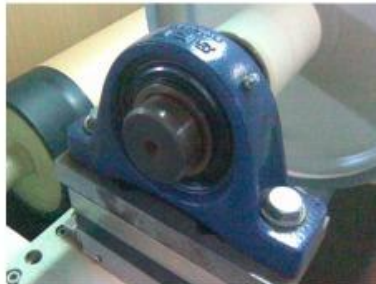
Производни процес у фабрици Тетра Пак, индустрији производње паковања за течну храну, мора бити веома ефикасан уз остваривање ниских трошкова производње. Производни процес се одвија на опреми која има велики број ротирајућих елемената и где се захтева висок ниво поузданости опреме и безбедности радника (слика 5.2). Производња материјала за паковање, базираног на картону као основној сировини, одвија се у три основна процеса, штампа, ламинирање и сечење. Сви наведени процеси се одвијају у условима велике брзине одмотавања ролне картона при чему брзине достижу и до 1000 м/мин. Ваљци улежиштени у котрљајним лежајевима као и електромотори представљају најзаступљенији део опреме. Откази лежајева, који раде на великим бројевима обртаја и изложени су великим оптерећењима услед захтева технолошког поступка, имају значајан удео у укупном броју отказа на опреми. Отказ котрљајног лежаја се дешава постепено и том приликом долази до појаве вибрација. Због тога је веома важно избећи убрзано погоршање стања лежајева, смањену поузданост као и неочекиване отказе. Анализирајући тренутни систем одржавања у фабрици закључено је да се врши периодична вибродијагностика котрљајних лежајева, са интервалом од две седмице, коришћењем ручног преносног уређаја за дијагностику и анализу резултата, што омогућава висок ниво поузданости опреме (Tetra Pak).



(а)



(б)



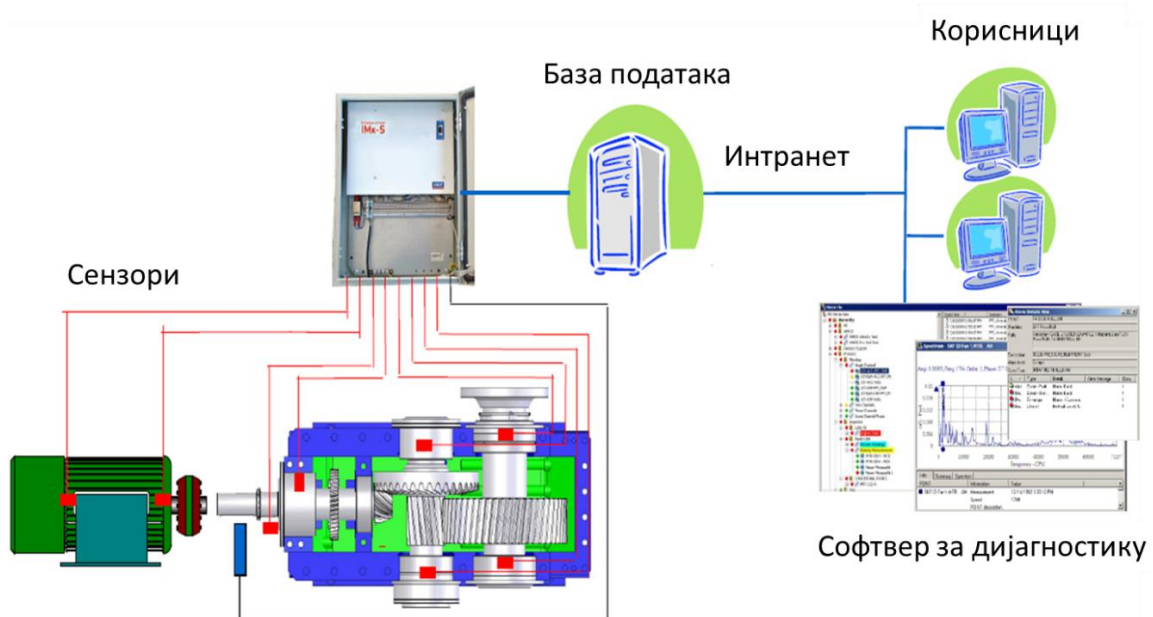
(в)



(г)

Слика 5.2 Ламинатор (а) и основни елементи ротационих система – ваљак (б), котрљајни лежај (в), електромотор (г)

Међутим, на неколико критичних тачака уочена је потреба за фреквентнијим мерењем и анализом што захтева додатне ресурсе и ангажовање више радника одржавања са знањем коришћења уређаја за вибродијагностику, што није могуће обезбедити. Уочена је потреба за инсталацијом модерне опреме која у реалном времену врши мониторинг стања котрљајних лежајева уз додатак софтвера за аутоматизовану обраду података. Оваква опрема штеди време радницима Службе одржавања и истовремено на објективан, поуздан и брз начин омогућује адекватну оцену стања лежаја. Како је ова врста сензора и софтвера доступна на тржишту, Тетра Пак је инсталирао један овакав систем, приказан на слици 5.3.



Слика 5.3 Модеран систем за праћење стања котрљајних лежајева

Сензори постављени на мерна места континуално прате стање критичних лежајева чији је отказ у прошлости проузроковао дуге застоје праћене високим трошковима изазваним отказом. Пошто фабрика производи више десетина различитих производа користећи исту опрему, софтвер за дијагностику који је комерцијално доступан показао је одређене недостатке у тумачењу уочених резултата, па се указала потреба за развојем нове аутоматизоване технике за рано откривање отказа која би била тестирана и инсталирана на опреми Тетра Пака.

Истраживањем доступне литературе уочено је да постоје одређене технике за рано откривање отказа које се базирају на анализи сигнала вибрација, а које су се појавиле релативно скоро (Slavic et al. 2011). Генерално посматрано, процес ране детекције отказа можемо поделити у три корака:

- прикупљање података,
- екстракцију карактеристичних обележја сигнала и
- класификацију резултата.

Ефективна обрада података представља кључни корак за добијање корисних информација из измереног сигнала и у том смислу се користе технике анализе у временском а посебно у фреквентном домену коришћењем брзе Фуријеове трансформације (FFT) (Tandon & Choudhury 2007). Међутим, како је у претходном делу овог поглавља наведено, технике базиране на FFT нису погодне за обраду нестационарних сигнала.

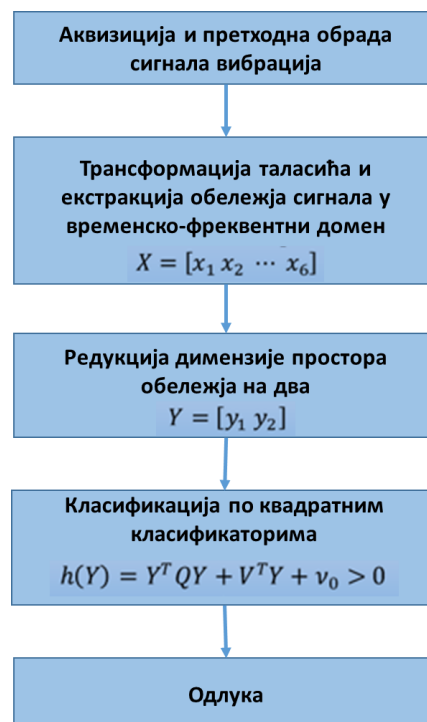
Како сигнали вибрација често садрже и нестационарну компоненту, за успешно рано предвиђање отказа веома је важно разумети и те елементе што подразумева неопходност примене додатних техника за анализу нестационарних сигнала. Стандардно коришћене технике као што су временско-фреквенцијска дистрибуција, на пример Wigner–Ville дистрибуција (ВВД) (Russell et al. 1998) и краткотрајна Фуријеова трансформација (Short Time Fourier Transformation - STFT) (Koo & Kim 2000) такође имају своје недостатке.

У том циљу је анализирана могућност коришћења тзв. Wavelet трансформација, односно трансформација таласића, која према теоријским изводима решава неке од наведених недостатака. Она обезбеђује добро разлагање сигнала на различите фреквенције са различитим резолуцијама, односно обезбеђује временско-фреквентну димензију у приказивању сигнала. Према томе, трансформација таласића је широко примењена у анализи сигнала вибрација и екстракцији обележја сигнала погодних за рано откривање отказа.

Класификација као следећи корак директно зависи од претходно екстрактованих обележја сигнала. Приликом екстраковања обележја сигнала наилазимо на широк

спектар различитих карактеристичних обележја која можемо користити за рано откривање отказа. Обележја базирана на примени елемената вештачке интелигенције, односно вештачким неуромрежама (енгл. artificial neural networks) (Lazzerini & Volpi 2013; Samanta & Al-Balushi 2003; Samanta et al. 2006) и фази логици (енгл. fuzzy logic) (Lou & Loparo 2004; Lei et al. 2008) омогућавају веома поуздану класификацију. Међутим, недостатак поменутих техника класификације јесте да оне захтевају значајну обуку кадрова који треба да спроводе ове процедуре. Оне такође имају велики број параметара који се морају изабрати и подесити како би се добили примењиви резултати (Stepanic et al. 2009). Према томе постоји велика потреба да се процес класификације поједностави, убрза и да му се повећа тачност коришћењем што мањег броја обележја и параметара.

Сprovedена истраживања су резултирала у дефинисању и предлагању нове, унапређене технике за рано откривање отказа. На слици 5.4 приказан је алгоритам предложене технике који има неколико корака.



Слика 5.4 Алгоритам нове технике за рано откривање отказа

Први корак представља прикупљање сигнала као и њихову претходну обраду која обухвата нормализацију и сегментацију. Сигнали вибрација су нормализовани како би се смањило утицај њихове величине на прецизност. Иако су сигнали снимљени у реалном времену по фреквенцији узорковања од 12.000 Hz, они су даље обрађени у подопсезима од 1024 узорка сваки, што омогућава бржу примену технике као и истовремено бележење свих фреквенција које садрже грешку, што је од посебног интереса.

У **другом кораку** после примене трансформације таласића на сигнал вибрација, шест обележја су екстракована у временско-фреквентни домен. Стандардна девијација је коришћена као мера просечне и релативне енергије у сваком поддомену пошто су сигнали вибрација били претходно нормализовани.

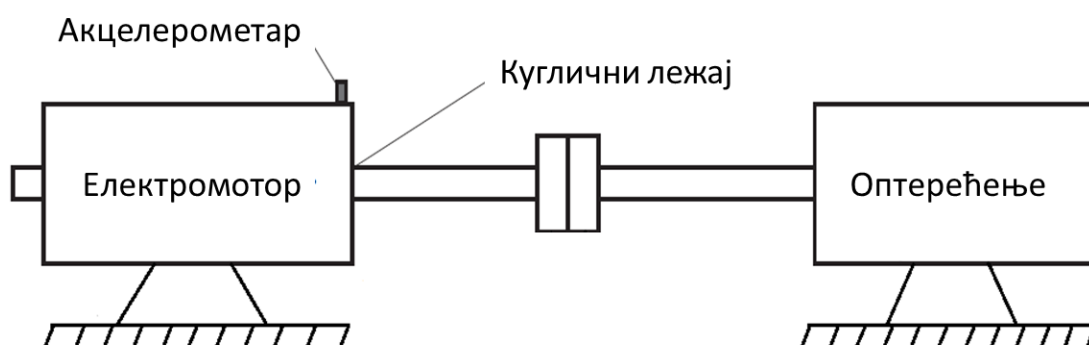
У **трећем кораку** димензија простора обележја сигнала је оптимално редукована коришћењем две матрице расипања узимајућу у обзир њихов редослед. Редукција димензије простора на два елемента омогућава много бољу визуелизацију класификованих резултата.

У **четвртном кораку** су креирана укупно три квадратна класификатора (Fukunaga 1990), један за детекцију и два за дијагностику отказа лежаја.

Базирано на класификацији резултата у финалном **петом кораку** донета је одлука о стању лежаја.

Коришћењем новог приступа свеукупна комплексност раног откривања отказа је смањена и у исто време је постигнута висока прецизност у поређењу са доступним техникама које располажу са много комплекснијим алгоритмима.

Пре имплементације нове технике у реалном производном окружењу, њене могућности су тестиране коришћењем података о вибрацијама добијеним од CWRU Bearing Data Center (Lou & Lorago 2004). Ови подаци о вибрацијама су постали стандардне референце у пољу ране детекције отказа лежајева и омогућавају објективно поређење различитих, до сада развијених техника. Куглични лежај SKF 6205-2RS JEM је инсталиран у електро мотором погоњен модел приказан на слици 5.5.



Слика 5.5 Експериментални систем

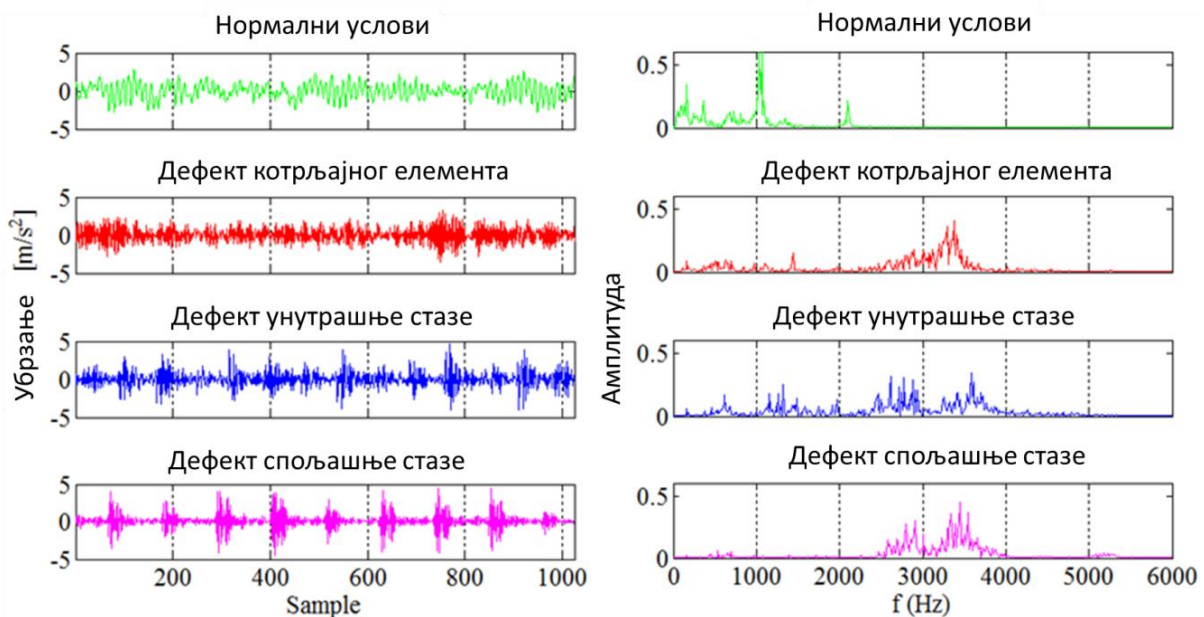
Карактеристичне фреквенције наведеног лежаја су следеће:

- Учесталост спољашње стазе: 5.415
- Учесталост унутрашње стазе: 3.585
- Учесталост кавеза: 0.3983
- Учесталост котрљајног елемента: 2.357

Акцелерометар са опсегом до 5000 Hz и 1V/g излаза коришћен је за прикупљање сигнала вибрација са лежаја. Убрзање је мерено у вертикалном правцу на кућишту излазног дела вратила. Узорковање од 12.000 Hz је довољно узимајући у обзир да фреквенције које нас интересују не прелазе 5.000 Hz. Укупно су прикупљене и коришћене четири групе података:

- Под нормалним условима,
- Са дефектом унутрашње стазе,
- Са дефектом котрљајног сегмента,
- Са дефектом спољашње стазе.

Дефекти (оштећења) пречника од 0.007 до 0.4 инча и дубине од 0.011 инча су независно додати у елементе лежаја. Лежај је тестиран под различитим оптерећењима, на пример 0, 1, 2 и 3 hr, док је излазна брзина вратила била 1730, 1750, 1772 и 1797 о/мин. Само најмањи пречник дефекта је узет у разматрање пошто је предмет интересовања рана детекција отказа. Како би се цела техника учинила робуснијом и мање зависном од величине сигнала, снимљени сигнали вибрација су нормализовани са средњом вредношћу различитом од нуле. Сигнали вибрација прикупљени од четири различите групе дефеката су подељени у 256 сегмената од 1024 узорка сваки, као што је приказано на слици 5.6.



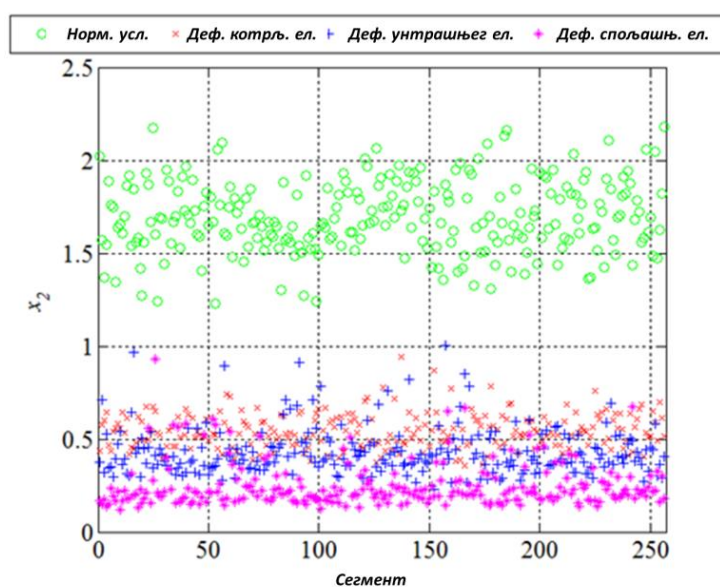
Слика 5.6 Сегменти сигнала вибрација прикупљени под четири различита услова којима је изложен лежај (лево) и фреквенција њиховог спектра (десно)

Дужина сегмената је изабрана на начин да омогућава имплементацију, у реалном времену, предложене технике у индустријским условима. Укупно 1024 сегмента је коришћено, 512 за развој и 512 за тестирање нове технике за рано детектовање отказа лежаја. Базирано на фреквенцији спектра, датој на слици 4.19, можемо приметити да је једноставно детектовати дефект на лежају, док извршити дијагностику није тако

једноставно. Детаљни приказ трансформације таласних и фреквентних опсега снимљених сигнала приказан је у раду (Gligorijevic et al. 2016). Како би се екстраговала карактеристична обележја, пре него што применимо трансформацију таласића, неопходно је да изаберемо основни тип таласа као и број нивоа сегмената у које желимо да разложимо сегменте сигнала вибрација. После анализе неколико основних типова таласа, изабран је Даубијусов (енгл. Daubechius) талас четвртог реда. Он је обезбедио тачност предвиђања дефекта која је виша од 2% до 5% у поређењу са осталим основним таласима. Овај тип таласа има веома добре карактеристике локализације у временско-фреквентном домену услед свог облика и карактеристика фреквенције (Gajic et al. 2015), и због тога је веома погодан за конкретну апликацију. Пратећи декомпозицију таласа у пет нивоа, стандардна девијација добијених коефицијената таласа у сваком фреквентном опсегу је извучена као представник карактеристике сигнала у временско-фреквентном домену. Треба обратити пажњу на то да је стандардна девијација овде коришћена да квантификује просечну и релативну енергију у сваком нивоу фреквенција зато што су сигнали вибрација претходно нормализовани. Укупно по шест карактеристика је екстраковано из сваког од 1024 анализирана сегмента. Екстракована обележја за све четири групе дата су у табели 5.1.

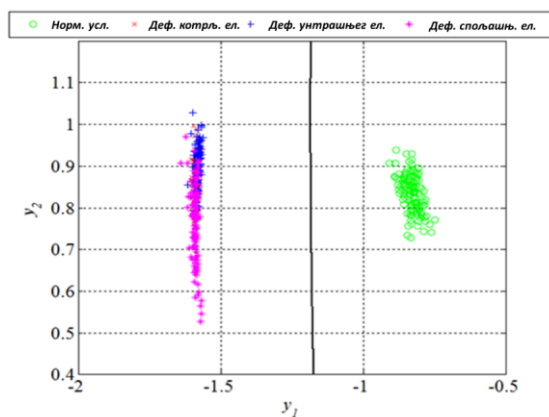
Табела 5.1 Обележја стандардних девијација коефицијената таласа у шест фреквентних опсега

Обележје	Подопсег	Нормално		Деф. котрљ. ел.		Деф. ун. стазе		Деф. сп. стазе	
		μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
x_1	A_5 0–187.5 Hz	2.705	0.585	0.795	0.383	0.728	0.467	0.473	0.484
x_2	D_5 187.5–375 Hz	1.694	0.193	0.545	0.093	0.431	0.126	0.247	0.116
x_3	D_4 375–750 Hz	1.288	0.106	0.636	0.092	0.750	0.058	0.302	0.063
x_4	D_3 750–1500 Hz	1.847	0.199	0.525	0.087	0.919	0.044	0.243	0.056
x_5	D_2 1500–3000 Hz	0.800	0.033	1.239	0.052	1.267	0.057	1.255	0.097
x_6	D_1 3000–6000 Hz	0.220	0.025	1.041	0.035	0.951	0.037	1.083	0.055

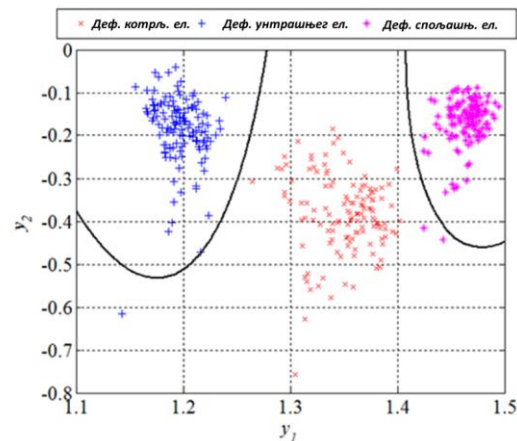


Слика 5.7 Стандардне девијације коефицијената таласа у фреквентном опсегу D_5

Очигледно је да у присуству дефекта на лежају постоји померај у енергији у сигналу вибрација од нижег ка вишем фреквентном опсегу. На слици 5.6 и слици 5.7 примећује се да већина екстракованих обележја имају одређени потенцијал ка детекцији дефекта, али не и за дијагностику дефекта. Због тога је неопходно наћи оптималну комбинацију како би се остварила боља расподела између различитих врста стања лежаја. То се уобичајено ради мапирањем постојећег простора обележја у нови, чије димензије могу бити смањене без значајног губитка информација које много поједностављују процес класификације. Иако је PCA анализа једна од најшире коришћених техника за смањивање димензија простора обележја, у овом истраживању примењена је друга техника базирана на матрицама расипања (Fukunaga 1990) јер је погоднија за решење проблема класификације раније описаног у овом поглављу. Као прво, смањујемо димензију простора обележја како бисмо омогућили детекцију дефекта након чега понављамо исту процедуру како бисмо дијагностификовали откривени дефект као што је приказано на сликама 5.7 и 5.8.



Слика 5.8 Смањење простора и класификација детектованих дефеката



Слика 5.9 Смањење простора и класификација детектованих дефеката

Након смањења димензија простора класификатора дефинисали смо погодне квадратне класификаторе пратећи раније написану процедуру, што представља последњи корак у развоју нове технике за рано откривање отказа. Први квадратни класификатори показани на слици 5.8 раздвајају нормално стање од стања са дефектом, док су друга два квадратна класификатора показана, на слици 5.9, способна да раздвоје сва три различита дефекта на лежају у посебне групе и на тај начин дијагностификују отказ.

Резултати класификације могу бити представљени и помоћу матрице грешке (енгл. confusion matrix) која пореди резултате класификације са референтним подацима, као што је приказано у табели 5.2. Базирано на слици 5.9 и матрици грешке можемо закључити да су сви елементи класификације дефекта котрљајног елемента правилно класификовани.

Табела 5.2 Матрица грешке

Матрица грешке (Улаз/Излаз)	Дефект котрљајног елемента	Дефект унутрашње стазе	Дефект спољашње стазе
Дефект котрљајног елемента	128	1	2
Дефект унутрашње стазе	0	127	0
Дефект спољашње стазе	0	0	126

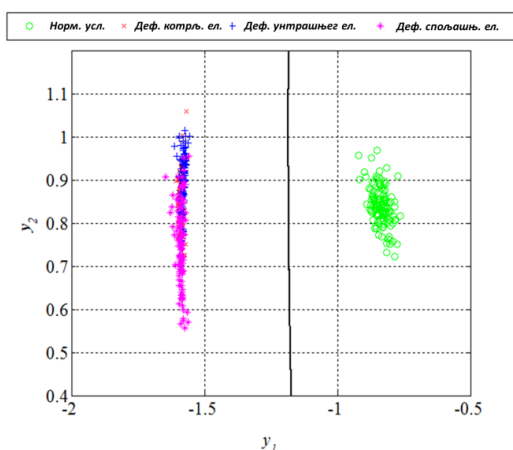
Са друге стране, преостала два сегмента од укупно три нису правилно класификована, класификовани су као да припадају класи дефеката котрљајног елемента.

Статистичке мере учинка као што су сензитивност, специфичност и прецизност нове технике су процењене базирано на резултатима класификације. Сензитивност представља однос тачно класификованих сегмената и укупног броја сегмената у свакој од група посебно. Специфичност је такође израчуната за сваку од три групе посебно и представља однос између броја коректно класификованих обележја друге две групе и укупног броја сегмената у те две групе. Прецизност је прорачуната као однос између броја коректно класификованих сегмената и укупног броја сегмената у све три групе заједно. Добијени резултати су приказани у табели 5.3.

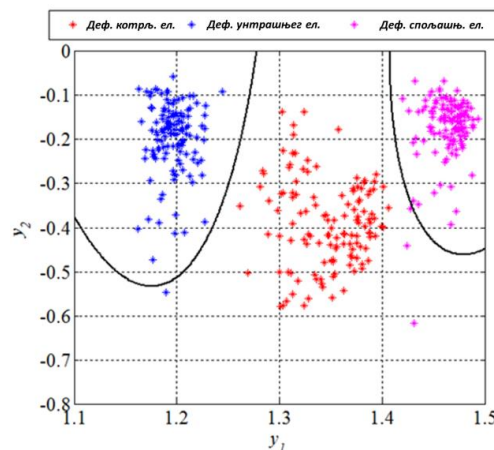
Табела 5.3 Статистичке мере учинка

Тип дефекта	Статистичке мере учинка [%]		
	Сензитивност	Специфичност	Прецизност
Котрљајни елемент	100.0	98.4	
Унутрашња стаза	99.2	99.2	99.2
Спољашња стаза	98.4	99.6	

Насупрот претходно анализираним друга група од 512 сегмената коришћена је да тестира перформансе нове технике за рану детекцију отказа, што је приказано на сликама 5.10 и 5.11.



Слика 5.10 Смањење простора и класификација детектованих дефеката, контролне групе



Слика 5.11 Смањење простора и класификација детектованих дефеката, контролне групе

Матрица грешке и статистичке мере учинка контролне групе приказане су у табелама 5.4 и 5.5.

Табела 5.4 Матрица грешке контролне групе

Матрица грешке (Улаз/Излаз)	Дефект котрљајног елемента	Дефект унутрашње стазе	Дефект спољашње стазе
Дефект котрљајног елемента	128	1	3
Дефект унутрашње стазе	0	127	0
Дефект спољашње стазе	0	0	125

Табела 5.5 Статистичке мере учинка контролне групе

Тип дефекта	Статистичке мере учинка [%]		
	Сензитивност	Специфичност	Прецизност
Котрљајни елемент	100.0	98.4	
Унутрашња стаза	99.2	98.8	98.9
Спољашња стаза	96.6	99.6	

Укупна утврђена прецизност нове технике за рану дијагностику отказа котрљајних лежаја јесте 98,9%. Анализирајући резултате осталих техника тестираних на истим сигнаlima вибрација (Smith & Randall 2015), нова техника је демонстрирала веома добре перформансе које су или боље или једнаке са осталим доступним техникама које користе много комплексније алгоритме, што се може видети у табели 5.6.

Табела 5.6 Упоредна табела прецизности других техника

Референце	Издвајање обележја	Класификација	Прецизност [%]
(Zheng et al. 2013)	Пакети таласића	C1: SVR C2: "one-against-one" SVM	99,00 97,90
(Saidi et al. 2015)	LCD + fuzzy entropy	ANFIS	99,80
(Ali et al. 2015)	HOSA + PCA	"one-against all" SVM	96,98
(Li et al. 2013)	Временско-фреквентни домен	ANN	93,00
(Zhang et al. 2015)	Временски домен	IACO-SVM	97,50
(Liu et al. 2013)	Временски и фреквентни домени	SVM	98,70
(Zhang et al. 2015)	Временски и фреквентни домени	C1: SVM са RBF C2: Wavelet-SVM	91,25 97,50
(Yu et al. 2015)	IMFs растављено са EEMD	SVM with parameter optimized by ICD	97,91
(Xu & Chen 2013)	ННТ и WMSC	SVM	99,30
(Milo et al. 2014)	IMFs растављено са EMD	IPSO-LSSVM	97,50
(Моја 2013)	SAX и DWT	HTMM	99,90

Напомена (енглески): Support vector regressive (SVR), local characteristic-scale decomposition (LCD), support vector machine (SVM), adaptive neuro-fuzzy inference systems (ANFIS), higher order statistics analysis (HOSA), principal components analysis (PCA), artificial neural networks (ANN), improved ant colony optimization (IACO), radial basis function (RBF), intrinsic mode functions (IMFs), ensemble empirical mode decomposition (EEMD), inter-cluster distance (ICD), Hilbert–Huang transform (HHT), window marginal spectrum clustering (WMSC), improved particles warm optimization (IPSO), least squares support vector machine (LSSVM), symbolic aggregate approximation (SAX), discrete wavelet transform (DWT), hierarchical transition matrix model (HTMM).

Уз наведено, потребно је нагласити да су у овој анализи коришћени само сегменти са најмањим дефектом јер је један од основних задатака био да се предвиди отказ у раној фази. Такође је потребно нагласити да су сигнали вибрација били нормализовани пре саме обраде. На овај начин успели смо да превазиђемо једну од главних мана других техника у погледу примене у производном окружењу пошто су многе од њих зависне од амплитуде сигнала вибрација. Коришћење амплитуде се показало као непоуздано у практичној примени јер она варира чак и код лежајева који немају дефект, на пример услед оптерећења.

Следећи корак овога истраживања јесте план да се нова техника примени у производним условима Тетра Пака и да допринесе даљем повећању ефикасности и поузданости опреме као и укупном смањењу трошкова производње.

Реализовано истраживање представља допринос развоју не само процеса дијагностике већ и ТПМ-а. Кроз понуђена решења омогућена је поузданија детекција отказа котрљајних лежајева уз истовремено смањење трошкова дијагностике.

Како би се унапредила конкурентност предузећа, неопходно је имплементирати напредне методе одржавања које ће обезбедити високу поузданост опреме уз високу безбедност радника.

Кориштењем напредних математичких алата и нових софтверских решења знатно се унапређује поузданост метода за мониторинг стања производне опреме кроз примену напредних алгоритама. Бенефит унапређене поузданости метода мониторинга огледа се у померању тренутка идентификовања почетног отказа на временској скали према тачки „S” на припадајућој „P-F” криви, што финално резултира правовременом интервенцијом на опреми, продужавањем ресурса њене експлоатације и финално смањењу експлоатационих трошкова.

Веома је важно нагласити да се применом напредних електронских и софтверских решења као елемената експертских система за подршку у одлучивању може постићи смањивање захтева по питању стручности и квалификационе структуре радне снаге ослањајући се на чињеницу да су напредни алгоритми омогућили прецизно и рано детектовање почетка отказа и смањили потребе у знању кадрова опредељених за спровођење дијагностичких и мониторинг процедура као и за анализирање добијених резултата. Кориштењем напредних система за аквизицију (CDAS – Computer Data Acquisition Systems) података добијених на основу напредних алгоритама обезбеђено је базном кориснику техничког система да на време уочи појаву отказа и реагује адекватно стратегији одржавања.

5.4 Специфичности и перспективе имплементације Превентивног одржавања према стању (СВМ) у малим и средњим предузећима

Разумевајући значај имплементације напредних метода одржавања, велике компаније чине значајне напоре да превазиђу претходно описана ограничења и да имплементирају методологију и технике одржавања континуирано унапређују. У том смислу се Превентивно одржавање према стању – СВМ, намеће као незаобилазан елемент сваке савремене стратегије одржавања у великим компанијама, посебно оним које су своје производне и пословне принципе ускладиле са захтевима ТРМ концепта. С друге стране, мала и средња предузећа (МСП) значајно заостају у овом погледу и та разлика постаје све израженија имајући у виду напредак великих предузећа у погледу унапређења методологија одржавања и стагнацију МСП у том сегменту организације производње и пословања.

Резултати реализованих истраживања (Baglee & Knowles 2010; Jin et al. 2016) показују да, чак и у развијеним индустријским земљама, МСП доминантно базирају своје одржавање на реактивном принципу односно примењују пре свега корективно одржавање. Имплементација активности превентивно-планског одржавања у МСП је на нивоу који је упоредив са великим предузећима, док се процентуално учешће коришћења метода СВМ или проактивног одржавања у МСП не може оценити као задовољавајуће у поређењу са великим предузећима.

Претходно наведени разлози и ограничења за интензивније коришћење метода СВМ постају још израженији када се посматрају из перспективе МСП. Недостатак мерне опреме за мониторинг стања и обучених кадрова за њено коришћење, додатно се потенцира ограниченим средствима за инвестиције у унапређење система одржавања. Ипак, проблем недовољно развијене свести о значају одржавања и бенефитима које увођење напредних метода одржавања може обезбедити једном МСП, вероватно представља и кључни ограничавајући фактор.

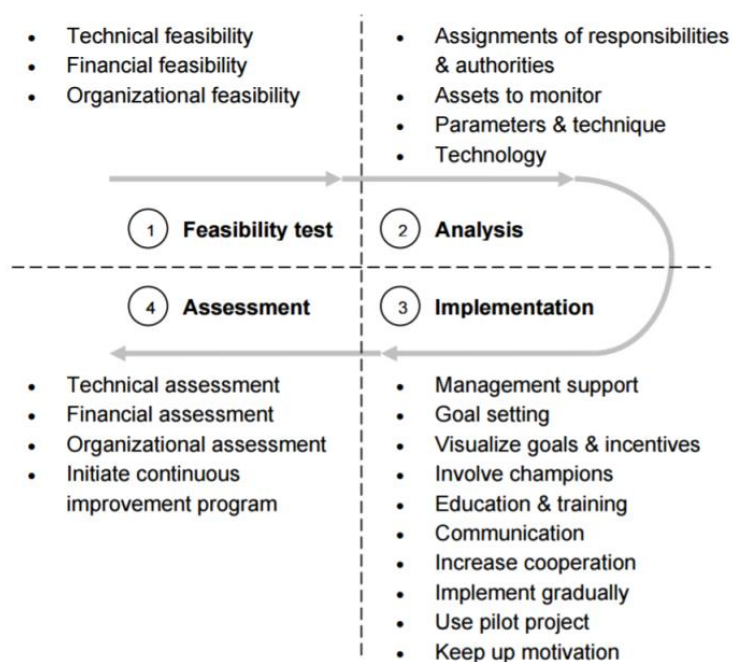
Осим поменутих ограничења, резултати наведених истраживања наводе и додатне, који су карактеристични за МСП (Baglee & Knowles 2010):

– **Фактор времена;** Готово 80% МСП обухваћених студијом изражава резерву према увођењу напредних метода одржавања (СВМ) сматрајући да је потребно значајно време не само за имплементацију већ још више за повратак инвестиција. Једна од кључних предности МСП у односу на велике системе јесте брзина реаговања на захтеве и динамичне промене пословног окружења. Многа МСП базирају свој опстанак на тржишту управо на спремности да брзо одреагују, усвоје нову технологију, лансирају нови производ, изврше неопходне трансформације у циљу задовољавања захтева постојећих и проналажења нових клијената. Стандардни временски интервали у којима

се планира припрема и реализација пројеката унапређења програма одржавања у индустрији често подразумевају период од три до пет година при чему није сигурно да ће се у овом периоду обезбедити и пуни повратак инвестиција у програм одржавања. Пословна динамика МСП често диктира и знатно краће интервале за замену опреме, промену технологије, увођење нових група производа тако да се инвестиција у унапређење одржавања не оцењује као рационална. Постоје и додатни елементи програма унапређења одржавања који се у оквиру МСП оцењују као нерационалан утрошак времена као што су, на пример, обимни тренинзи кадрова.

– **Комплексност процеса имплементације;** У литератури и индустријској пракси постоји већи број модела имплементације напредних програма одржавања и увођења СВМ концепта. Заједничку карактеристику ових модела представља постојање већег броја фаза и активности које је потребно спровести. Примера ради, један од предложених модела (Bengtsson 2007) подразумева четири фазе:

- 1) тестирање изводљивости (у техничком, финансијском и организационом погледу),
- 2) анализа (додељивање задужења и одговорности, одређивање опреме која је предмет мониторинга, избор дијагностичких параметара и техника за њихово праћење, дефинисање технологије спровођења),
- 3) имплементација (обезбеђивање подршке менаџмента, постављање циљева, визуелизација циљева и подстицаја, едукација и тренинг, комуникација, тимски рад и сарадња, постепена имплементација, реализација пилот пројекта, мотивација),
- 4) оцена успешности (у техничком, финансијском и организационом погледу као и успостављање програма континуираног унапређења).



Слика 5.12 Модел имплементације СВМ концепта (Bengtsson 2007)

Овакав модел имплементације (четири фазе, двадесет група активности од којих многе подразумевају читав низ додатних корака које треба предузети) свакако представља форму која по својој комплексности не одговара способностима и капацитетима просечног МСП.

Овome треба додати и објективно веома сложене и комплексне технологије и методе које представљају подразумеване стандардне или напредне алате за анализу измерених вредности дијагностичких параметара и доношење одговарајућих закључака. Као што је приказано на примеру у претходној тачки математички алати који се користе у ову сврху, по правилу, веома су сложени и њихова примена подразумева напредна знања и разумевање од стране корисника.

Последично, резултат претходно наведених основних и додатних ограничења представља одустајање МСП од идеје и потенцијалног пројекта имплементације СВМ концепта већ у иницијалној фази, уз образложење да је то сувише скупо, сложено и апстрактно и да значајно превазилази њихове реалне капацитете и то у техничком, финансијском, људском и организационом смислу.

Изазов који произилази из претходне анализе је веома комплексан и може се описати и образложити следећим тезама:

- Актуелно, глобално тржишно окружење намеће и МСП императив коришћења савремене опреме за производњу која има знатно повећане захтеве у вези са одржавањем,
- МСП морају обезбедити висок ниво ефикасности, поузданости и расположивости производне опреме, одржавање квалитета производа на потребном нивоу уз смањење свих облика директних и индиректних трошкова,
- Занемаривањем функције одржавања и њеног свођења на искључиво корективни приступ озбиљно се доводи у питање могућност обезбеђивања очекиваних вредности кључних индикатора перформанси МСП посебно у случајевима када користе софистицирану производну опрему у условима интензивне, вишесменске експлоатације,
- МСП имају изражену потребу да континуирано раде на унапређењу метода и техника одржавања опреме, у најмању руку на еквивалентном нивоу као и велике компаније. Изостанак оваквог приступа може да директно или индиректно угрози карактеристике МСП које представљају њихову компаративну предност на тржишту у односу на велике компаније,
- Није могуће пројектовати и имплементирати програм одржавања опреме у МСП који би задовољио претходно наведене критеријуме без укључивања напредних метода и концепата одржавања (СВМ али и RCM у одређеним случајевима),

-
- Напредни концепти одржавања, СВМ посебно, представљају озбиљан и сложен изазов за МСП, која најчешће сматрају да за њихову имплементацију немају довољно капацитета,
 - Сваки програм за унапређење одржавања у МСП мора бити прилагођен имплементацији у условима значајних ограничења у стручном, финансијском, кадровском, техничком, организационом и управљачком смислу.

Питање имплементације СВМ концепта у МСП подразумевало би редефинисање постојећих, доступних модела и креирање новог приступа који би морао да задовољи већи део следећих захтева:

- низак ниво почетних инвестиција у опрему и кадрове,
- коришћење приступачне опреме која је једноставна за коришћење,
- кратко време имплементације и повратка инвестиције,
- једноставан за имплементацију,
- без великих захтева по питању стручности људи који спроводе програм, као и оних који организују и управљају његовом имплементацијом и реализацијом,
- без захтева за постојањем кадрова који могу да спроводе напредне математичке анализе измерених сигнала,
- прецизан у смислу постављене дијагнозе,
- врло прецизно одређен по питању предлога активности, њихове динамике и приоритета.

Поставља се питање да ли је уопште могуће позитивно одговорити на све постављене захтеве, односно да ли је могуће дефинисати модел СВМ концепта који би био прихватљив и изводљив за имплементације у типичном МСП имајући у виду сва дефинисана ограничења и специфичне захтеве. Вероватно би пре само 10–15 година одговор био, у принципу, негативан, али је данас овакав модел значајно ближи теоријској и индустријској реалности. Чак и за елементе који нису потпуно развијени и доступни у овом тренутку, јасно је да је само питање времена када ће они постати комерцијално и технички доступни.

Основни фактори који условљавају значајно позитивнији поглед на постављени проблем и доводе изводљивост оваквих пројеката у зону потпуне реалности јесу следећи:

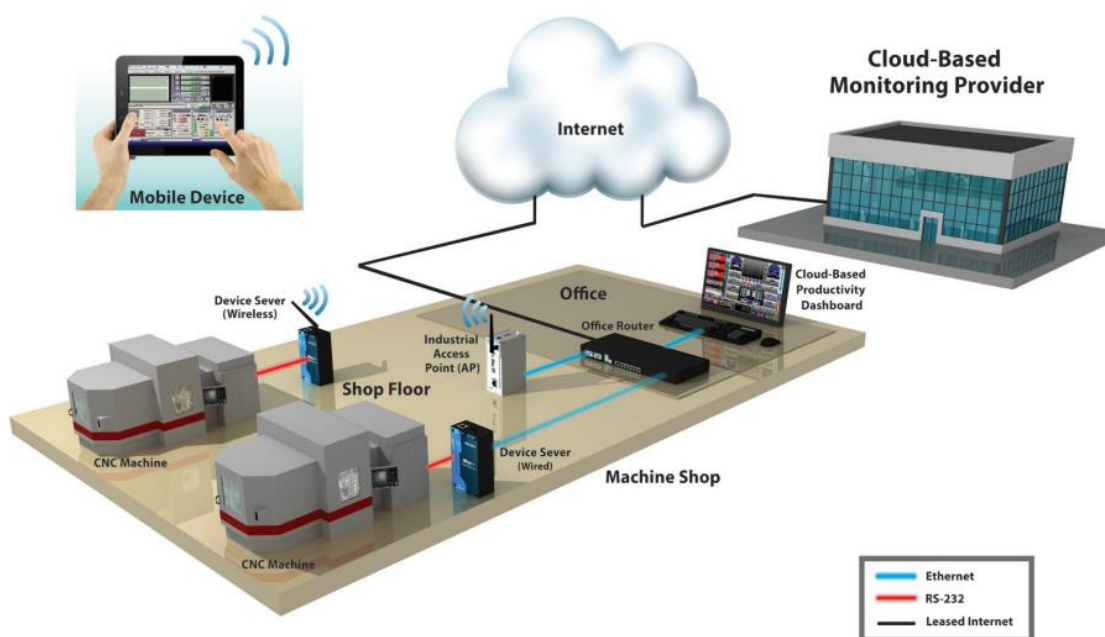
- **Већа доступност и значајно снижење цена уређаја и мерних система за дијагностику и мониторинг стања опреме.** Технолошки развој у претходном периоду карактерише појава значајног броја нових произвођача сензора, преносних и стационарних мерних уређаја, система за аквизицију и обраду података. Нове генерације мерне опреме по правилу доносе повећану прецизност и тачност мерења, већу аутономију рада, мање димензије и већи

степен интеграције, једноставније коришћење, повећање опсега и области примене итд. Евидентан је и значајан пад цена опреме. Примера ради, тренутна цена стандардних уређаја за термовизијско испитивање техничких система је 5 до 10 пута нижа од цене одговарајућих уређаја који су пре 15–20 година представљали индустријски стандард у овој области. Осим тога на тржишту су се појавили и *low-cost* уређаји чије цене су још ниже и који омогућавају примену напредних метода за дијагностику и мониторинг стања опреме (виброакустична дијагностика, термовизија, анализа уља за подмазивање) практично у свакој компанији укључујући и МСП.

- **Развој нових генерација модуларних сензора.** Значајан технолошки напредак представља и појава нових генерација напредних сензорских система међу којима се издвајају они базирани на магнетно резистивном (xMR) принципу (Slatter et al. 2016). Ови сензори су малих димензија, мале потрошње са високом резолуцијом и широким опсегом мерења директних дијагностичких параметара као што су дужина, позиција, угао, електричне и електромагнетне величине. Ови сензори се израђују у облику интегрисаних сензорских модула који укључују све електронске компоненте неопходне за аутономан рад који подразумева и самодијагностику, реконфигурацију и корекцију. Оваква модуларна платформа је потпуно отворена за интеграцију са другим сензорским системима (вибрације, инфрацрвено мерење температуре, анализа уља). Интегрисана електроника обезбеђује бежичну комуникацију сензорског модула са системом за аквизицију података (Joint Project 2016). Примена оваквих сензорских модула ће у блиској будућности донети велике уштеде у иницијалним инвестицијама и значајно олакшати поступак мониторинга, имајући у виду да ће читав мерни систем бити модуларан, прилагођен конкретном задатку и изабраним дијагностичким параметрима, минијатуризован, аутономан у раду, бежично везан за систем за аквизицију података и способан да сам уочи грешку, да се коригује, реконфигурише и настави са мерењима без интервенције човека. За очекивати је да овакви системи буду интегрисани у савремене машине већ у фази конструкције при чему ће мониторинг стања постати подразумевана а не додатна опција. Значај оваквих система за МСП је више него евидентан јер ће искључивати потребу за спровођењем процедура мониторинга од стране радника, односно у највећој могућој мери ће искључивати људски фактор из мониторинга стања опреме. Интегрисани, модуларни сензорски системи ће читав посао обављати са највишим степеном аутономије.
- **Развој метода и алата за аутоматску обраду података и тумачење резултата.** Комплексни и захтевни кораци везани за обраду података, генерисање резултата, њихову анализу и тумачење, као и за дефинисање закључака и предлога, постали су значајно олакшани развојем напредних софтверских

решења која омогућавају аутоматску и брзу реализацију ових корака. Ова софтверска решења интегришу напредне и софистициране алате за обраду података и екстракцију корисних информација, елементе и принципе вештачке интелигенције, обраду великих количина података и приступе екстерним базама података, а све у циљу успостављања експертских система за аутономну обраду резултата мониторинга стања опреме и дефинисање адекватних и правовремених закључака који служе као подршка у одлучивању службама одржавања. На овај начин се значајно смањује потреба за високостручним и тренираним кадровима који би спроводили поступак мониторинга стања опреме, посебно у делу који се односи на обраду резултата, уз коришћење напредних математичких алата и дефинисање одговарајућих закључака. Ово је од посебне важности за МСП код којих је дефицит оваквог кадра представљао можда и кључни проблем у имплементацији концепта CBM.

- **Имплементација концепта и метода четврте индустријске револуције (Индустрија 4.0).** Индустрија 4.0 као нов и прогресиван концепт дигитализованих фабрика будућности, представља платформу која ће имати веома позитиван утицај на ширу имплементацију концепта CBM у индустријску праксу. Темељне дигиталне технологије које Индустрија 4.0 доноси, као што су Internet of Things, Cloud computing и Big data имају директну потенцијалну импликацију на мониторинг стања и уопште одржавање опреме у индустрији. На слици 5.13 приказан је пример имплементације тзв. Cloud-Based Monitoring технологије за мониторинг стања две постојеће ЦНЦ машине у једном индустријском погону (Моха 2016).



Слика 5.13 Cloud-Based Monitoring концепт у Индустрији 4.0 (Моха 2016)

Постојећи сензори и оригинални мерни системи машина су преко класичне ожичене РС 232 комуникације везани за бежичне сервере и даље Интранет/Етернет мрежом или преко вирелес приступних тачака на централни рутер. Тако прикупљени подаци могу да се обрађују директно, али и да се шаљу на cloud чиме се обезбеђује коришћење екстерног сервиса Cloud-Based Monitoring Providera. Обрађени резултати и/или закључци и инструкције шаљу се на било који рачунар или мобилни уређај који је повезан на интернет. Приказани пример је значајан за тематику из више разлога. Ради се о једноставном пројекту повезивања постојеће опреме, уз коришћење расположиве ИТ инфраструктуре, који је био одрађен у врло кратком временском року. Резултат представљају технолошки значајно унапређене машине које су повезане на систем континуалног мониторинга стања уз коришћење услуга екстерног провајдера. За МСП овакав концепт представља значајно олакшање имплементације СВМ јер се комплексне активности везане за обраду измерених сигнала, анализу и тумачење резултата преносе на екстерни ниво. МСП, односно овлашћена лица која управљају одржавањем, добијају обрађене резултате, упозорења на повишене вредности дијагностичких параметара, аларме уколико вредности пређу критични ниво, као и препоруке о активностима на одржавању које треба предузети.

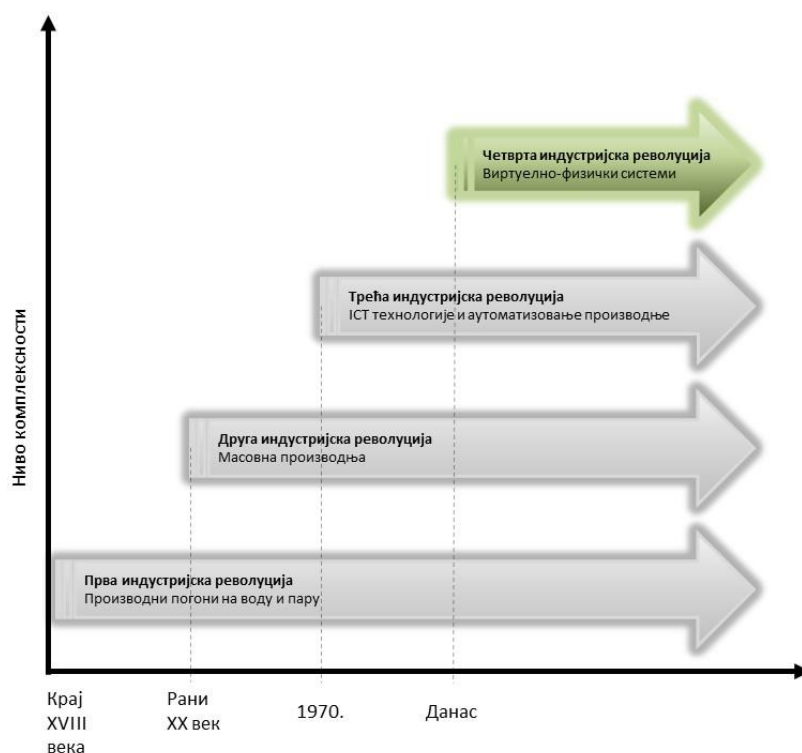
На основу свега наведеног може се закључити да су перспективе шире имплементације концепта СВМ у МСП знатно побољшане као резултат, пре свега, техничко-технолошког напретка и иновација у претходне две деценије. На данашњем нивоу технолошког развоја реалност представљају напредни системи за мониторинг стања базирани на примени минијатуризованих, модуларних сензорских елемената са интегрисаном електроником и аутономном контролом корекцијом мерења који су бежичним системима везе интегрисани са системима за пренос и аквизицију података. Обрада података и генерисање резултата врши се од стране експертских система за процесирање велике количине података који се прикупљају и дистрибуирају преко cloud технологија. Људски и материјални ресурси које МСП треба да ангажује у оваквом концепту су минимализовани. Најкомплексније активности су алоциране екстерном пружаоцу услуга *Cloud-Based Monitoringa* тако да се број корака које је потребно реализовати, у склопу имплементације концепта СВМ у МСП, значајно смањује.

5.5 Четврта индустријска револуција – Индустрија 4.0

Имајући у виду да индустрија представља свеобухватни процес интеракције и комплексности веза између човека и машина (Roblek et al. 2016). Индустрија 4.0 на одређени начин потпомаже да све разлике и недостатке у тој вези надомести и унапреди, уз размену и анализу података, потпомогнути системом великих података и

манипулацијом истих помоћу информационих и комуникационих технологија. Настанак Индустије 4.0 наглашава велике могућности дигитализације и интеграције свих елемената у систему који додаје вредност производу или услузи. Историјски развој технологије, потпомогнут иницирањем индустријских револуција (прве, друге, треће, сада и четврте) приказана ја на слици X1. Већ поменута дигитализација и интеграција свих елемената у систем који додаје вредност производу и то у реалном времену, као кључни фактори четврте индустријске револуције се и даље развијају. Зато неки практичари сматрају да Индустију 4.0 треба посматрати више као еволутивни напредак него револуцију, јер постоји јако велики број корака како би се испунила визија четврте индустријске револуције у потпуности (Carreiro 2015).

Концепт дигитално-физичког производног система (енгл. Cyber-physical production system) уводи како би се смањио јаз између дигиталне и физичке области. Увођење оваквог концепта захтева потпуно реструктурирање процеса уз подршку већ развијеног Internet/Intranet окружења. Интеракција људи са машинама, приказ физичких стања у дигиталном свету, могућност руковања и анализирања велике количине података, као и комуникација заснована на Internet/Intranet окружењу представља велики изазов у ближој будућности (Costa 2013). Визуализација процеса и структуре система као и могућности које дају повезаност између човека и машина помоћу ICT технологија сматра се кључном основом Индустије 4.0. Важност овог прилаза у свом раду је детаљно описао и илустративно приказао (Posada et al. 2015).



Слика 5.14 Историјски развој технологија – прилагођено из (Neugebauer et al. 2016)

Један од значајнијих циљева Индустије 4.0 јесте унапређење оперативне ефикасности и достизање продуктивности светске класе, уз значајно виши ниво аутоматизације (Thames & Schaefer 2016). То подразумева значајнију флексибилност система, смањивање lead time-а, оптимизација производње у смислу смањивања шаржи и најзначајнији аспект пословања, смањивање трошкова (Sayed et al. 2015; Syed et al. 2016). Аутор (Yang 2017) са позивањем на радове различитих аутора (Posada et al. 201; Roblek et al. 2016) дефинисао је пет главних карактеристика које се везују са индустријом 4.0 и то: дигитализација, оптимизација и флексибилност производње; аутоматизација и прилагођавање тржишту; однос човек-машина; услуге и активности које додају вредност и аутоматизована размена информација и података. На овај начин концепт Индустије 4.0 представљен је као процес додавања вредности и управљања знањем. Према (Yang 2017) без обзира на то што не постоји широко прихваћена дефиниција, сматра да се Индустија 4.0 може посматрати као интегрисани, прилагођени, оптимизовани, сервисно окренут и компатибилан производни процес повезан са алгоритмима, системом великих података и напредним технологијама.

Аутори (Roblek et al. 2016)) позивајући се на различиту литературу и изворе са интернета, представили су основу за концепт Индустије 4.0, водећи рачуна о потребама човека, економији, ефикасности производње и одрживости оваквог вида организације. Читав концепт се заснива на паметним фабрикама и паметној производњи, новим системима за дистрибуцију и набавку, прилагођавање потребама човека, дигитално-физичким системима и паметним градовима. Без обзира на све позитивне аспекте Индустије 4.0, технолошки напредак и промене може имати како позитивни тако и негативни утицај на запосленост. Највећи изазов може представљати за послове који не захтевају ICT као подршку пословању и може се очекивати и њихово нестајање са тржишта. Такође, постоји могућност да уколико се максимално потенцира на потпуном увођењу технологија у производњу да настане тзв. технолошка незапосленост (Hungerland et al. 2015) у смислу да су радници непотребни за одређена радна места. С тим у вези, очигледна је промена одређених радних места што узрочно-последично утиче и на едукацију будућих радника. На овај начин долази до јачања веза између истраживачких институција и компанија (Landherr et al. 2016).

Значајан податак за ову докторску дисертацију јесу истраживања на тему савремених производних филозофија (Kolberg & Zühlke 2015) и процес одржавања у пословно-производним системима (Konstantinos et al. 2016) уз подршку дефинисаног и адекватно структурираног софтвера заснованог на cloud окружењу (Thames & Schaefer 2016).

6. Развој модела унапређења процеса одржавања у МСП базирано на принципима ТПМ-а

6.1 Потреба за развојем модела унапређења процеса одржавања у МСП базирано на принципима ТПМ-а

Анализирајући пословање, структуру и потребе малих и средњих предузећа применом SWOT анализе, у поглављу 2.4, дошло се до закључка да је потребно развити поједностављени систем континуалног унапређења, фокусиран на унапређење поузданости опреме, унапређење продуктивности и квалитета уз истовремено достизање минималних трошкова производње. Нови систем мора бити таквог карактера да се базира на ресурсима које МСП имају.

ТПМ као систем континуалног унапређења, описан у трећем поглављу ове дисертације, представља најкомплетнији систем унапређења јер се он не базира само на област, ефикасности или времена трајања операција као други системи оријентисани на индустрију монтаже производних елемената и великог учешћа мануелног рада у производном процесу (Lean, TQM, Kaizen,...) већ пружа могућност примене у свим врстама индустрије обухватајући све сегменте пословања, од производње, преко логистике до административних функција, па чак и продаје. ТПМ се базира на принципима прикупљања података, разумевања губитака у процесима, адекватном постављању циљева и на крају примени једне од методологија и њених пратећих алата за анализу у циљу елиминисања губитака и унапређења параметара пословања. Он шта више даје могућност предузећима да зависно од своје структуре и расположивих ресурса примене иновативни приступ и изаберу оне сегменте система који ће њима највише помоћи у елиминацији губитака.

У литератури (Накајима 1988) предложени традиционални концепт имплементације ТПМ-а који обухвата пет стубова ТПМ-а (Фокусирано унапређење, Обука, Аутономно одржавање, Рано управљање и Планирано одржавање) има два основна недостатка. Први недостатак се огледа у комплексности имплементације самих методологија пет стубова узимајући у обзир да свака од њих има велики број корака имплементације. Неопходни су екстерни консултанти који би водили имплементацију као и високо образовани кадрови способни да приме пренесена знања. Такође захтева и знатне људске ресурсе узимајући у обзир број методологија које је потребно применити. Целокупна имплементација захтева дуг временски период. Искуства у имплементацији пет основних стубова ТПМ-а у фабрикама Тетра Пака показују да је потребно минимално пет година да се систем постави на здраве основе, а добит од унапређења се може очекивати тек након треће године имплементације. Други недостатак се огледа у занемаривању безбедности и здравља на раду као изузетно важног чиниоца

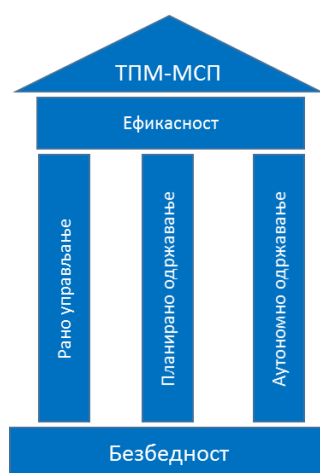
функционисања предузећа. Уколико безбедност радног места и производне опреме није на високом нивоу, постоји велика вероватноћа појаве повреда на раду које стављају у други план све постигнуте резултате једног предузећа.

Наведене недостатке ове методологије и њихову могућност примене у МСП покушала су да унапреде истраживања (Baglee & Knowles 2010; Baglee et al. 2008; Bamber et al. 1999), која такође полазе од анализе традиционалног приступа изложеног у (Nakajima 1988). Истраживања (Baglee & Knowles 2010; Baglee et al. 2008) предлажу нови модел имплементације ТПМ-а у МСП, ослањајући се на RCM (Reliability Centred Maintenance) концепт са циљем укључивања шире групе запослених у одржавање опреме. Нови концепт је назван АИММС и укључује стубове Фокусирано унапређење, Аутономно одржавање и Планирано унапређење. Цео концепт је базиран на софтверу за прикупљање података и њихову анализу у циљу унапређења стања опреме. Методологија обухвата седам корака имплементације и огледа се у успостављању стратегије одржавања, идентификовању узрока и ефеката отказа, успостављању праћења трошкова одржавања, увођењу новог софтвера базираног на RCM методологији, дефинисању нове стратегије одржавања базирано на ROI (Return of Investment) уложених средстава у одржавање опреме, имплементацији нове стратегије као и евалуацији резултата. Ова методологија има своје недостатке који се огледају у потпуном занемаривању безбедности на раду као и утицаја стуба ТПМ-а који се назива Рано управљање на одржавање опреме и резултате предузећа. Методологија је у потпуности фокусирана на трошкове производње и према приказаним истраживањима омогућава брзо постизање резултата и знатне финансијске уштеде, што може довести до избора погрешне стратегије одржавања и дугорочних последица на пословање предузећа.

Циљ ове дисертације представља решавање изазова које наведена истраживања и теоријска разматрања нису успела да реше, а све у циљу унапређења резултата пословања МСП. Одржавање се поставља као основа система унапређења а радници у производњи као носиоци програма унапређења. Нова методологија обухвата безбедност на раду као основу система унапређења и интегрише је у све своје активности. Такође нова методологија дефинише поједностављене кораке имплементације засноване на ТПМ принципима у свему прилагођене имплементацији у МСП која не располаже високообразованим кадровима, нити великим бројем запослених. Користећи расположивост и доступност нових технологија нова методологија даје велики значај Превентивном одржавању према стању и уводи га у МСП као алат за повећање поузданости производне опреме.

6.2 Модел унапређења процеса одржавања у МСП базирано на принципима ТПМ-а

Како бисмо испунили захтев МСП за поузданом производњом производа високог квалитета са ниским производним трошковима, морамо остварити високу поузданост производне опреме уз унапређење знања и вештина радника у производњи, истовремено омогућавајући менаџменту предузећа да смањи ниво инвестиција у нову опрему и изабере праве приоритете пословања. Ово се може урадити на начин да се као носилац процеса унапређења, постави одржавање производне опреме преко своја три основна стуба, Планирано одржавање (енгл. Planned Maintenance - PM), Аутономно одржавање (енгл. Autonomous Maintenance – AM) и Рано управљање опремом (енгл. Early Management - EM) уз истовремено обезбеђивање високе безбедности свих запослених а да се као резултат оствари висока ефикасност и ефективност производње.



Слика 6.1 Поједностављени модел ТПМ за примену у МСП

Безбедност на раду представља темељ система унапређења и основу сваке организације која за циљ има задовољство својих радника и висок степен друштвене одговорности. Циљ новог модела јесте да радницима у производњи и радницима у одржавању укаже на активности које радници могу сами предузети да би унапредили своју безбедност, пре свега не занемарујући постојеће проблеме на свом радном месту, а у напредним корацима имплементације предлажући решења за унапређење свог радног окружења. Улога власника, менаџера и лица за безбедност у овоме случају се не смањује, они су и даље одговорни за безбедност запослених, међутим уз примену предложеног модела и радници добијају свој део одговорности и могућност да додатно унапреде систем.

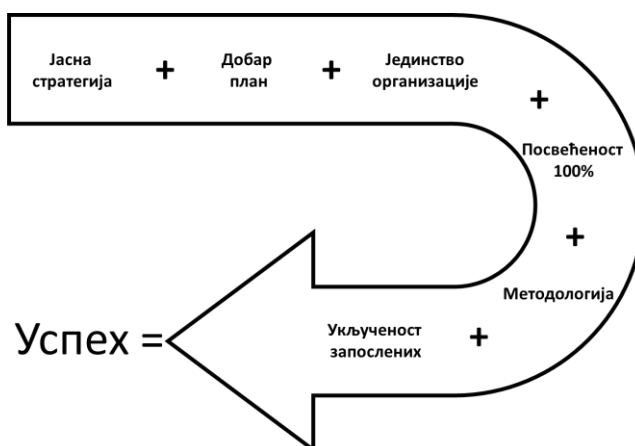
На темељу безбедности можемо даље градити систем унапређења резултата предузећа. Пре свега власник и менаџери морају поставити јасне и мерљиве циљеве испред свих запослених дефинишући групу кључних индикатора пословања (КИП –

енгл. Key Performance Indicators – KPI) чији је задатак да усмере фокус свих активности које се одвијају у предузећу у правом смеру као и да омогуће мерење постигнутих резултата у односу на циљане.

6.3 Улога запослених у имплементацији система континуалног унапређења

Имплементирати систем континуалног унапређења у предузећу представља велику промену за све запослене. Промена начина рада, а пре свега промена начина размишљања, представља највећи изазов имплементације. Питања која ће сваки запослени поставити су најчешће: шта се од мене очекује, зашто морамо да спроведемо ову промену, и до сада смо радили одлично, у чему је проблем? Разлоге за ова питања треба тражити у психологији човека. Свака промена код већине људи изазива страх од непознатог. Тај страх и сумњу у разлоге спровођења промене треба одагнати искреним приступом и јасном комуникацијом према запосленима.

Пре него што се приступи самом процесу имплементације система унапређења менаџмент предузећа на челу са власником мора постићи једногласни консензус да је стратешка одлука компаније да имплементира систем унапређења и да сви чланови руководећег тима апсолутно подржавају промену. Пракса је показала да ако постоји 1% сумње у успех промене у руководећем тиму, он ће створити 50% сумње на нивоу радника у производњи.



Слика 6.2 Стратегија мобилисања организације за промену

Успех имплементације неће изостати ако се примени приступ приказан на слици 6.2. Пре свега власник предузећа заједно са менаџментом мора дефинисати јасну стратегију развоја предузећа у будућем времену, након чега је потребно дефинисати јасан план са мерљивим критеријумима успеха. Након тога следи комуникација стратегије и плана свим запосленима писаним и усменим путем, где се очекује од власника да непосредно објасни радницима разлоге имплементације новог система

рада, при томе захтевајући од сваког запосленог потпуну подршку. За управљачку структуру важи правило „или се промени или буди промењен“, што је неопходно учинити узимајући у обзир претходно речено у овом поглављу. Следећи важан елемент на путу ка успеху је доследна примена методологије. Она је изузетно важна јер прескакање корака методологије и прерано закључивање о узроцима губитака може донети више штете него користи. Методологија је јасна, дефинисана за сваки корак, очекује се само доследна и дисциплинована примена. И на крају свакако долази укљученост сваког запосленог у спровођење промене. Континуално унапређење се не може сматрати додатним послом који се ради паралелно са „нормалним“ послом већ је оно начин рада на који ми свакодневно радимо наш „нормални“ посао. Успех је загарантован ако успемо да спроведемо наведене кораке.

Сваки запослени има своју улогу у имплементацији програма континуалног унапређења и у складу са тим мора да промени свој начин размишљања и рада. Почећемо од менаџмента предузећа, чија улога више није да буде невидљив, доноси одлуке на нетранспарентан начин и увек има кривца за неуспех, док је за успех искључиво он заслужан. Нова улога је да креира стратегију предузећа, анализира резултате, ради на елиминацији губитака на структуран начин, пружајући подршку радницима у решавању свакодневних проблема. Са друге стране, улога радника у производњи више није да само произведу шта је од њих захтевано, већ је много шира. Радници морају бринути о својој безбедности и безбедности својих колега. Производна опрема постаје њихова одговорност а самим тим и квалитет производа и ефикасност производње. Они мењају свој приступ од „ја производим“ у „ја бринем о свом процесу“.

При имплементацији ТПМ-а, као и код спровођења сваке промене, може се јавити више препрека које се морају превазићи. Неке од њих су:

- Менаџер фабрике не зна на који начин да интегрише ТПМ у свакодневни начин рада,
- Нерешавање проблема запослених који одбијају промену,
- Прескакање корака методологије,
- Рад на проблемима који нису приоритетни губитак,
- Лоша комуникација према запосленима,
- Недовољна укљученост одговорних за производне тимове (вођа смене и менаџер производње) итд.

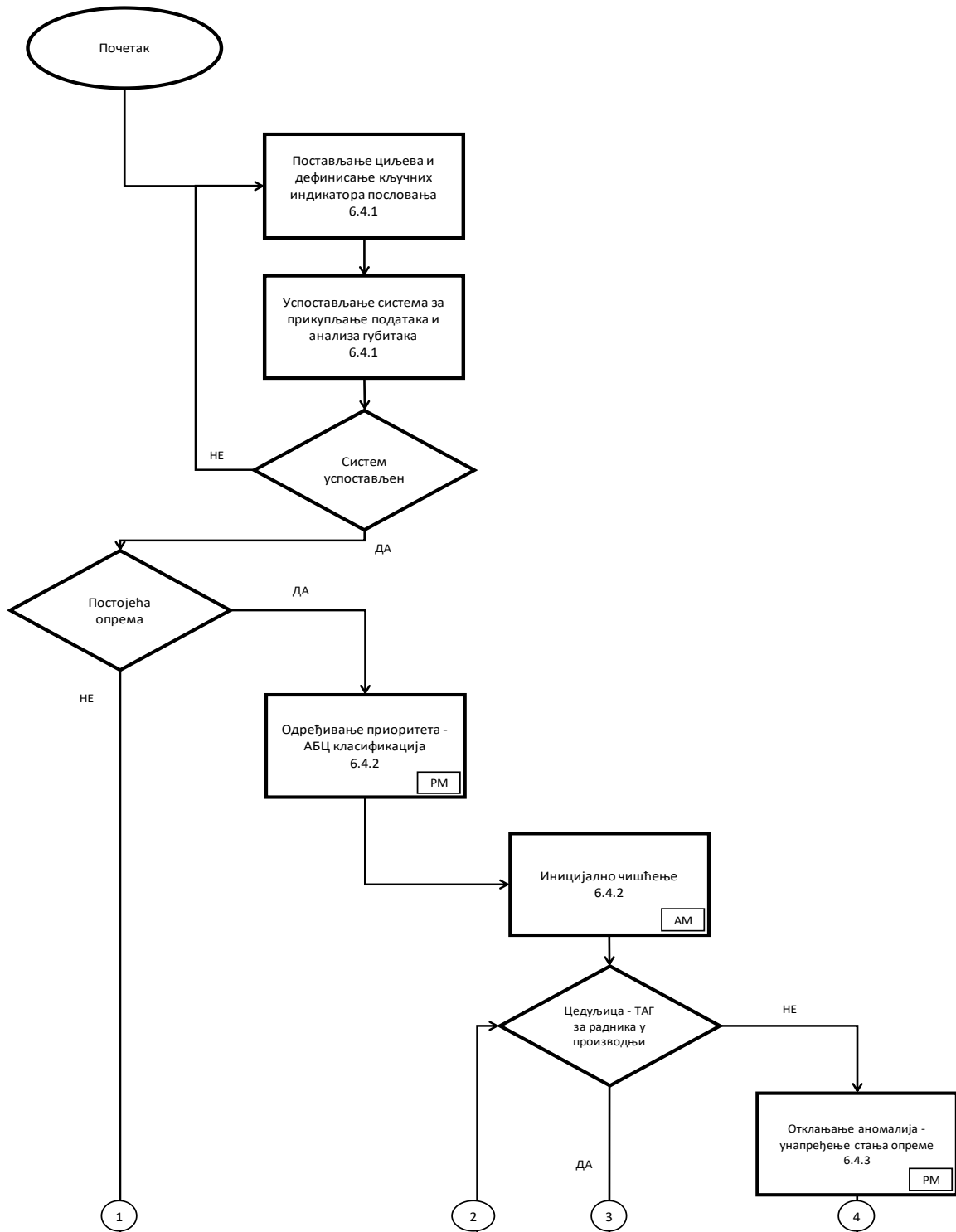
6.4 Принципи и кораци имплементације модела унапређења процеса одржавања у МСП

При изради новог модела унапређења процеса одржавања у МСП пошло се од анализе (Nakajima 1988) као и проучавања (Baglee & Knowles 2010; Baglee et al. 2008; Bamber et al. 1999). Модел АИММС имплементације ТПМ-а у МСП као нови концепт одржавања, предложен у (Baglee & Knowles 2010; Baglee et al. 2008), као и концепт из (Bamber et al. 1999), ослања се на традиционални ТПМ модел изложен у литератури (Nakajima 1988), који се заснива на потпуној имплементацији пет стубова ТПМ-а, што захтева знатне људске ресурсе, и даје само део одговора на наведене захтеве МСП јер се базира на примени развијеног софтверског пакета као основе за унапређење концепта одржавања. АИММС не обухвата примену Превентивног одржавања према стању које се данас може применити без ангажовања знатних финансијских и људских ресурса, што је и наведено у закључку рада (Baglee & Knowles 2010). Модел АИММС не обухвата ни унапређење безбедности и здравља на раду и занемарује важност раног управљања опремом. Такође предложени модел не даје алат за мотивацију власника предузећа која би их мотивисала да унапреде процес одржавања, што представља још један од недостатака.

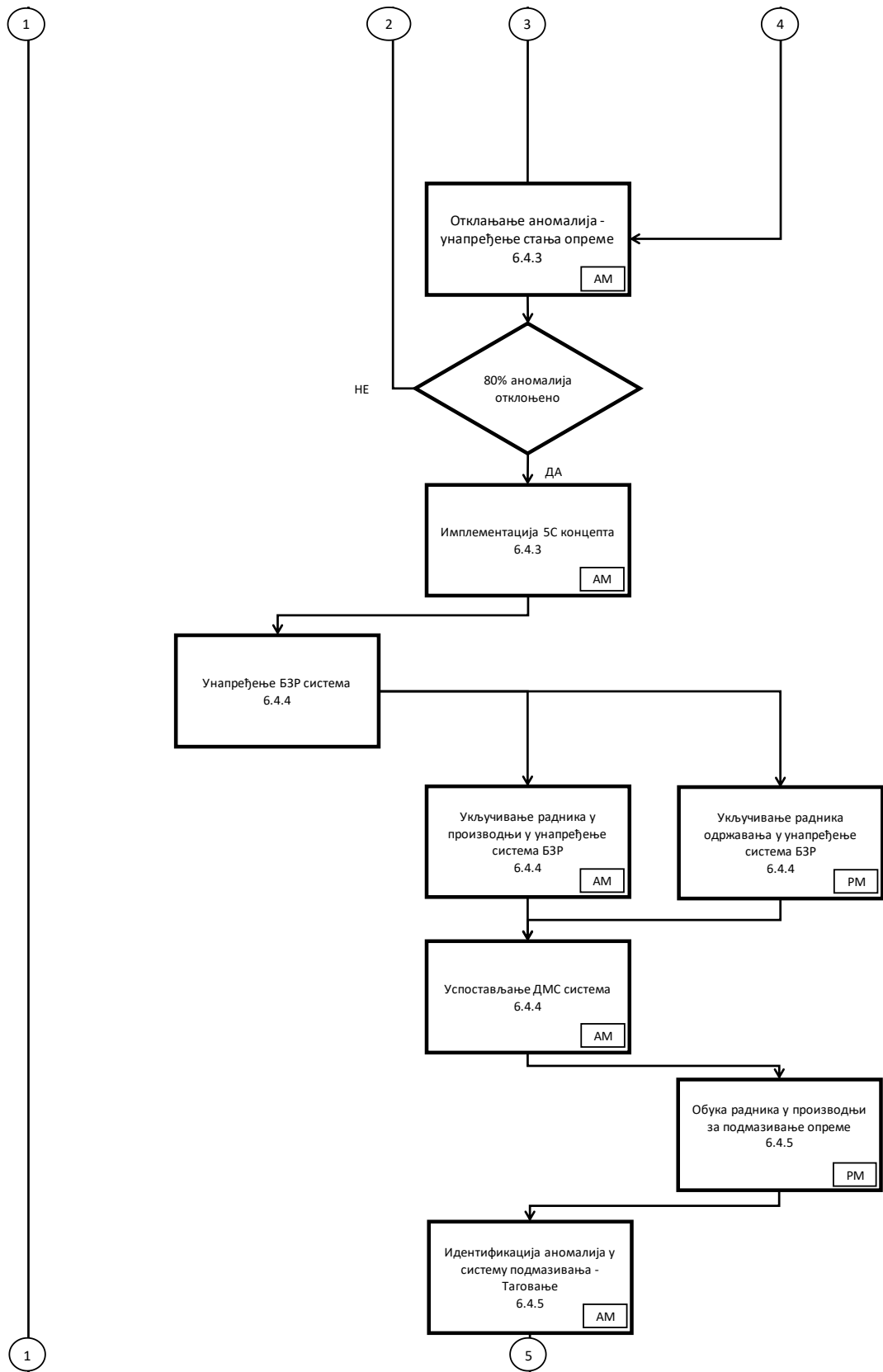
Развијен је нови модел унапређења процеса одржавања у МСП који се базира на седам корака имплементације. Седам корака новог модела настали су сублимирањем и прилагођавањем укупно четрнаест корака имплементације Аутономног одржавања и Планираног одржавања према методологији ТПМ као и интеграцијом метода Раног управљања. Такође је важно нагласити да су нови кораци односно, нови приступ, прилагођени лимитираним ресурсима са којима МСП располажу. Имплементација новог модела, корак по корак је дефинисана са циљем обезбеђивања структурног приступа процесу унапређења који обезбеђује стабилност и одрживост постигнутих резултата у дужем временском периоду. Кораци обухватају припремну фазу у виду прикупљања података о губицима, постављање мерљивих циљева, класификацију губитака и дефинисање приоритета након чега следи фаза унапређења. Унапређење започиње увођењем производних радника у процес одржавања производне опреме кроз иницијално чишћење након чега следи елиминација уочених аномалија као и унапређење радног простора кроз примену 5С методологије. Даље унапређење система базира се на промени односа менаџмента и запослених према безбедности и здрављу на раду (БЗР) као и у успостављању културе праћења губитака. Након наведеног следи успостављање система Превентивно планског одржавања као и Превентивног одржавања према стању (СВМ) који се базира на максималном укључивању радника из производње у процес одржавања и преузимања одговорности не само за квалитет производа већ и за стање производне опреме. Све претходно речено односи се на постојећу производну опрему у предузећу и њено унапређење. У случају набавке нове производне опреме потребно је применити концепт раног управљања са циљем елиминације потенцијалних застоја на

опреми у најранијим фазама развоја опреме кроз адекватно укључивање не само менаџмента предузећа већ и руковалаца опремом односно радника у производњи и одржавалаца опреме. Нови модел унапређења процеса одржавања у МСП дефинисан је коришћењем алгоритма приказаног на слици 6.3:

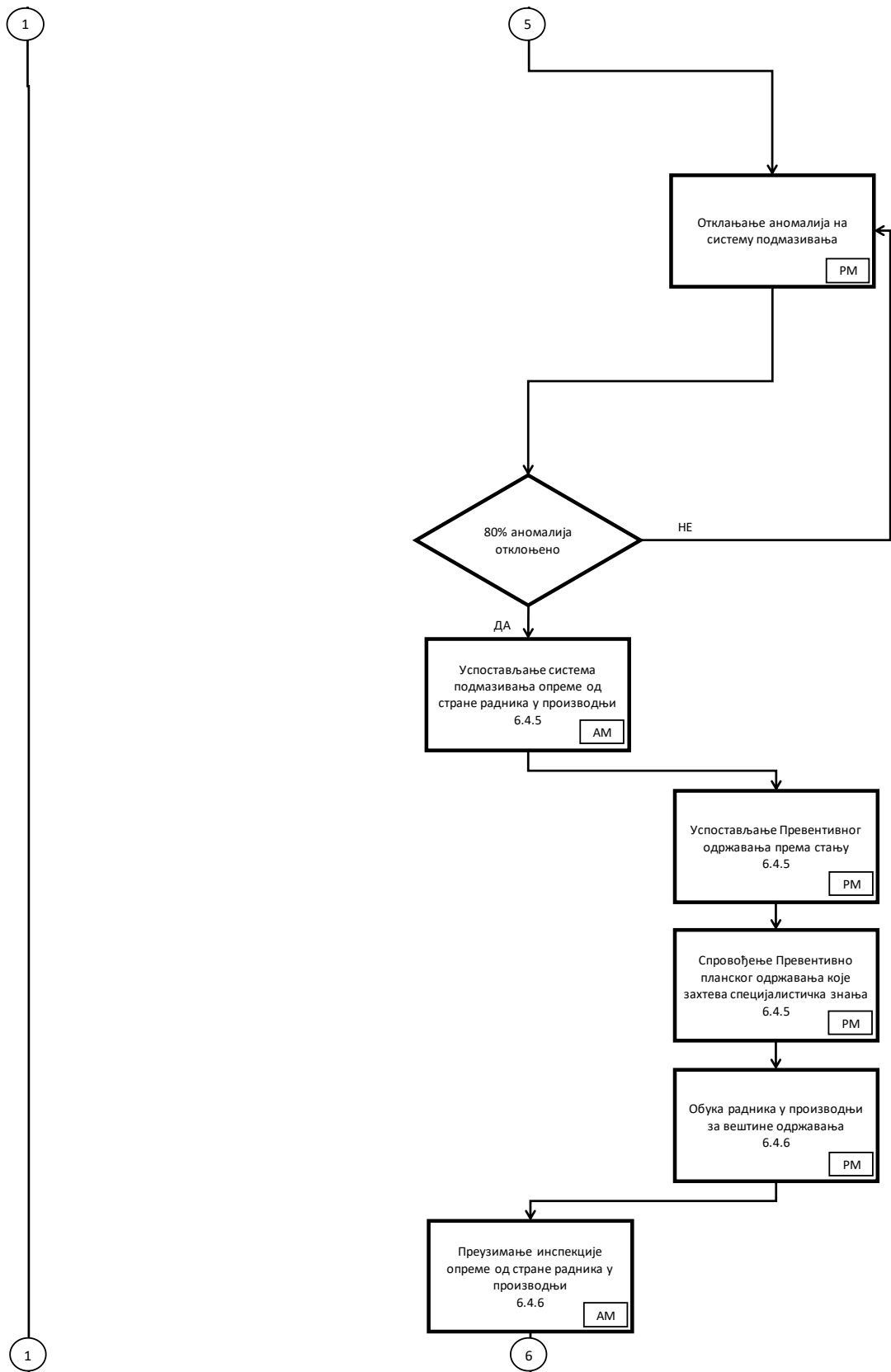
Основно стабло и тачке гранања	Менаџмент	Радници у производњи	Радници одржавања
--------------------------------	-----------	----------------------	-------------------



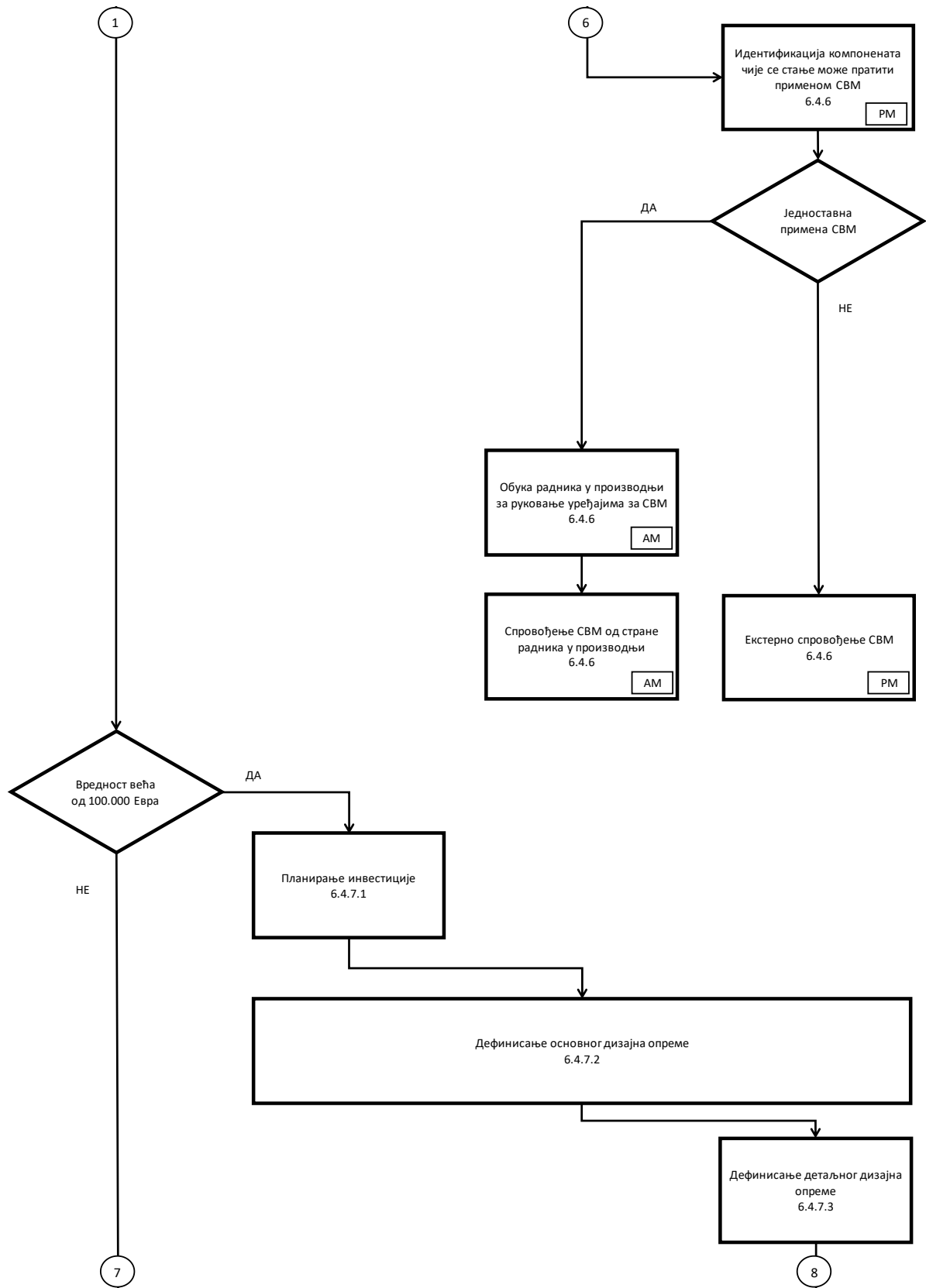
Слика 6.3 Алгоритамски приказ новог модела унапређења процеса одржавања у МСП



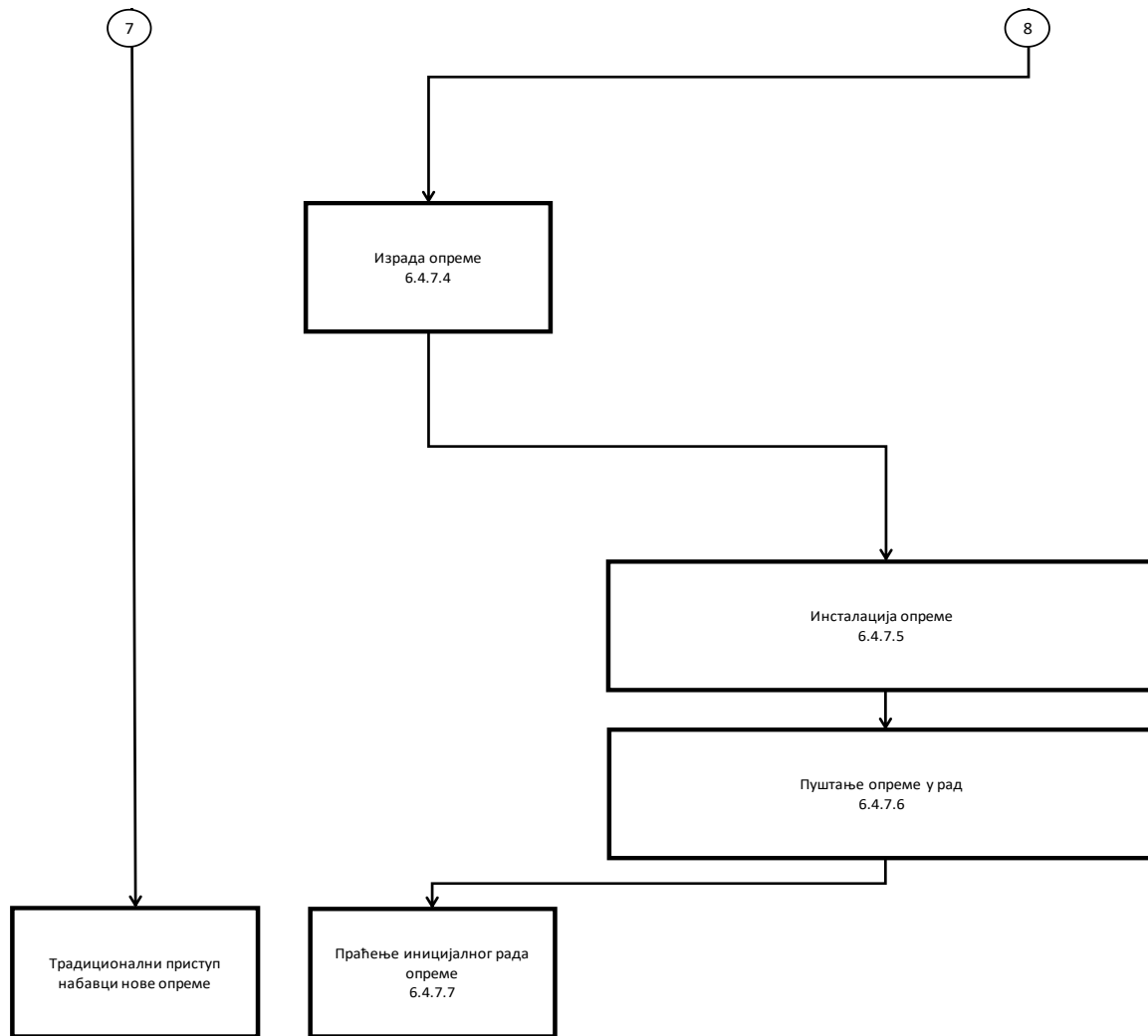
Слика 6.3 (наставак) Алгоритамски приказ новог модела унапређења процеса одржавања у МСП



Слика 6.3 (наставак) Алгоритамски приказ новог модела унапређења процеса одржавања у МСП



Слика 6.3 (наставак) Алгоритамски приказ новог модела унапређења процеса одржавања у МСП



Слика 6.3 (наставак) Алгоритамски приказ новог модела унапређења процеса одржавања у МСП

Алгоритамски приказ поред јасно дефинисаних корака имплементације новог модела унапређења процеса одржавања у МСП јасно дефинише и одговорности унутар МСП за примену појединих корака. Све активности су јасно подељене између менаџмента предузећа, производних радника и радника одржавања односно Службе одржавања уколико постоји у МСП или спољних сарадника. Поред наведеног дефинисани су и одређени критеријуми након чијег извршења је могуће наставити са имплементацијом програма, односно чијим се неизвршавањем програм враћа корак уназад.

Јасан структурни приступ, са јасно дефинисаним одговорностима и са јасно дефинисаним критеријумима успешности имплементације, основни је предуслов за успешну имплементацију новог приступа одржавању у МСП.

Седам корака имплементације новог модела, структурно приказаних алгоритмом, који су детаљно објашњени у даљем тексту ове дисертације, омогућавају у великој мери

аутономну имплементацију новог модела избегавајући на тај начин додатне трошкове консултативних услуга.

Детаљни опис седам корака имплементације новог модела унапређења процеса одржавања у МСП:

1. Постављање циљева и прикупљање података:

Као први корак, на основу стратегије предузећа неопходно је поставити мерљиве циљеве успеха дефинисањем кључних индикатора пословања (КИП) који имају задатак да усмере активности организације у одређеном смеру као и да измере постигнуте резултате пословања. Након тога, као основу система континуалног унапређења потребно је успоставити једнозначан систем прикупљања података и система анализе који ће бити основа за све даље активности.

Кључни индикатори перформанси (КИП) или на енглеском Key Performance Indicators (KPI), представљају активност мерења остварених резултата производног система која открива какве су остварене перформансе у поређењу са постављеним циљевима. КИП представљају, како само име каже, кључне индикаторе који имају за циљ мерење конкретних активности спроведених на постизању постављене стратегије. Они омогућавају предузећу да се фокусира на најважније области пословања. Самим тим не могу све активности мерења резултата бити сматране кључним.

Дефинисање правих КИП није једноставан посао који се може завршити у кратком времену. За адекватно дефинисање потребно је учешће целог управљачког тела предузећа. Веома је важно дефинисати мањи број КИП како би се фокус организације усмерио у правом смеру. КИП морају бити саопштени свима у предузећу на почетку пословне године као циљеви за текућу годину. Такође се мора саопштити њихов статус у току године и на основу постигнутих резултата дефинисати активности за унапређење. То се може урадити њиховим штампањем и постављањем на видно место за све запослене у предузећу или пројектовањем на монитор који сви запослени могу видети.

У већим организацијама пожељно је дефинисати КИП на нивоу предузећа али и на нивоу одељења. Тако на пример различите КИП може имати одељење продаје од одељења производње. За мања предузећа може се дефинисати сет заједничких КИП узимајући у обзир број запослених и неразвијену структуру пословања.

Неопходно је за сваки КИП једнозначно одредити начин његовог прорачуна, дефинисати јединице у којима се изражава као и пратити на месечном нивоу. Једино се на овај, транспарентан начин, сви запослени могу мобилизовати на испуњавању постављених циљева. КИП који у најбољој мери дају слику поузданости опреме и постигнутих резултата на одржавању производне опреме јесу ОЕЕ, МТБФ и МТТР.

Прикупљање и анализа података јесу кључни кораци пре него се приступи дефинисању узрока проблема и корективних акција. Без адекватног разумевања губитака нема ни правих акција за унапређење, а за то је одговоран систем прикупљања података.

Циљеви прикупљања података су следећи:

- Да се правилно идентификује феномен који доводи до губитка,
- Да се феномен анализира коришћењем објективних података, а не на основу осећаја или искуства,
- Да би се елиминисала субјективност људи.

Прикупљање података може се спроводити континуално, за податке неопходне у свакодневном раду, на почетку активности унапређења како би се адекватно поставили циљеви за унапређење и на крају активности унапређења како би се измерили постигнути резултати.

Прикупљање података може се изводити на три начина:

- Ручно сакупљање коришћењем оловке и папира,
- Аутоматизовано сакупљање, коришћењем софтвера за праћење производних процеса,
- Мешовито сакупљање, које представља комбинацију претходно наведених.

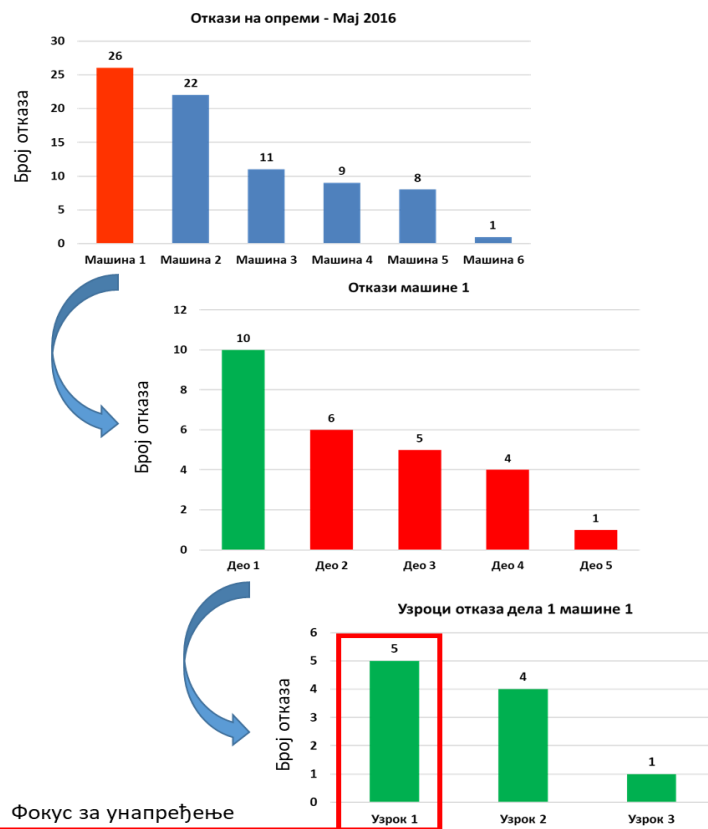
Узимајући у обзир да МСП у већини случајева немају напредне софтвере за праћење производње, подаци се могу скупљати ручно коришћењем унапред припремљених докумената. Документ који се припрема за прикупљање података мора бити пре свега јасан и једнозначан и припремљен на једноставан и организован начин, тако да се при његовом попуњавању не губи време.

Да би се направио један документ за прикупљање података потребно је испоштовати неколико корака:

- Идентификовати намену прикупљања података,
- Дефинисати јединицу мере и период у коме се подаци прикупљају,

- Дефинисати метод или мерни алат за мерење,
- Дефинисати фреквенцију мерења или број узорака који се мери,
- Дефинисати ко мора сакупљати податке и где,
- Припремити документ.

Следећи корак након прикупљања података јесте анализа тих података, и за њу се примењује метода разлагања података (енгл. Deployment). Приступ ове методе јесте од макро ка микро или од горе ка доле, што у пракси значи да се губици разлажу од већих ка мањим губицима док се не дефинише специфична група узрочника губитака.



Слика 6.4 Парето анализа

За анализу података најчешће се користи Парето анализа или Парето дијаграм. Парето дијаграм је графичка метода за идентификацију и систематичну обраду података њиховим слагањем према важности. Облика је дијаграма и састоји се од стубића који су поређани у падајућем поретку. Принцип који се користи јесте закон осамдесет/двадесет што значи да 20% узрока доводи до 80% губитака. Користи се за идентификовање највећих губитака како би се за њих дефинисале активности унапређења, односно за дефинисање приоритета. Пример одређивања приоритета парето анализом дат је на слици 6.4.

Ако погледамо пример приказан на слици 6.4 полазимо од констатације да је у месецу мају машина број 1 имала највише отказа. Сама та чињеница није довољна да се закључи како унапредити машину 1. Даљом анализом уочавамо да је највише отказа било на делу 1, што и даље не упућује на конкретан проблем. Дубљим прикупљањем података и даљом анализом уочавамо да је узрок 1 најфреквентнији узрочник отказа наше опреме и вршимо избор теме за унапређење: Елиминисати узрок 1 на делу 1 машине 1. На овај начин су испуњени захтевани предуслови за квалитетну анализу и елиминисање узрока проблема.

2. Одређивање приоритета и иницијално чишћење опреме

Као други корак постављамо раднике у производњи за носиоце програма континуалног унапређења успостављањем аутономног одржавања. Пре него што применимо било коју активност, извршићемо попис производне опреме и дефинисати приоритете, узимајући у обзир параметре као што су утицај опреме на безбедност запослених, захтеве квалитета, степен ангажованости опреме као и тренутне податке о отказима на опреми. На овај начин ће се све активности усмерити на опрему са највећим значајем за предузеће коришћењем АБЦ класификације као алата који ће помоћи да се структурно изврши процена. Након постављених приоритета започиње се са иницијалним чишћењем при чему се истовремено промовише систем континуалног унапређења кроз учешће целокупне организације. Уводи се систематичан приступ прикупљања аномалија коришћењем тага (енгл. Tag – цедуљица) као алата. Све активности спроводе се плански и структурно на тај начин промовишући методолошки приступ систему континуалног унапређења. Дефинисаће се и стандарди чишћења као почетак успостављања система планираног одржавања обухватајући све активности, потребан алат и прибор и неопходно време за њихово спровођење

За **постављање приоритета** користи се класификација опреме за коју се примењује АБЦ метода која опрему класификује у три различите групе. Свака од наведених група даље одређује метод одржавања који је потребно применити како би се елиминисали откази. Класификација се врши на основу утицаја унапред дефинисаних критеријума. Ради једноставније класификације користи се алгоритам приказан на слици 6.5.

А опрема:

- СВМ одржавање,
- ТВМ одржавање,
- Сви откази се анализирају од стране радника производње и радника одржавања заједно.

Б опрема:

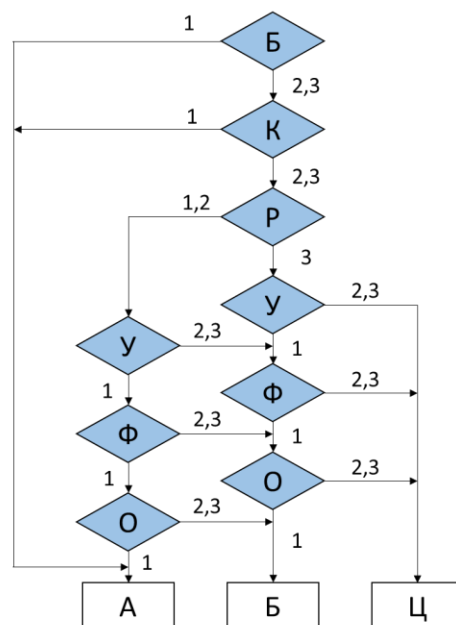
- ТВМ одржавање,
- Сви откази се анализирају од стране радника производње и радника одржавања заједно.

Ц опрема:

- Корективно одржавање,
- Служба одржавања ради анализе отказа како не би постали учестали.

	1	2	3
Безбедност	Јак утицај	Средњи утицај	Нема ефекта
Квалитет	Јак утицај	Средњи утицај	Нема ефекта
Радно време	24 сат/дан	8-24 сат/дан	8 сат/дан
Утицај на производњу	Стаје цела производња	Понекад стаје цела производња	Нема утицаја на производњу
Фреквенција отказа	3 месечно	1 у 2 месеца	1 у 6 месеци
Одржавање	ВП > 4 сата	ВП 1-4 сата	ВП < 1 сат

ВП – време поправке



Слика 6.5 АБЦ класификација опреме

Иницијално чишћење има задатак да се машина у потпуности очисти од непотребних материјала и нечистоћа како би се детектовале аномалије које утичу на ефикасност опреме и квалитет производа. У овом кораку је основно научити да се чишћење спроводи како би се на опреми уочиле аномалије као потенцијални узроци отказа или као показатељи да је до иницијалног отказа већ дошло.

Започиње се са припремом потребног алата и прибора и планирају се потребни ресурси:

- Број људи који ће извршити чишћење. Ова активност мора укључити све чланове менаџмента, поред радника, како би сви показали своје опредељење за имплементацију континуалног унапређења и научили основне вештине,
- Потребна заштитна опрема (наочаре, рукавице, кецеље и слично),
- Потребан прибор и средства за чишћење (крпе, детерџенти, кофе,...),

- Један фото-апарат којим ће се забележити стање пре чишћења и након чишћења како би се касније могао пратити прогрес,
- Таг-цедуљице којима се обележава идентификована аномалија и посебне црвене таг-цедуљице за обележавање аномалија које утичу на безбедност,
- Припремљени документи за регистровање аномалија.

На почетку саме активности, испред машине, одржава се састанак са кратком обуком пре свега о употреби заштитних средстава као и о додатним потребама за безбедност уколико их има. Након тога се радницима покаже да када чишћењем уоче аномалију њу обележе на месту извора таг -цедуљицом, везујући таг-цедуљицу канапом за део машине са аномалијом. Како таг-цедуљица има две копије, другу копију ће предати организатору чишћења како би касније евидентирао све аномалије у један заједнички документ и направио план отклањања уочених аномалија. У току чишћења потребно је препознати следеће видове аномалија: изворе прљавштине, недоступна места за чишћење и инспекцију, цурења уља, цурења ваздуха, недотегнуте вијчане спојеве, поломљене делове, оштећене заштитне ограде и слично. Уколико се примети аномалија која значајно угрожава безбедност, она се мора обележити цедуљицом посебне црвене боје и на тај начин јој се даје приоритет у решавању. Таг-цедуљица за обележавање аномалија која се користи у предузећу Тетра Пака изгледа као на слици 6.6.

TAG

Ime i prezime: _____ Tip tag: T-AM AM tim
 T-PM Održavanje
 T-EV Živona sredina

Datum: _____

Tag broj: _____

Mašina: _____ Podmašina: _____

Deo: _____

Kratak opis: _____

Prioritet:

Vrlo visok Srednji
 Visok Nizak
 Vrlo nizak

Tip anomalije		
AM01 Curi vazduh	AM12 Anomalija higijena	AM23 Neobeležena pozicija
AM02 Popustila/ nedostaje vijak ili navitka	AM13 Neadekvatno osvetljenje	AM24 Previsok pritisak
AM03 Polomljeno ili puklo	AM14 Unapredjenje-AM	AM25 Parametri procesa ne postoje
AM04 Problem zgrada	AM15 Unapredjenje-PM	AM26 Ugrožen kvalitet
AM05 Taster - neobeleşan	AM16 Teško za inspekciju	AM27 Izvor prljavštine
AM06 Teško za čišćenje	AM17 Anomalija podmazivanje	AM28 Nije definisana lokacija (5S)
AM07 Remont elektrike	AM18 Remont mehanike	AM29 Nije označena lokacija (5S)
AM08 Živlona sredina	AM19 Prekomerna buka	AM30 Previsoka temperatura
AM09 Greška na opremi	AM20 Curenje ulja	AM31 Remont transmisije
AM10 Anomalija nameštaja	AM21 Farbanje	AM32 Prekomerne vibracije
AM11 Remont hidraulike	AM22 Remont pneumatike	AM33 Curenje vode

Rešio: _____
 Datum rešavanja: _____

Слика 6.6 Цедуљица за обележавање аномалија

Таговање је континуални процес и оно се никада не зауставља и не престаје како бисмо опрему држали у базном стању, без процеса убрзаног погоршања стања опреме. По завршетку иницијалног чишћења следи процес сумирања постигнутих резултата. Пре свега се врши класификација цедуљица у четири групе:

- Група А: Црвене цедуљице везане за безбедност,
- Група 1: Оне које утичу на квалитет,
- Група 2: Оне које утичу на ефикасност,
- Група 3: Оне које утичу на естетику.

Након спроведене класификације следи уношење цедуљица у регистар који је уједно и план решавања уочених аномалија. Тај документ јесте једноставна табела која садржи бројеве цедуљица, назив аномалије као и планирани рок до када ће одговорна особа спровести унапређење. У почетним корацима треба очекивати да значајан број аномалија буде усмерен ка Служби одржавања јер радници у производњи још увек сматрају опрему власништвом одржавања а и немају довољно способности ни алата да сами исправе уочене аномалије. Веома је важно редовно пратити прогрес отклањања идентификованих аномалија јер ће по успостављеном систему цедуљица број откривених аномалија стално расти а истовремено се мора испратити и прогрес отклањања аномалија како морал радника и почетни успех не би били угрожени. На крају активности иницијалног чишћења дефинише се први привремени стандард чишћења који садржи следеће елементе:

- Шта се чисти, машина, склоп, део,
- Чиме се чисти,
- Ко чисти,
- Која је фреквенција чишћења,
- Да ли чисти док машина ради или док мирује,
- Потребно време за чишћење,
- Утрошено време за чишћење.

3. Унапређење стања опреме и имплементација 5С концепта

У трећем кораку приступа се како **унапређењу опреме** тако и **унапређењу радног окружења**. Све аномалије на опреми које могу довести до отказа на опреми, угрозити квалитет производа или бити узрок повреде радника а које су уочене, идентификоване и забележене у току иницијалног чишћења отклониће се и на тај начин поставити база за даље унапређење система одржавања. Поред наведених аномалија на опреми идентификоваће се и могућа унапређења која ће омогућити

лакше и једноставније основно одржавање опреме као и инспекцију у даљем периоду експлоатације. Поред опреме, у циљу унапређења радног места са аспекта безбедности на раду и унапређења радног окружења унапредиће се применом 5С (енгл. 5S) методологије и радно окружење у непосредној близини производне опреме. Након спроведених активности дефинисаних у пет корака, сама опрема и њено непосредно радно окружење ће бити ослобођени вишка непотребних делова, непотребних производа, остатака обраде материјала, алата, документације и слично. Обележиће се и стандардизовати позиције за складиштење потребних материјала, полупроизвода, готових производа, документације и помоћних алата и прибора. Унапредиће се прегледност радног места и саме производне опреме, ергономија радника у производним операцијама и на крају сама ефикасност производног процеса. Методологија се примењује имплементацијом следећих пет корака:

1. Разврстати – јапански Seiri:

- Уклонити са радног места све непотребне алате, предмете, документацију и слично што се не користи никада, што се не користи дуго времена и што не припада радном месту,
- Разврстати све непотребно по категоријама,
- Извршити проверу непотребних ствари,
- У договору са претпостављеним склонити или бацити непотребне ствари,
- Након уклањања непотребних ствари детаљно очистити радно место.

2. Сложити – јапански Seiton:

- Дефинисати положај алата, прибора, помоћних материјала и документације тако да је лако уочљив и лако доступан,
- Након дефинисања положаја обележити позицију где је шта позиционирано,
- Обезбедити једноставно и лако проналажење жељених предмета,
- Поставити компоненте у складу са фреквенцијом коришћења, фреквентније коришћене поставити ближе,
- Обезбедити поштовање принципа, прво ушло – прво изашло,
- Водити рачуна о безбедности,
- Организовати га тако да неко ко није упознат са рутинама на радном месту може све што жели пронаћи за пет секунди.

3. Чистити – јапански Seiso

- Редовно чистити радно место
- Користити чишћење као инспекцију.

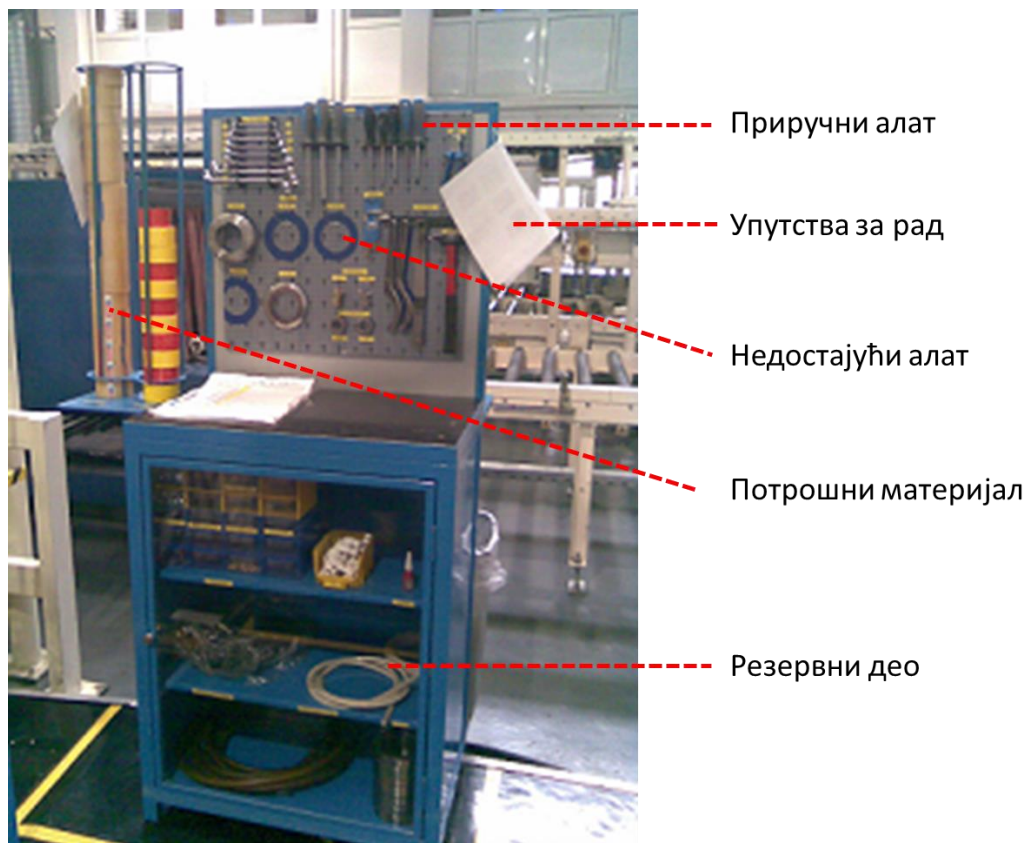
4. Стандардизовати – јапански Seiketsu

- Након неког времена употребе дефинисати финални стандард финим подешавањем уочених аномалија,
- Одржавати висок ниво постављеног стандарда.

5. Одржати – јапански Shitsuke

- Организовати редовне контроле стања на радном месту,
- Одржавати дисциплину,
- Одржавати самодисциплину.

На слици 6.7 дат је пример примене 5С у складиштењу алата и прибора непосредно поред машине у предузећу Тетра Пак, док је на слици 6.8 дат други пример примене 5С у циљу повећања безбедности радног окружења.



Слика 6.7 Примена 5С концепта у предузећу Тетра Пака



Слика 6.8 Примена 5С концепта у предузећу Тетра Пака у циљу унапређења безбедности радног окружења

4. Унапређивање безбедности и здравља на раду и успостављање система дневног менаџмента

У четвртом кораку посвећује се пажња подизању свести радника у производњи кроз разумевање неопходности и бенефита унапређивања безбедности на раду, унапређивање прикупљања података о отказима на опреми и степена информисаности о оствареним резултатима пословања у претходном периоду. **Безбедност и здравље на раду** постају брига не само менаџмента предузећа већ и самих радника. У жељи да се у потпности елиминише могућност повреде производних радника веома важан корак представља анализа ситуација у којима је повреда срећом избегнута. Како би се ова активност спровела, неопходно је пре свега успоставити систем прикупљања информација о оваквим нежељеним ситуацијама. Потребно је прикупити што више информација од свих учесника у незгоди и заједно са њима извршити зашто-зашто анализу како би се идентификовале акције за унапређење. Овако идентификоване акције имају приоритет над свим активностима у предузећу. Могуће ситуације које треба анализирати могу бити: Радник се оклизнуо, али није пао, тежак предмет је пао раднику поред ноге, виљушкар је испустио терет који је носио, итд.

За **прикупљање података** о оствареним резултатима користи се ДМС – (енгл. DMS – Daily Management System) метода. Она обухвата скуп активности предузетих у циљу праћења остварених резултата на дневном нивоу као и активности унапређења. Ова активност се не спроводи за сваку машину посебно, већ је усмерена на координацију активности једне линије или групе машина организованих у једну организациону целину.

Као прва активност на успостављању ДМС система јесте успостављање система визуелизације односно оснивање табле на коју ће се поставити више дијаграма за праћење параметара ефикасности и поузданости производног процеса које ће радници уписивати руком. Веома је важно изабрати праве активности које ће се пратити на дневном нивоу као и одредити циљ за сваку од њих. Циљ мора бити једнозначно дефинисан и јасно обележен на сваком од дијаграма за праћење.

Анализирајући пример предузећа Тетра Пак, пракса је показала да треба пратити следеће резултате и активности:

- Број повреда,
- Број црвених цедуљица за безбедност – број постављених и број решених како би се стимулисало решавање,
- Број отказа и на којим деловима опреме су се десили,
- Број технолошких непланских застоја у производњи,
- Ефикасност производње, преко параметра броја произведених комада, метара или килограма производа, у зависности од тога шта се производи,
- Планиране активности на одржавању опреме, степен извршености.

ДМС треба организовати у облику кратког састанка на коме ће присуствовати сви радници једне организационе целине (линије или погона), на челу са вођом тима или лидером линије. Састанак мора бити кратак и са циљем да сви радници једне линије виде ширу слику дешавања на линији као и да разумеју свој допринос успеху остваривања стратегије предузећа.

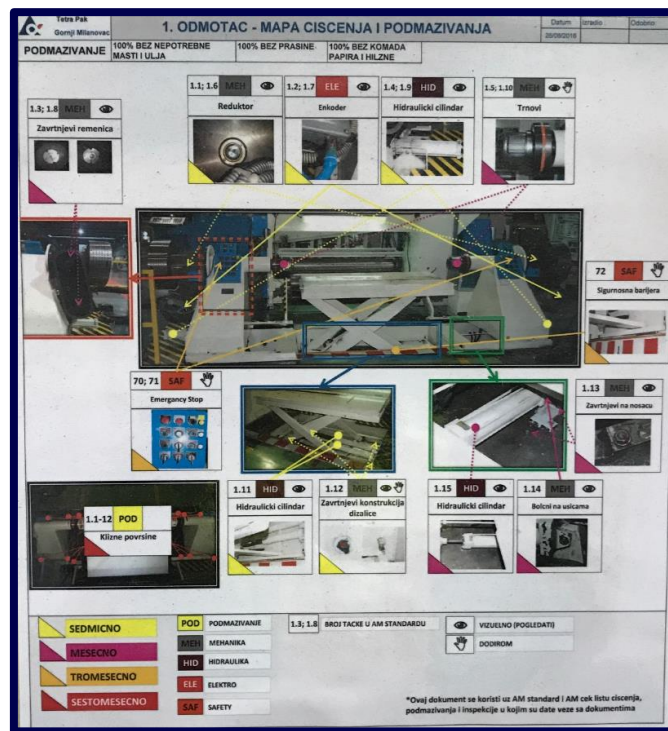
5. Унапређење подмазивања и успостављање Превентивног планског одржавања (ТВМ)

У петом кораку се успоставља ТВМ одржавање кроз дефинисање превентивно планских активности на критичној опреми. Подмазивање као основа процеса одржавања, уз чишћење, постаје саставни део активности радника у производњи. Стандардизацијом процеса успоставља се систем континуалног унапређења.

Радницима у производњи је потребно обезбедити обуку везану за вештине **подмазивања**. Обуку може изводити инжењер или искусан радник одржавања. Обука треба да обезбеди усвајање знања из области функције мазива и важност подмазивања, врста и карактеристика мазива, прибора за подмазивање и начина примене. Након спроведене обуке и стечених основних знања о подмазивању радници у производњи уз подршку радника одржавања одлазе на машину са задатком да идентификују сва места за подмазивање на машини,

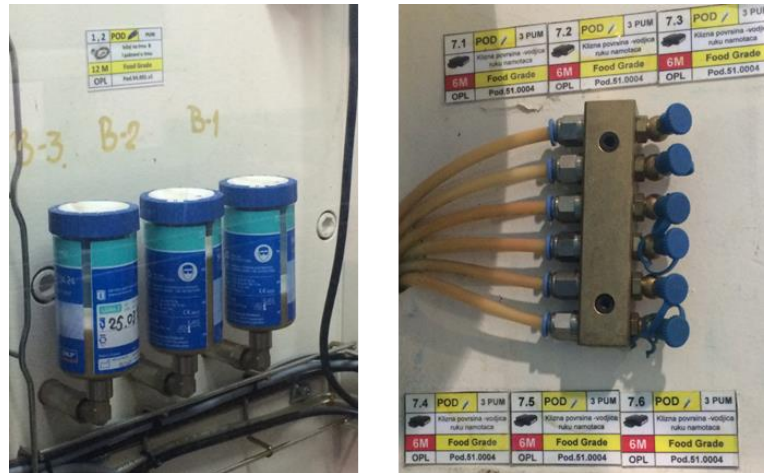
дефинишу која врста мазива је погодна и препоручена од стране произвођача опреме за подмазивање делова машина, количину мазива за сваку тачку подмазивања, период подмазивања, изабери метод (ручно, аутоматски, централизовано или појединачни), једнозначно обележе све тачке подмазивања и дефинишу стандард подмазивања. Детаљним прегледом машине радници ће идентификовати све тачке подмазивања, чак више него што се подмазује тренутно, јер ће бити оних које су недоступне, сакривене или једноставно заборављене. Како би се све тачке обухватиле будућим планом подмазивања, радници ће скицирати детаљну мапу подмазивања на којој ће обележити сваку тачку појединачно.

Пример мапе подмазивања који се користи у предузећу Тетра Пак дат је на слици 6.9.



Слика 6.9 Мапа тачака подмазивања

Пре дефинисања стандарда подмазивања оптимизује се број мазива која се користе за подмазивање. Уочава се да различита мазива могу имати сличне карактеристике тако да се може, у циљу рационализације трошкова, смањити број мазива која се користе. Као финална активност, дефинише се стандард подмазивања. Стандард подмазивања обухвата како писани документ и упутство за подмазивање тако и обележавање свих тачака подмазивања. Како би стандард био до краја једнозначан, потребно је сваку тачку подмазивања обележити адекватном налепницом, која у предузећу Тетра Пак изгледа као на слици 6.10.



Слика 6.10 Обележавање тачака подмазивања

Како би се **план Превентивног одржавања**, ТВМ план, што ефикасније израдио, неопходно је сакупити информације о одржавању опреме које до сада имамо: записе и планове претходног односно тренутно валидног система одржавања, препоруке добављача везане за одржавање опреме и искуства људи који раде на одржавању опреме. На основу свих ових улазних информација потребно је успоставити систем, односно дефинисати које ће се активности спроводити на ком делу опреме и којом фреквенцијом. План превентивних активности треба да укључи две врсте активности, превентивне прегледе и превентивне замене компонената. Превентивни прегледи имају за циљ праћење стања компонената и степена погоршања стања како би се замена саме компоненте извршила у оптималном року, пре отказа, а искоришћавајући максимално радни ресурс компоненте. Превентивно планске замене компонената треба вршити на критичним елементима на којима уколико дође до отказа последица може бити велика и дугорочна. Други ниво Превентивног одржавања обухвата превентивно снимање резервних копија софтвера машина. Све софтвере је потребно имати ускладиштене на независном електронском медијуму и применом 5C алата организовати да у случају њиховог нестанка из меморије рачунара могу бити брзо преснимљени и машина опет у функцији. Трећи ниво Превентивног одржавања јесте организација магацина резервних делова који би у потпуности подржао систем Превентивног одржавања.

6. Унапређење инспекције и успостављање Превентивног одржавања према стању (СВМ)

Циљ шестог корака јесте даље унапређење знања радника производње како би разумели структуру и начин функционисања опреме, унапређење способности уочавања аномалија на опреми као и успостављање јединственог стандарда за чишћење, инспекцију и подмазивање уз промовисање визуелног управљања опремом.

Да би радници производње разумели структуру и функцију опреме и на тај начин унапредили систем инспекције а све у циљу процене и спречавања хабања опреме, морамо одржати систематичну обуку. Та обука мора обезбедити разумевање како индивидуалне компоненте опреме као што су вентили, регулатори, вијци, редуктори, мотори и други утичу на функционисање целог техничког система, безбедност опреме и на квалитет производа.

Према искуствима компаније Тетра Пак, обуку је потребно извести из следећих области:

- Вијчани спојеви,
- Преносници снаге,
- Хидраулика и пнеуматика,
- Електротехника – основе,
- Сензорика и аутоматско управљање – основе.

Генерална инспекција се изводи применом људских чула и једноставних мерних алата:

- Посматрањем делова и компонената,
- Слушањем, да ли опрема производи чудне звуке,
- Додиром откривамо вибрације и температуру,
- Мерењем, утврђујемо померања и зазоре.

Генералном инспекцијом проверавамо:

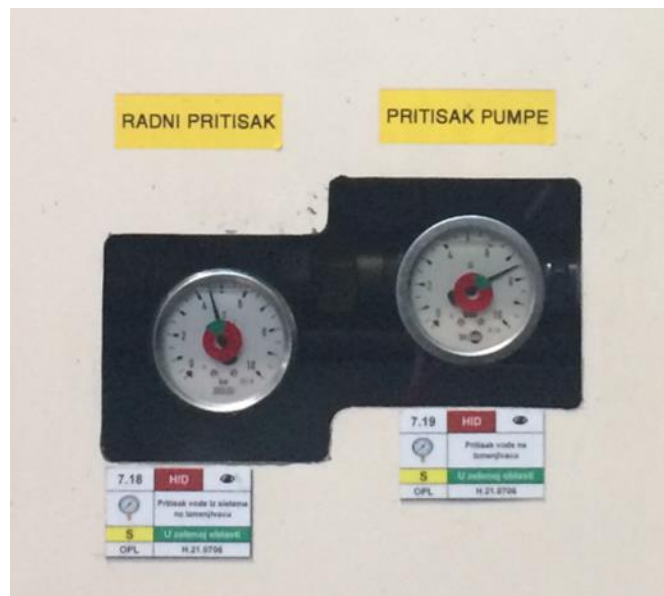
- Степен причвршћености вијчаних спојева,
- Притиске флуида у систему,
- Нивое уља у преносницима снаге,
- Функционисање вентилатора за хлађење,
- Степен хабања клизних површина, итд.

Како би се инспекција убрзала и олакшала, користи се систем визуелизације. Он обухвата мапирање и обележавање свих тачака инспекције, као и у случају подмазивања, као и активност означавања дозвољених граница за рад техничког система. На слици 6.11 приказани су основни примери обележавања индикатора.



Слика 6.11 Визуелно управљање – инспекција

Поред наведеног потребно је и на самој тачки инспекције поред броја тачке, једнозначно означити и начин контролисања, што се може извести као на слици 6.12. која показује пример из компаније Тетра Пак.




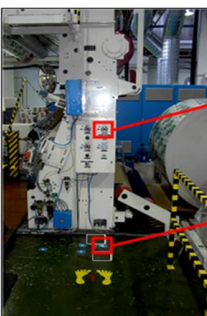
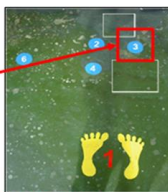

Слика 6.12 Обележавање тачака инспекције

Када су горе наведени услови испуњени, приступа се изради листе тачака за инспекцију. Ова листа треба да садржи на једној оси бројеве тачака инспекције а на другој следеће елементе:

- Шта се мери – (притисак, ниво уља, итд.),
- Област – (пнеуматика, хидраулика, преносници, итд.),
- Метод мерења – (визуелно, додиром, слушањем, итд.),

- Индикацију исправног стања – (индикатор у зеленом, ниво у зеленом, итд.),
- Број стандарда за инспекцију,
- Напомену да ли је потребно користити заштитну опрему,
- Фреквенцију инспекције - (дневно, месечно, итд.),
- Трајање инспекције,
- Статус опреме у току инспекције – (мирује или ради),
- Инструкцију шта радити у случају уочене аномалије.

Стандард за инспекцију је веома важан документ који се израђује за сваку тачку инспекције појединачно. Садржи метод инспекције, фотографију саме тачке инспекције, потребан алат за инспекцију, инструкције за извођење инспекције као и упутство за реаговање у случају идентификовања аномалије. Слика 6.13.

<input checked="" type="checkbox"/> Osnovne informacije <input type="checkbox"/> Problem <input type="checkbox"/> Korekcija		Standard za inspekciju	Mašina	Standard br.	Datum	Prepared by :
			51	P.511.0103		Inspect:
1. Pozicija za inspekciju 	2. Kontrolna tačka br. 3 Automatsko kočenje (pneumatski manometar za merenje pritiska za automatsko kočenje)	3. Tačka za inspekciju  				
4. Metod za inspekciju <input type="checkbox"/> DODIROM <input type="checkbox"/> POMIRISATI <input checked="" type="checkbox"/> VIZUELNO <input type="checkbox"/> SLUŠATI <input type="checkbox"/> KORISTITI ALAT	5. Alat koji se koristi za inspekciju <input type="checkbox"/> Mikrometar <input type="checkbox"/> Pomično merilo <input type="checkbox"/> Stetoskop <input type="checkbox"/> Termometar <input type="checkbox"/> Lenjir <input type="checkbox"/> Četka za čišćenje <input type="checkbox"/> Uređaj za merenje temperature na odstojanju <input type="checkbox"/> Uređaj za merenje vibracija					
OBJAŠNJENJE ZA KONTROLNU TAČKU Pneumatski manometar br.3 koji se nalazi na poziciji za inspekciju br. 1 (mašina za sečenje - Slitter), radi na pritisku između 0.8-3.5 bara (zelena oblast) i služi za merenje pritiska za automatsko kočenje Kada je pritisak veći od 3.5 bara to znaci da su kocnice pohabane pa je potreban veci pritisak kako bi se ostvarila zeljena sila kocenja. Kada je pritisak manji od 0.8 bara imamo nedovoljno zatezanje papira Ako je pokazivanje manometra u zutoj oblasti, kocnice vrse svoju funkciju ali problem postoji.		AKO POSTOJI PROBLEM/ ANOMALIJA 1. Pogledati da li je otvoren glavni ventil za dovod vazduha na masinu OPL br.51.001 2. Otvoriti pneumatski orman i proveriti da li ima curenja vazduha na cevovodu i da li je pritisak dovodnog vazduha podesean na 6 bar OPL br. 51.002 3. Uporediti pritisak na I/P pretvaracu sa pokazivanim pritiskom na manometru OPL br. 51.008				

Слика 6.13 Стандард за инспекцију (пример из компаније Тетра Пак)

На крају овог корака обједињују се сва три стандарда у један јединствени стандард чишћења, подмазивања и инспекције.

Проактивно одржавање представља веома важан сегмент одржавања који је потребно успоставити у мери коју дозвољавају финансијска средства предузећа. Уколико је могуће, потребно је набавити једноставне дијагностичке уређаје за вибродијагностику и мерење температуре и обучити неколико радника у производњи или радника у одржавању за руковање. Уколико није могуће,

следеће решење би било ангажовати спољашњег сарадника који поседује наведене уређаје и потребно знање за њихову примену да периодично врши мерења.



Слика 6.14 Прибор за вибродијагностику и термалну инспекцију

У сваком случају потребно је идентификовати компоненте чије би се стање пратило а које су критичне са аспекта функционисања предузећа. Као први корак потребно је изабрати оне критичне компоненте на којима је могуће применити вибродијагностику или термовизију а које у случају отказа могу зауставити предузеће на више дана јер не постоје резервни делови или је њихов рок испоруке веома дуг као и оне за које није могуће извршити поправку компонента у прихватљивом року. Као други корак, потребно је изабрати физичке параметре који би се пратили на одређеним компонентама (температура и слично). Као трећи корак потребно је једнозначно дефинисати мерне тачке, и обележити их бројевима, на компонентама како би се обезбедила поновљивост мерења и могућност поређења измерених параметара. Као четврти корак потребно је развити, односно дефинисати, једноставни табеларни систем праћења и евиденције измерених величина са могућношћу визуелизације резултата у облику дијаграма. Као пети корак потребно је дефинисати критичне контролне лимите измерених вредности и дефинисати акције које је потребно предузети уколико се контролни лимити прекораче. Као шести и финални корак потребно је успоставити редовна мерења на изабраним мерним тачкама и обраду података на основу које се може донети одлука о потребним активностима одржавања. Узимајући у обзир велики број ограничења у ресурсима код МСП свакако треба тежити лимитираном броју тачака и мерних техника. Инвестирање у праћење стања компонента може се вишеструко исплатити.

7. Рано управљање инвестицијама

Цела организација има свест о губицима и њиховим утицајима на пословање као и о утицају сваког запосленог на остваривање стратегије предузећа. Власник

и менаџмент предузећа више не сматрају инвестицију као начин за унапређење предузећа и теже максимизирању постојећих капацитета. Инвестира се структурно избегавајући све потенцијалне губитке кроз адекватну примену методологије за иницијално управљање инвестицијама.

Како би се спречила појава отказа на новој опреми, потребно је успоставити систем превенције отказа. Овај систем је саставни део методологије за имплементацију нове опреме у предузећу када се за тим укаже потреба. У процес имплементације нове опреме потребно је поред власника и менаџмента предузећа укључити и раднике одржавања и раднике производње како би се сви аспекти нове опреме детаљно анализирали пре него се она купи и инсталира.

Кораци имплементације су следећи:

7.1 Фаза планирања

На почетку фазе планирања потребно је урадити анализу оправданости инвестиције, узимајући у обзир губитке које желимо да елиминишемо. Такође је потребно разумети спецификацију опреме, односно шта то желимо да на новој опреми производимо и какав ниво квалитета производа да постигнемо. Потребно је разумети поред димензија и квалитета производа које желимо и податке о улазним сировинама које планирамо да користимо. Следећа активност у фази планирања јесте анализа везана за трошкове финансирања нове опреме. Пре свега потребно је истражити тржиште и прибавити понуде од произвођача опреме. Након тога потребно је направити упоредну табелу свих трошкова које инвестиција укључује како би поређење било валидно. Не сме се заборавити ни анализа повраћаја средстава узимајући у обзир добит коју планирамо да остваримо овом опремом или трошкове губитака које желимо да елиминишемо.

7.2 Основни дизајн

На основу прикупљених понуда као и добијених концептуалних цртежа мора се урадити анализа потребног простора за смештај опреме, анализа тока материјала и транспортних средстава како би се омогућило несметано снабдевање опреме и оперативна анализа кретања радника у зони машине како би се омогућило руковање опремом.

Уколико постоји могућност, може се опрема погледати у другом предузећу и поразговарати са тренутним корисницима те опреме, како би се прикупиле додатне информације о њој.

Након свих анализа доноси се одлука о добављачу опреме и прави се план имплементације. Потребно је договорити са добављачем о критеријумима успешности пројеката као што су: захтевана ефикасност, квалитет и безбедност на раду.

7.3 Детаљни дизајн

Након што је изабрана опрема једног добављача потребно је са њим успоставити сарадњу на заједничком разумевању будућих захтева које опрема мора испунити. Потребно је обезбедити детаљне цртеже опреме са свим димензијама као и цртеже њених склопова. На основу тих цртежа врши се детаљна израда планова позиционирања опреме, транспортних путева и области предвиђене за руковање опремом. Преузета оперативна упутства потребно је проследити одељењу производње на анализу као и упутства за одржавање и подмазивање. Такође је неопходно извршити и анализу безбедности на раду и проценити потребе за енергентима потребним за снабдевање опреме. Све уочене недостатке или предлоге за унапређења као и предлоге настале на основу анализа застоја сличне опреме потребно је саопштити добављачу како би извршио жељене модификације у току израде опреме.

7.4 Израда опреме

У фази израде опреме мора се обезбедити да опрема буде произведена према спецификацијама договореним у фази детаљног дизајна. Ако је могуће, у току израде опреме треба посетити произвођача и погледати како опрема изгледа у складу са постављеним захтевима. Обезбедити да сва упутства и инструкције на опреми као и натписи на елементима управљања буду на локалном језику. Замерке саопштити добављачу како би их исправио.

У овој фази је важно са добављачем договорити листу неопходних резервних делова како би се обезбедило њено адекватно одржавање у периоду експлоатације.

Поред наведеног, у току ове фазе потребно је превести оперативна упутства на локални језик и започети прелиминарну обуку оператера. Такође се морају припремити и планови чишћења, инспекције и подмазивања и унети у стандард, затим треба захтевати од добављача да примени сва потребна обележавања како би се олакшала визуелна инспекција. После тога треба почети са израдом планова превентиве на основу документације.

7.5 Инсталација опреме

Приликом испоруке опреме потребно је проверити њено стање у тренутку испоруке као и статус свих испоручених елемената. Мора се избећи почетак инсталације уколико нису сви поручени елементи испоручени у правој количини и квалитету.

План инсталације се мора направити узимајући у обзир све ресурсе на располагању. Обезбедити потребан алат и прибор као и механизацију за подизање терета.

Водити рачуна о безбедности на месту инсталације опреме. Спровести иницијалну обуку за све људе који учествују у инсталацији. Обезбедити лична заштитна средства за све, без изузетка, и дефинисати ко је одговоран за безбедност у току инсталације.

7.6 Пуштање опреме у рад

За пуштање опреме у рад неопходно је обезбедити адекватну подршку од стране произвођача опреме или стручних лица са искуством.

У току инсталације потребно је пре свега потврдити да је опрема безбедна за рад. Након тога потребно је извршити обуку радника производње за њено коришћење. На крају проверити да ли су сви договорени елементи у фази детаљног дизајна и производње испуњени и ако има девијације отклонити је.

7.7 Иницијални рад

У овој фази се прати рад опреме и постигнути резултати ефикасности и квалитета као и безбедности на раду. Извршити ревизију стандарда чишћења, подмазивања и инспекције и ажурирати стандард уколико је потребно. Завршити успостављање плана превентивних активности и извршити обуку радника одржавања.

Детаљном применом наведених корака обезбеђује се да опрема буде изабрана сходно потребама предузећа уз минимални период повраћаја средстава. Такође се омогућава адекватна обука радника производње и радника одржавања како би се жељена ефикасност и квалитет достигли у кратком року. И на крају, омогућава се да систем одржавања буде постављен сходно стандардима предузећа како би омогућио несметан рад опреме и њену високу поузданост.

6.5 Процена очекиваних резултата имплементације модела ТПМ-а у МСП

Процена очекиваних резултата имплементације предложеног поједностављеног модела ТПМ-а у МСП извршена је кроз анализу рентабилности предузећа уз коришћење егзактних података о вредностима унапређења кључних индикатора пословања у шест фабрика Тетра Пака у Европи остварених применом ТПМ-а.

Преломна тачка рентабилитета представља тачку у којој су остварени приходи предузећа довољни да покрију укупне трошкове пословања, без остваривања профита. Тачка се одређује кроз процес који се назива анализа рентабилности (Џсераповић 2016).

Преломна тачка рентабилитета зависи од више утицајних фактора:

- Обима производње (Op),
- Продајне цене производа (C),
- Фиксних трошкова предузећа (Φtr),
- Варијабилних трошкова предузећа ($B tr$),
- Укупних трошкова предузећа ($U tr$) где је:

$$U tr = \Phi tr + B tr * Op \quad (6.1)$$

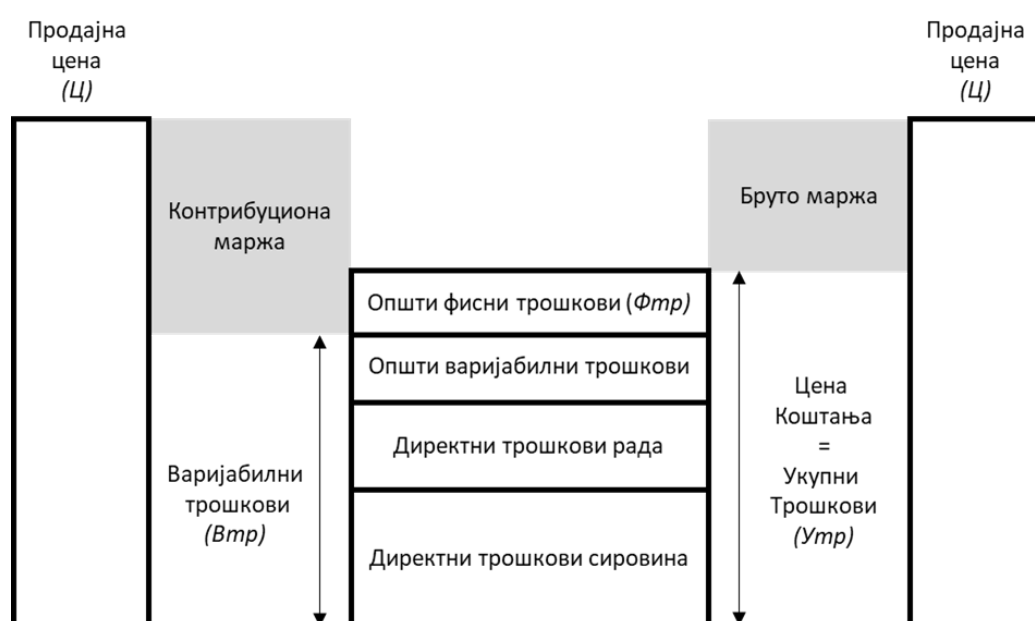
- Укупног прихода ($U пр$) где је:

$$U пр = C * Op \quad (6.2)$$

Профит (Π) се рачуна као:

$$\Pi = U пр - U tr \quad (6.3)$$

Принцип обрачуна трошкова приказан је графички на слици 6.15.



Слика 6.15 Систем обрачуна трошкова (Џсераповић 2016)

Како у преломној тачки нема профита, можемо написати следећу једначину:

$$U_{pr} - U_{tr} = 0 \tag{6.4}$$

Односно:

$$C * O_p - (F_{tr} - V_{tr} * O_p) = 0 \tag{6.5}$$

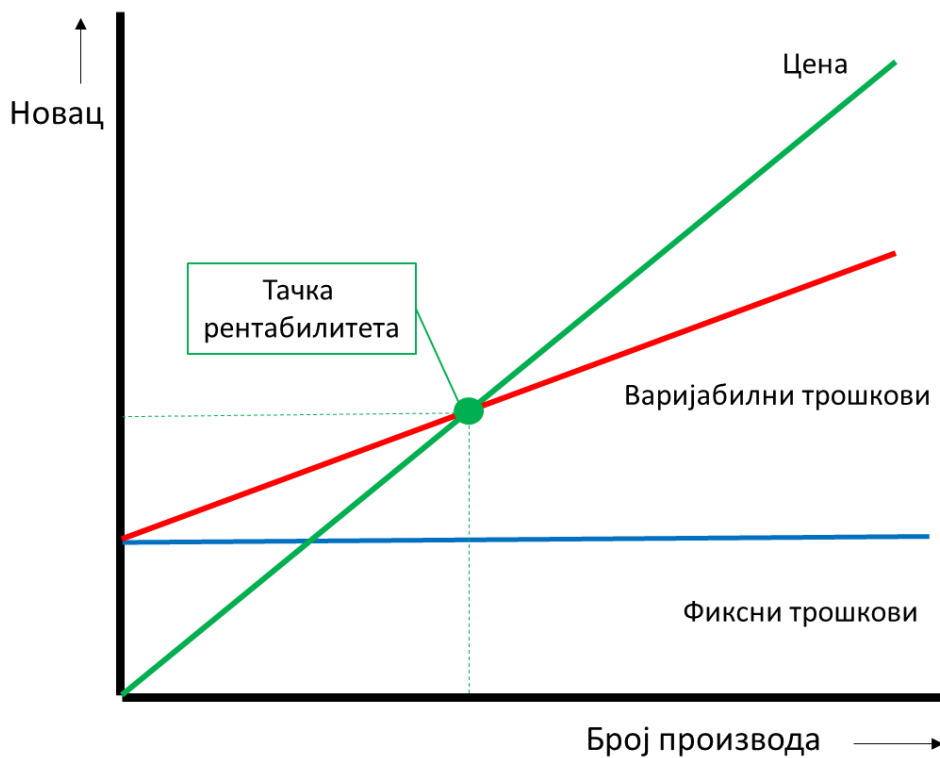
Из чега следи:

$$F_{tr} = O_p * (C - V_{tr}) \tag{6.6}$$

Тако да се обим производње потребан да се достигне тачка рентабилитета одређује коришћењем формуле:

$$O_p = F_{tr} / (C - V_{tr}) \tag{6.7}$$

Графички приказ прорачуна тачке рентабилитета дат је на слици 6.16.



Слика 6.16 Преломна тачка рентабилитета

Поред наведеног ова метода омогућава да се постави, као финансијски или пословни циљ предузећа, остваривање одређеног профита, а уз помоћ прорачуна преломне тачке рентабилитета израчунају потребни параметри које је неопходно обезбедити да би се остварила планирана продаја и профит. Наведени циљ примене ове методе је искоришћен за процену резултата имплементације предложеног поједностављеног модела ТПМ-а у МСП.

Егзактни подаци о вредностима унапређења кључних индикатора пословања применом ТПМ методологије прикупљени су из укупно седам Тетра Пакових фабрика у Европи:

1. Арганда у Шпанији,
2. Лимбург у Немачкој,
3. Дижон у Француској,
4. Рубијера у Италији,
5. Москва у Русији,
6. Будаорш у Мађарској и
7. Горњи Милановац у Србији.

Све наведене фабрике примењују ТПМ већ дужи низ година и успеле су да добију признања од јапанског института JIPM за постигнуте резултате. Прикупљени подаци обухватају кључне индикаторе пословања за посматрани период:

- Обим остварене производње и максимални капацитет
- Ефикасност,
- Број отказа,
- Број рекламација купаца,
- Укупни шкарт,
- Тачност испорука купцима,
- Број запослених
- Индекс унапређења трошкова,
- Број повреда на раду,
- Број нових производа,

Прикупљени подаци су усредњени и приказани у табели 6.1. У даљој анализи извршена је трансформација приказаних индикатора у релативне вредности у односу на број произведених производа у периоду од једне године, или у односу на број запослених. Затим су сви резултати приказани као коефицијент унапређења у односу на референтну годину, односно годину када је започела имплементација ТПМ-а. Потребно је нагласити да су за даљу анализу коришћени само резултати из прве фазе имплементације ТПМ-а јер се она односи на производни део предузећа.

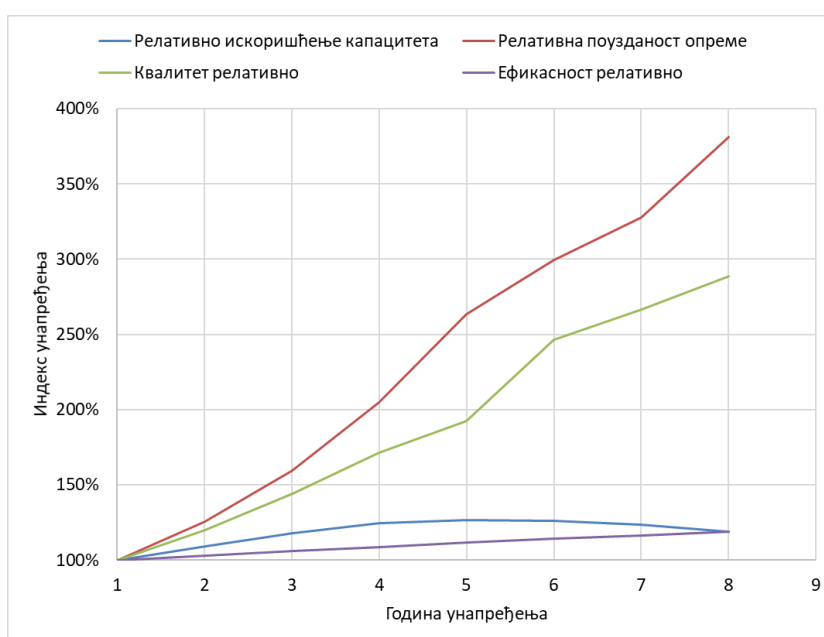
Табела 6.1 Усредњени резултати унапређења кључних индикатора пословања остварених имплементацијом ТПМ-а у Тетра Пак фабрикама у Европи

Остварени резултати	Јединица	Почетни резултати	Година 1	Година 2	Година 3	Година 4	Година 5	Година 6	Година 7
Обим производње	Пакета	3267	3577	3875	4112	4272	4446	4531	4617
Максимални капацитет	Пакета	4798	4814	4831	4847	4963	5176	5389	5699
Ефикасност	%	60,12%	61,86%	63,60%	65,35%	66,98%	68,81%	69,86%	71,32%
Број отказа	Број	644	561	479	396	320	293	273	239
Рекламације купаца	Број	196	179	161	144	133	108	102	96
Шкарт материјала	%	7,58%	7,06%	6,54%	6,02%	5,65%	5,47%	5,16%	4,85%
Тачност испоруке	%	72,75%	77,61%	82,72%	85,16%	87,11%	88,78%	90,42%	91,83%
Број запослених	Број	235	237	236	234	235	237	237	236

Овако трансформисани подаци о релативним унапређењима посматраних индикатора у односу на референтну годину приказани су у табели 6.2. као и у облику дијаграма на слици 6.17.

Табела 6.2 Индекси унапређења резултата имплементацијом ТПМ-а у Тетра Паку

Остварени резултати	Почетни резултати	Година 1	Година 2	Година 3	Година 4	Година 5	Година 6	Година 7
Релативно искоришћење капацитета	100%	109%	118%	125%	126%	126%	123%	119%
Релативна поузданост опреме	100%	126%	160%	205%	264%	299%	328%	381%
Квалитет релативно	100%	120%	144%	171%	192%	246%	266%	289%
Ефикасност релативно	100%	103%	106%	109%	111%	114%	116%	119%
Шкарт релативно	100%	93%	86%	79%	75%	72%	68%	64%
Релативни број отказа	100%	87%	74%	61%	50%	45%	42%	37%
Релативни број рекламација	100%	91%	82%	73%	68%	55%	52%	49%



Слика 6.17 Дијаграм унапређења резултата имплементацијом ТПМ-а у Тетра Паку

Анализом приказаних података уочава се да је највећи степен унапређења постигнут у области унапређења поузданости где је, упркос знатном повећању обима производње, број отказа редукован.

Други значајан аспект унапређења представља аспект квалитета, посматрано као однос између броја произведених производа и броја прихваћених рекламација.

Анализом приказаних резултата, кроз форму прорачуна преломне тачке рентабилитета, може се извршити процена очекиваних резултата унапређења кључних индикатора пословања, за неко посматрано мало и средње предузеће које започиње са процесом имплементације модела ТПМ-а.

Као улазни подаци дефинисани су основни финансијски показатељи пословања предузећа у периоду од једне године:

- Директни трошкови сировина,
- Губитак настао услед неадекватног квалитета производа израчунат као проценат шкарта од укупне вредности сировина,
- Број радника у производњи и њихова бруто два зарада,
- Трошкови енергије,
- Трошкови одржавања,
- Трошкови амортизације опреме,
- Трошкови бруто два зарада индиректних радника,
- Трошкови настали услед рекламација производа,
- Фиксни трошкови предузећа,
- Тренутни обим производње,
- Тренутна продајна цена производа, односно припадајући профит предузећа.

Наведени подаци користе се за прорачун јединичне цене коштања производа која уз продајну цену производа представља основни параметар за прорачун рентабилности, односно профитабилности предузећа.

Прво је извршена процена смањења директних трошкова сировина њиховим умањивањем за проценат смањења шкарта по годинама. При овом прорачуну добијена је јединична цена материјала која је коришћена у даљем прорачуну укупних трошкова.

Следећа калкулација се односи на процену утицаја унапређене ефикасности предузећа на трошкове. Могуће је било применити два приступа: први, да повећање ефикасности процеса и опреме има за последицу смањивање броја директних радника, и други, да повећање ефикасности буде искоришћено за повећање обима производње. За даљу анализу изабран је други приступ јер је циљ МСП да повећа профит кроз повећање

обима производње, а не да стагнира и смањује број запослених. На овај начин добијене су процењене, односно унапређене, вредности обима производње по годинама имплементације поједностављеног ТПМ модела. Други бенефит оваквог приступа унапређењу пословања МСП омогућава власнику да повећа производњу, задржи исти број запослених и на крају унапреди профит без додатних улагања у производну опрему и додатно оптерећивање трошкова амортизације, енергије и одржавања.

При анализи општих варијабилних трошкова примењен је сличан приступ. Цена енергије је подељена у две групе. Прва група од 10% трошкова обухвата енергију утрошену за: припрему опреме за рад, промену производа, отклањање отказа на опреми, заустављање опреме, и слично. Друга група која обухвата 90% трошкова енергије се односи на утрошак енергената за израду производа. Прва група је оптимизирана коришћењем коефицијента унапређења ефикасности производног процеса, док је друга група увећана сразмерно повећању обима производње.

Трошкови одржавања су прорачунати усклађивањем са постигнутим степеном унапређења поузданости опреме по годинама. Анализирајући постигнуте резултате Тетра Пака уочено је да се број отказа смањивао по годинама уз истовремено значајно повећање обима производње, што је за последицу имало значајно смањење трошкова одржавања по јединици производа. Наведени принцип је примењен и у приказаном моделу.

Трошкови амортизације су задржани на тренутном нивоу. Разлог за овакав приступ је коришћење бенефита повећања ефикасности односно бољег искоришћења постојећих производних капацитета, што предузећу омогућава избегавање улагања у нову производну опрему уз истовремено задржавање тренутног нивоа инвестиционог одржавања. Сличан приступ је примењен и за трошкове индиректних радника чији је трошак задржан на постојећем нивоу.

Оптимизација трошкова рекламација долази као последица смањења броја рекламација уз истовремено значајно повећање обима производње. Овај приступ доводи до значајно мањег утицаја ових трошкова по јединици производа.

Као резултат анализе добија се график који приказује вредност фиксних трошкова, вредност варијабилних трошкова и продајну цену производа у односу на број произведених јединица производа. Тачка пресека између линије укупних трошкова и линије цене производа (преломна тачка рентабилности) представља први параметар који нам је интересантан за процену успешности имплементације поједностављеног модела ТПМ-а за примену у МСП, док је други параметар однос између линије укупних трошкова и цене, што представља профит предузећа.

Тестирање приказаног алата за процену очекиваних резултата унапређења извршено је кроз прикупљање и анализу података о пословању више малих и средњих предузећа. Као пример биће приказана анализа спроведена за фабрику из групе МСП која производи пластичне елементе бризгањем. Основни улазни подаци приказани су у табели 6.3.

Табела 6.3 Пример података о пословању једног МСП

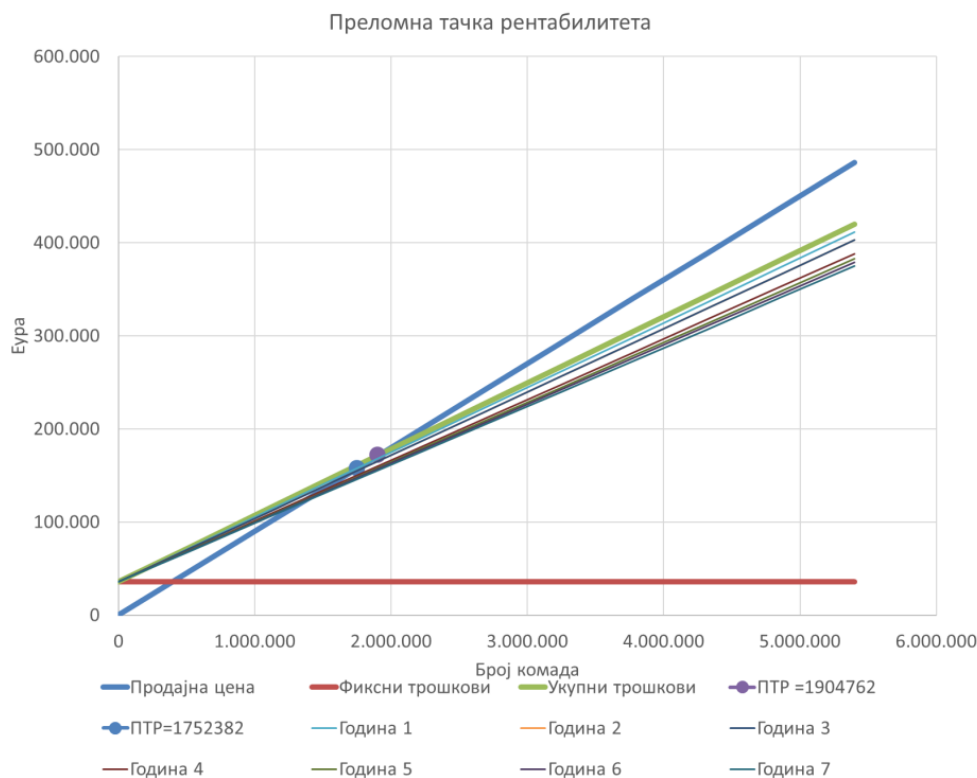
Опрема - машине за бризгање пластике,	8 комада
Број запослених	12
Обим производње на годишњем нивоу	5.000.000 комада
Годишњи приход	450.000 евра
Вредност улазног материјала	153.000 евра
Тренутни шкарт	14,7%
Просечна зарада запосленог	4.500 евра
Трошкови енергије	81.000 евра
Трошкови одржавања	18.000 евра
Амортизација	22.500 евра
Трошкови индиректних радника	18.000 евра
Трошкови рекламација производа	9.000 евра
Фиксни трошкови	36.000 евра
Јединична цена производа	0,09 евра

На основу наведених података спроведена је претходно описана анализа и добијен је дијаграм приказан на слици 6.18 који показује кретање укупних трошкова у зависности од степена имплементације поједностављеног модела ТПМ-а у периоду од седам година.

Анлизом дијаграма евидентно је да ће са применом поједностављеног модела ТПМ-а доћи до смањења укупних трошкова предузећа а самим тим и до померања тачке рентабилитета, што финално доприноси повећању профита предузећа.

Детаљнијом анализом резултата може се утврдити да се тренутно преломна тачка рентабилитета производње постиже на произведених 1.905.000 комада, што значи да тек након достизања поменутог обима производње предузеће почиње да остварује добит.

Са имплементацијом поједностављеног модела ТПМ-а у предузећу, доћи ће до смањења трошкова производње. Ова унапређења ће омогућити померање тачке рентабилитета на 1.752.400 комада, што представља значајно побољшање у периоду од једне године.

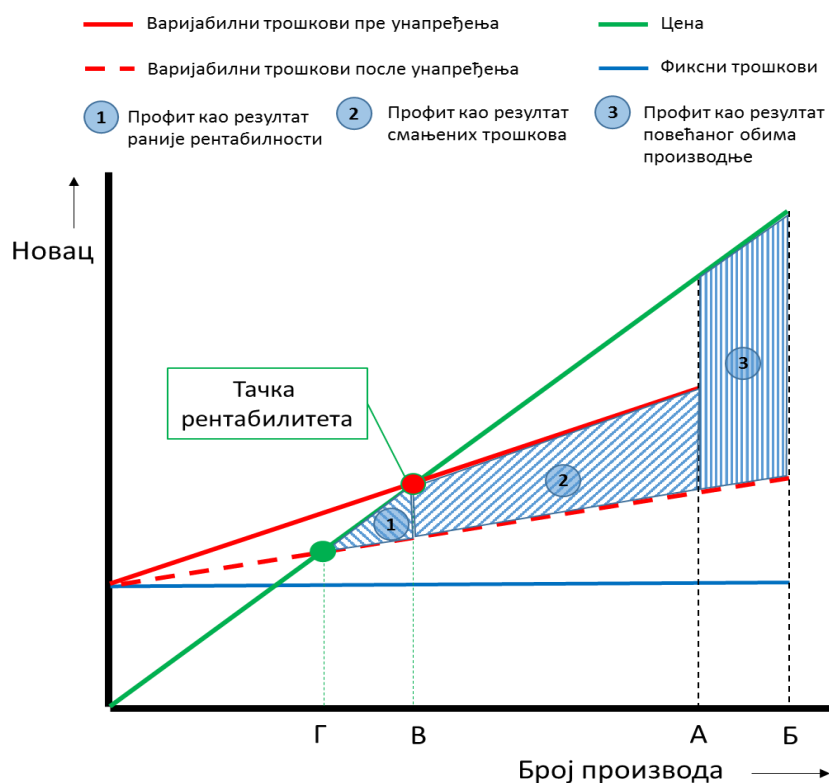


Слика 6.18 Преломна тачка рентабилитета по годинама

Како би се прецизније идентификовало унапређење пословних резултата (повећање профита) користиће се дијаграм на слици 6.19.

Као резултат унапређене ефикасности производног процеса и повећане поузданости опреме предузеће је у могућности да у истом временском периоду и са истим бројем радника, без додатних инвестиција, произведе више јединица производа. У конкретном случају, предузеће је годишње производило 5.000.000 производа (тачка А на дијаграму). Након примене поменутих унапређења, у првој години имплементације, предузеће ће моћи да произведе нову, увећану количину производа од 5.145.019 комада на годишњем нивоу (тачка Б на дијаграму).

Као резултат додатних унапређења које се огледа у смањењу шкарта материјала и смањењу броја рекламација долази до редуковања дела варијабилних трошкова а самим тим и укупних трошкова. Последица тога јесте померање тачке рентабилитета са тачке В, која пре унапређења производње има вредност 1.905.000, на тачку Г која има вредност 1.676.000. Може се закључити да ће се профит раније остваривати, у поређењу са полазним стањем, односно да ће бити потребно произвести 152.600 комада мање да би се достигла рентабилност.



Слика 6.19 Унапређени елементи профитабилности

Резултат свега наведеног јесте повећање профита у првој години имплементације а који се може класификовати у три категорије, као што је приказано на слици 6.19. Профит означен са 1 представља добит која је остварена због померања тачке рентабилитета на доле односно добит коју раније није постојала јер је за исти број комада производња још увек била нерентабилна. У конкретном случају та добит у периоду прве године износи 3.134 евра. Профит означен са 2 представља увећану добит за вредност смањења укупних јединичних трошкова при производњи истог броја производа као и пре унапређења. У конкретном случају та добит износи 5.076 евра. Профит означен са 3 представља добит остварену продајом додатне количине производа коју раније нисмо производили јер за њу нисмо имали адекватан капацитет производње. Ова добит износи 2.978 евра у конкретном случају.

Сумирањем добијених резултата може се закључити да би се кроз примену поједностављеног модела ТПМ-а, у посматраном производном предузећу, могло очекивати повећање профита од 11.188 евра већ након прве године имплементације. Наставком имплементације модела ТПМ-а остварили би се и додатни бенефити, и то не само у повећању профита, већ и у индикаторима пословања које није могуће квантификовати. Смањењем броја рекламација, повећањем поузданости производног процеса и повећањем поузданости испорука предузеће ће поправити своју слику код купаца. Смањењем броја повреда на раду, већим учешћем запослених у креирању пословних резултата предузећа и бољим информисањем запослених унапредиће се радна атмосфера у предузећу и повећати задовољство свих запослених.

7. Закључак

У овој дисертацији истраживани су модели унапређења пословања МСП базирани на унапређењу одржавања производне опреме максималним искоришћењем расположивих ресурса са којима располажу МСП, узимајући у обзир ограничења финансијске природе као и ограничења у расположивим капацитетима радне снаге. Истраживање је показало потребу за развојем поједностављеног система континуалног унапређења, фокусираног на унапређење поузданости опреме, унапређење продуктивности и квалитета уз истовремено достизање минималних трошкова производње.

Као најкомплетнији систем континуалног унапређења препознат је ТПМ систем развијен у Јапану и широко примењен у компанијама широм света а чија је основа унапређење одржавања производне опреме уз максимално укључивање свих запослених у предузећу. Проучавањем овога система дошло се до закључка да је примена целокупног програма ТПМ-а који се састоји из осам основних стубова, односно активности, немогућа за примену у МСП и да је потребно извршити прилагођавање и поједностављивање програма а истовремено задржати његову ефикасност и учинковитост.

Као резултат истраживања научних радова објављених у међународним часописима, спроведених истраживања тренутно примењених метода одржавања у МСП која раде у земљама Европске уније и у Републици Србији затим спроведених истраживања примењених модела континуалног унапређења у међународним компанијама, са посебним освртом на компанију Тетра Пак, као и спроведеним истраживањима о могућностима примене најновијих технологија превентивног одржавања према стању дефинисан је нови модел одржавања прилагођен примени у МСП.

Нови модел поставља раднике у производњи као носиоце процеса одржавања производне опреме користећи структуран и систематичан приступ описан у овој дисертацији а базиран на основним елементима методологије континуалног унапређења ТПМ. Нови приступ даје решења и за проблеме које МСП имају у виду недовољних људских ресурса, недовољног знања и финансијских средстава за унапређење система одржавања кроз једноставан концепт постепеног увођења радника у производњи у процес унапређења метода одржавања и смањење потребних специјалистичких знања, што доприноси укупном смањењу трошкова одржавања. Поред наведеног нови модел унапређења одржавања обухвата унапређење безбедности и здравља на раду као неизоставну одговорност свих запослених у предузећу а пре свега руковалаца опремом. Такође, нови модел дефинише и кораке за превенцију одржавања, односно дефинише методолошки шта је потребно узети у обзир током набавке нове опреме као и кога је све потребно укључити у процес доношења одлуке узимајући у обзир одговорности за руковање опремом и њено одржавање.

Потребно је нагласити да нови модел дефинише и увођење најновијих технологија превентивног одржавања према стању у МСП, што даје једну потпуно нову димензију приступу одржавања у организацијама са ограниченим ресурсима, како у погледу броја запослених и њиховог знања тако и у погледу финансија.

Да би се власници и менаџери МСП уверили у неопходност примене предложеног модела унапређења одржавања, односно пословних резултата показало се као неопходно квантификовати резултате примене, односно приказати потенцијалну добит као увећање профита предузећа. Из овог разлога извршена је процена успешности имплементације модела поједностављеног ТПМ-а у МСП, базирана на анализи преломне тачке рентабилитета предузећа уз истовремено коришћење постигнутих резултата у фабрикама Тетра Пака у Европи. Прикупљени подаци из шест фабрика Тетра Пака су искоришћени као основа за процену кретања преломне тачке у зависности од периода трајања имплементације програма континуалног унапређења а самим тим и за процену потенцијалног увећања профита.

Спроведена процена је тестирана коришћењем финансијских елемената пословања више малих и средњих предузећа. У примеру који је наведен у овој дисертацији показано је да се већ након прве године имплементације могу очекивати знатне уштеде које потичу од унапређења поузданости производне опреме као и од редуковања производног шкарта. Поред мерљивих бенефита МСП могу очекивати и немерљиве бенефите који доприносе унапређењу њиховог пословања као што су смањивање броја повреда на раду, смањење броја рекламација купаца, као и унапређење имиџа предузећа на тржишту. Не сме се заборавити ни утицај на запослене који резултује значајним унапређењем морала у предузећу.

7.1 Валидација основних хипотеза

На самом почетку истраживања дефинисане су полазне хипотезе које су истраживањем и потврђене. У наставку текста је свака хипотеза анализирана појединачно:

- 1. Тотално продуктивно одржавање, као индустријску филозофију, могуће је прилагодити примени у малим и средњим предузећима узимајући у обзир њихова ограничења у погледу броја запослених, недовољно средстава за инвестициони развој као и адекватну мотивацију власника и запослених.***

Ова хипотеза је потврђена детаљном анализом литературе из области тоталног продуктивног одржавања као и литературе и научних радова из области малих и средњих предузећа.

Идентификована су сва ограничења малих и средњих предузећа као и сви интерни и екстерни фактори који утичу на њихово пословање. Применом SWOT анализе дошло се до разумевања предности и мана МСП али и до разумевања њихових потреба за даљи развој и унапређење како би опстала на тржишту и даље се развијала.

Разлог за имплементацију неког од концепата континуалног унапређења у МСП пре свега треба тражити у жељи власника за дуговечност предузећа. Потребно је искористити жељу за иновацијама како у развоју нових производа и услуга тако и у унапређењу организације пословања, а све то у условима брзог доношења пословних одлука и њиховог прихватања, као и ограничених ресурса са којима МСП располаже.

2. Систем одржавања производно-техничких система могуће је адекватно модификовати и унапредити коришћењем ТПМ алата, како би се као резултат добило свеобухватно унапређење пословања малих и средњих предузећа.

Како би се ова хипотеза доказала, спроведена су два свеобухватна истраживања спроведена не само анализом доступних научних радова и литературе већ и сопственим истраживањима која су саставни део овога рада.

Као прво, спроведено је истраживање примењених концепата одржавања у системима МСП у Србији. Истраживање је обухватило 42 мала и средња предузећа као и поређење добијених резултата са научним истраживањима спроведеним у Великој Британији и Шведској. Дошло се до закључка да се у МСП већином примењује концепт корективног одржавања као и да само у малом броју предузећа постоји интерна Служба одржавања, док је већином одржавање поверено екстерним компанијама или појединцима. Последица овога јесте велики број отказа на производној опреми као и негативан утицај на квалитет производа и поштовање рокова испоруке према купцима. Радници у производњи опрему не посматрају и не прихватају као своју, што за последицу има убрзано погоршање стања опреме, повећане трошкове самога одржавања и целокупног пословања.

Друго истраживање је обухватило унапређење пословања коришћењем ТПМ филозофије у интернационалној компанији Тетра Пак. Истраживање је показало да је успешна примена ТПМ методологије у предузећу које послује у Србији могућа као и да је могуће постићи значајне резултате у пољу унапређења поузданости техничких система, унапређењу квалитета производа као и смањења укупних трошкова пословања.

Наведена истраживања су показала да је могуће применити систем континуалног унапређења у МСП, али да је потребна одређена модификација и прилагођавање концепта ограничењима којима МСП располажу.

Извршено је поједностављивање концепта одржавања дефинисаног ТПМ методологијом кроз кораке Аутономног одржавања, Планираног одржавања и Раног управљања и његово прилагођавање расположивим ресурсима у МСП. Такође у нови модел укључена је и безбедност на раду као важан сегмент система континуалног унапређења а који није био обухваћен истраживањима других аутора у анализираној литератури и у научним радовима. Нови модел одржавања у МСП базиран је на радницима у производњи као носиоцима унапређења а дефинисан је и описан коришћењем алгоритамског приказа.

3. Напредни алати и методе за аутоматизовану дијагностику стања и рану детекцију отказа критичних елемената техничких система неопходно је применити у малим и средњим предузећима узимајући у обзир сва, претходно дефинисана ограничења и специфичности.

Потврђивањем ове хипотезе превазиђена су ограничења наведена у истраживањима других аутора који сматрају да је Превентивно одржавање према стању примењиво искључиво у великим пословним системима и да га није могуће применити у МСП.

Ова хипотеза је потврђена са више радова објављених у међународним часописима а који су саставни део ове дисертације. Истраживања су показала да је могуће унапредити рану детекцију отказа применом напредних математичких алгоритама, развијених у наведеним радовима, што је и потврђено поређењем са осталим доступним техникама. Следећи корак јесте обезбеђивање веће фреквенције мерења уз истовремено смањивање ресурса одржавања потребних за извођење мерења. Ово се постиже увођењем расположиве опреме за реално праћење стања котрљајних лежајева уз додатак софтвера за аутоматску обраду података. Оваква опрема уз примену алгоритама за рану детекцију отказа и софтвера за аутоматску обраду података значајно смањује потребу за обученим радницима Службе одржавања и омогућава самим руковоцима опремом односно радницима у производњи да на веома поуздан начин адекватно реагују и спрече даље погоршање стања котрљајних елемената. Све наведено доприноси знатном смањењу трошкова одржавања опреме уз истовремено обезбеђивање високе поузданости производних процеса.

4. Могуће је идентификовати основне групе утицајних фактора и квантификовати ниво утицаја на процену унапређења пословања применом проширеног/унапређеног система одржавања.

Кључни индикатори пословања предузећа дефинишу меру за реализацију постављених циљева предузећа у складу са стратегијом предузећа. Они квантификују успешност пословања предузећа и омогућавају сагледавање простора за могућа унапређења.

Унапређењем система одржавања унапређује се и целокупно пословање предузећа, што је и доказано анализом примене ТПМ методологије и постигнутих резултата у седам фабрика Тетра Пака у Европи. Анализирани постигнути резултати обухватају први ниво ТПМ-а, односно искључиво унапређења која су остварена применом методологија која имају за циљ унапређење поузданости опреме. Унапређењем одржавања постигнуто је и унапређење квалитета, смањење трошкова производње и смањење времена испоруке производа купцима.

5. Имплементацијом прогностичких алата, односно модела, могуће је извршити фазну процену унапређења пословних резултата малих и средњих предузећа након примене прилагођених метода и алата кроз вредновање кључних индикатора перформанси и активности пре и после спроведених појединих фаза процеса унапређења.

Један од веома важних елемената унапређења пословања јесте мотивација власника МСП да изврши промену у начину досадашњег пословања и предвиђање могућих бенефита који се могу остварити.

Како би се овај циљ испунио, развијен је прогностички алат којим се могу симулирати бенефити пословања уколико се примени нови модел одржавања базиран на принципима ТПМ-а. Прогностички алат користи преломну тачку рентабилитета као меру профитабилности предузећа а резултате постигнуте у фабрикама Тетра Пака у Европи као меру будућих унапређења резултата у складу са временом потребним за имплементацију појединих корака новог модела одржавања.

Наведени прогностички алат је тестиран на више малих и средњих предузећа од којих је један и приказан у овој дисертацији. Поред повећања профита нови модел односно примена методе континуалног унапређења унапређује и елементе пословања које није могуће измерити праћењем кључних индикатора пословања, при чему је повећање задовољства запослених један од њих.

6. Могућа је успешна примена процеса реинжењеринга и поједностављивање модела великих индустријских система на мање индустријске системе, без великих улагања финансијских средстава.

Ова хипотеза доказана је проучавањем истраживања (Baglee & Knowles 2010; Baglee et al. 2008; Vamber et al. 1999), као и решавањем недостатака која су иста садржала и дефинисањем новог модела који је базиран на принципима ТПМ методологије и искуствима имплементације ТПМ-а у фабрикама Тетра Пака. Као носилац унапређења пословања у МСП постављено је одржавање производне опреме преко три основна стуба: Планирано одржавање, Аутономно одржавање и Рано управљање опремом уз

истовремено обезбеђивање високе безбедности запослених. Као резултат поред унапређења поузданости унапређује се и ефикасност и ефективност производње.

Препозната је улога свих запослених у процесу имплементације новог односно модификованог система континуалног унапређења. Успех имплементације у истој мери зависи од посвећености руководства да спроведе промену у пословању као и посвећености радника да примене нову методологију рада.

Нови модел унапређења процеса одржавања у МСП базира се на седам корака имплементације. Седам корака новог модела настали су сублимирањем и прилагођавањем укупно четрнаест корака имплементације аутономног одржавања и планираног одржавања према методологији ТПМ као и интеграцијом метода раног управљања. Поред наведеног, велики значај се даје и превентивном одржавању према стању коришћењем расположивог хардвера за континуално праћење стања и софтвера за аутоматску обраду података. Такође је важно нагласити да су нови кораци односно, нови приступ, прилагођени лимитираним ресурсима са којима МСП располажу. Имплементација новог модела, корак по корак је дефинисана са циљем обезбеђивања структурног приступа процесу унапређења који обезбеђује стабилност и одрживост постигнутих резултата у дужем временском периоду. Нови модел приказан је применом алгоритма уз једнозначно описане кораке за самосталну имплементацију. На овај начин нови модел омогућава једноставну имплементацију уз минималне трошкове.

7.2. Ограничења у истраживању

Спроведена истраживања садрже и одређена ограничења.

Истраживање примењених концепата одржавања у системима малих и средњих предузећа у Србији обухватило је 42 предузећа Моравичког и Шумадијског округа у Србији. За боље разумевање слике и анализу стања у целој Републици Србији потребно је спровести свеобухватније истраживање које би обухватило све регионе у Републици. Друго ограничење се огледа у чињеници да је за истраживање унапређења пословања коришћењем ТПМ филозофије у интернационалној компанији коришћен само пример компаније Тетра Пак. Разлог за овакву одлуку лежи у чињеници да компанија Тетра Пак примењује методологију континуалног унапређења ТПМ, док на пример FIAT иако свој систем назива WCM, у ствари примењује концепт Lean-а који у фокус поставља продуктивност производње.

Треће ограничење се огледа у разматрању аутоматизације метода превентивног одржавања према стању на сагледавање могућих унапређења праћења стања котрљајних лежајева. Свакако проучавањем других параметара који се могу пратити

(температура, притисак, итд.) и развојем прогностичких алгоритама за рану детекцију отказа добили би се додатни бенефити у системима малих и средњих предузећа.

Четврто ограничење се огледа у линеарности анализе за процену ефикасности резултата имплементације континуалног унапређења у МСП. На овај начин део утицајних фактора на постигнуте резултате није било могуће разматрати. Подразумева се да фиксни трошкови остају непромењени иако је могуће у дужем временском року очекивати њихово повећање. У предузећима која производе више различитих производа не узима се у обзир промена удела у продаји различитих производа, подразумева се да су сви произведени производи и испоручени тако да анализа не узима у обзир трошкове складиштења и додатне манипулације производима.

7.3 Правци даљих истраживања

Анализирајући тенденције у развоју технике и технологије уочавамо да се ми данас налазимо на прагу четврте технолошке револуције која поставља нове изазове пред МСП. Они се огледају у повећаном степену аутоматизације производних процеса као и у све већој примени дигитализације. Купци постају све захтевнији и квалитет постаје ултимативни циљ производње, што пред предузећа поставља нове захтеве у погледу поузданости производних процеса. МСП имају задатак да се у будућности прилагоде наведеним захтевима како би обезбедила не само успех у свом пословању већ и сам опстанак на тржишту. МСП су решавање овога изазова већ започела уколико се одлуче за примену предложеног модела унапређења процеса одржавања. Даља истраживања имају задатак да додатно прилагоде предложени модел унапређења процеса одржавања са једне стране захтевима четврте технолошке револуције, а са друге стране ограничењима која имају МСП.

Литература

Abhishek Jain, Harwinder Singh, Rajbir S Bhatti, (2016), Implementation of Maintenance Management in a Medium Size Industry for Optimization of Maintenance Cost: A Case Study, IUP Journal of Operations Management, February 1, 2016

Abhishek Jain, Rajbirbhatti, Harwinder Singh, (2014), Total Productive Maintenance (TPM): a proposed model for indian SMEs, International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD), Vol. 4, Issue 1, 1-22

Ablay, Talip, (2013), Maintenance Perception in Swedish SMEs (A local study in Kronoberg County), 2013, Sweden

Ahmad R.; Kamaruddin S., (2012), An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. Comput. Ind. Eng. 2012, 63, 135–149.

Ahuja I. P. S., and Khamba J. S., (2008), "Total productive maintenance: literature review and directions," International Journal of Quality and Reliability Management, vol. 25, no. 7, pp. 709-756, 2008.

Ahuja I.P.S., Kumar Pankaj, (2009) "A case study of total productive maintenance implementation at precision tube mills", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 15 Issue: 3, pp.241-258

Albert H.C. Tsang, P.K. Chan, (2000) "TPM implementation in China: a case study", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 17 Issue: 2, pp.144-157

Aleksić Aleksandar, Stefanović Miladin, Arsovski Slavko, Tadić Danijela, (2013), An Assessment of Organizational Resilience Potential in SME of Process Industry, The Fuzzy Approach, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol.26, No.2013, pp. 1238-1245, ISSN 0950-4230, Doi 10.1016/j.jlp.2013.06.004, 2013

Ali J.B.; Fnaiech F.; Saidi L.; Chebel-Morello B.; Farhat F. (2015), Application of empirical mode decomposition and artificial neural network for automatic bearing fault diagnosis based on vibration signals. Appl. Acoust. 2015, 89, 16–27

Al-Najjar Basim, (2007), The lack of maintenance and not maintenance which costs: A model to describe and quantify the impact of vibration-based maintenance on company's business, Int. J. Production Economics 107 260-273

Alsyouf Imad, (2007), The role of maintenance in improving companies' productivity and profitability, Int. J. Production Economics 105 70-78

Alsyouf Imad, (2009), Maintenance practices in Swedish industries: Survey results, *Int. J. Production Economics* 121 212–223

Ankur Roy & Chandra Sekhar & Vishal Vyas, (2016), Barriers to internationalization: A study of small and medium enterprises in India, Published online: 11 July 2016, Springer Science+Business Media New York DOI 10.1007/s10843-016-0187-7

Antosz Katarzyna, Stadnicka Dorota (2013), TPM in Large Enterprises: Study Results. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* Vol:7, No:10,

Aspinwall Elaine, Elgharib Maged, (2013) "TPM implementation in large and medium size organisations", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 24 Issue: 5, pp.688-710, doi:10.1108/17410381311327972

Attri Rajesh, Grover Sandeep, Dev Nikhil, (2014), A graph theoretic approach to evaluate the intensity of barriers in the implementation of total productive maintenance (TPM). *International Journal of Production Research*, Vol. 52, No. 10, 3032–3051

Baglee David and Knowles Michael, (2010), Maintenance strategy development within SMEs: the development of an integrated approach, Institute for Automotive and Manufacturing Advanced Practice Faculty of Applied Sciences, University of Sunderland, UK, *Control and Cybernetics*, vol. 39 No. 1, pp. 275-303.

Baglee David, Trimble Robert, Macintyre John, (2008), Maintenance strategy development within SME's: The development of an integrated approach, 9th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, Szczecin, Poland, October 9-10

Baglee, D., Trimble, R. and MacIntyre, J. (2003), An investigation into the perceived barriers to Total Productive Maintenance in small and medium enterprises. *International Conference on Manufacturing Research*, University of Strathclyde. Professional Engineering Publishing.

Bakri Adnan Hj., Abdul Rahman Abdul Rahim, Noordin Mohd Yusof, Widya Kartini Mohd. Razali, Mohd.Zul-Waqar Mohd.Tohid, Shaiful Anwar Ismail, (2014), A Review on the Total Productive Maintenance (TPM) Conceptual Framework, *Applied Mechanics and Materials* Vol. 660 pp 1043-1051

Bamber, C.J., Sharp, J.M. and Hides, M.T. (1999), Factors affecting successful implementation of TPM: A case study perspective. *J. of Quality in Maintenance Engineering* 5 (3), 162-181

Bamber, Sharp, Hides, (1999) "Factors affecting successful implementation of total productive maintenance: A UK manufacturing case study perspective", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 5 Issue: 3, pp.162-181

Baroncelli Carlo, Ballerio Noela (2016): *WCOM (World Class Operations Management) - Why you need more than Lean*, Springer International Publishing Switzerland

Batumalay K. and Santhapparaj A. S., (2009), "Overall Equipment Effectiveness (OEE) through Total Productive Maintenance (TPM) practices — A study across the Malaysian industries", *International Conference for Technical Postgraduates (TECHPOS)*, Kuala Lumpur, pp. 1-5. doi: 10.1109/TECHPOS.2009.5412049

Baydar N., Ball A., (2001), A comparative study of acoustic and vibration signals in detection of gear failures using Wigner–Ville distribution, *Mechanical Systems and Signal Processing* 15 1091–1107

Bengtsson M., (2007) *On Condition Based Maintenance and its Implementation in Industrial Settings*, Malardalen University Press Dissertations, No. 48

Beraha I. (2011), *Mala i srednja preduzeća kao faktor ekonomskog razvoja i smanjenja nezaposlenosti u Srbiji*, Strani pravni život, Institut za uporedno pravo, Beograd

Blanchard B., (1997) An enhanced approach for implementing TPM in the manufacturing environment. *J. of Quality in Maintenance Engineering* 3 (2), 69-80

Boris Steven (2006): *Total Productive Maintenance*, McGraw-Hill Companies Inc.

Brah S. A., Chong W. K., (2004), Relationship between total productive maintenance and performance. *International Journal of Production Research* Vol. 42 , Iss. 12, Pages 2383-2401

Brković Aleksandar, Gajić Dragoljub, Gligorijević Jovan, Savić-Gajić Ivana, Georgieva Olga, Di Gennaro Stefano, (2016), Early fault detection and diagnosis in bearings for more efficient operation of rotating machinery, *Energy Elsevier Ltd. ISSN 0360-5442*, 2016

Carnero María Carmen, (2012), *Condition Based Maintenance in Small Industries*, 2nd IFAC Workshop on Advanced Maintenance Engineering, Services and Technology, Universidad de Sevilla, Sevilla, Spain. November 22-23,

Carreiro Paul, (2015), *Industry 4.0: an industrial evolution, rather than a revolution*, , (online) <http://www.techradar.com/news/world-of-tech/industry-4-0-an-industrial-evolution-rather-than-a-revolution-1286048>

Chan F.T.S., Lau H.C.W., Ip R.W.L., Chan H.K., Kong S., (2005), Implementation of total productive maintenance: A case study, *International Journal of Production Economics*, Volume 95, Issue 1, Pages 71-94.

Chen Chee-Cheng, (2013), A developed autonomous preventive maintenance programme using RCA and FMEA, *International Journal of Production Research*. Sep2013, Vol. 51 Issue 18, p5404-5412. 9p.

Chetan S Sethia, P. N. Shende, Swapnil S Dange, (2015), A Case Study on Total Productive Maintenance in Rolling Mill, *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, vol 1 Issue 5, ISSN-2349-5162

Cocca Paola, Alberti Marco, (2010) "A framework to assess performance measurement systems in SMEs", *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 59 Issue: 2, pp.186-200

Cooke F.L., (2000), Implementing TPM in plant maintenance: Some organizational barriers. *International J. of Quality & Reliability Management* 17 (9), 1003-1016.

Costa F., (2013) *Rethinking the Internet of Things*, Apress Media, New York

De Almeida, Da Silva Vicente, L.R. Padovese, (2002), New technique for evaluation of global vibration levels in rolling bearings, *Shock and Vibration* 9 225–234.

Dieulle L., Berenguer C., Grall A. & Roussignol M., (2001), Continuous time predictive maintenance scheduling for a deteriorating system. In *Annual reliability and maintainability symposium*, Philadelphia, PA, USA (pp. 150– 155).

Djapan Marko, Tadic Danijela, Macuzic Ivan, Dragojovic Predrag, (2015), A new fuzzy model for determining risk level on the workplaces in manufacturing small and medium enterprises, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, Vol.229, No.5, pp. 456–468, ISSN 1748-006-, Doi 10.1177/1748006X15581219, 2015

Dora Manoj, Van Goubergen Dirk, Kumar Maneesh, Molnar Adrienn, Gellynck Xavier, (2014), "Application of lean practices in small and medium-sized food enterprises", *British Food Journal*, Vol. 116 Issue: 1, pp.125-141, doi: 10.1108/BFJ-05-2012-0107

Dunn S., (2009), *Condition Monitoring in the 21st Century*, Assetivity Pty Ltd., The Plant Maintenance Resource Center

Erić Dejan, Beraha Isidora, Đuričin Sonja, Kecman Nataša, Jakšić Božana, (2012), *Finansiranje malih i srednjih preduzeća*, Institut ekonomskih nauka, ISBN 978-86-80315-94-2

Eurobarometer Team of the European Commission, (2007), *Observatory*

Fangji Wu, Tianyi Wang, Jay Lee, (2010), An online adaptive condition-based maintenance method for mechanical systems, *Mechanical Systems and Signal Processing* 24 (2010) 2985–2995

Fogel Georgine, Zapalska Alina, (2001), A comparison of small and medium-size enterprise development in central and eastern europa, *Comparative economic studies*, XLIII, no 3 36-68

Fukunaga K., (1990), *Introduction to Statistical Pattern Recognition*; Academic Press: New York, NY, USA, 1990.

Gajic D.; Djurovic Z.; Gligorijevic J.; Di Gennaro S.; Savic-Gajic I., (2015), Detection of epileptiform activity in EEG signals based on time-frequency and non-linear analysis. *Front. Comput. Neurosc.* 2015, 9, 38.

Gligorijević Jovan, Gajić Dragoljub, Brković Aleksandar, Savić-Gajić Ivana, Georgieva Olga, Di Gennaro Stefano, (2016), Online Condition Monitoring of Bearings to Support Total Productive Maintenance in the Packaging Materials Industry, *Sensors* 2016, 16, 316. doi:10.3390/s16030316, 2016.

Graisa Mustafa, Al-Habaibeh Amin, (2011), "An investigation into current production challenges facing the Libyan cement industry and the need for innovative total productive maintenance (TPM) strategy", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 22 Issue: 4, pp.541-558

Gulledge Thomas, Hiroshige Scott, Iyer Raj, (2010), Condition-based Maintenance and the product improvement process, *Computers in Industry* 61 813–832

Han, Y., & Song, Y. H. (2003). Condition monitoring techniques for electrical equipment: A literature survey. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 18(1), 4–13.

Hirano Hiroyuki (2009): *JIT Implementation Manual – The Complete Guide to Just in Time Manufacturing*, CRC Press

Hobohm S., (2001), *Small and Medium-sized Enterprises in Economic Development: The UNIDO Experience*, Industrial Development Office, Austria, <http://www.sesric.org/files/article/157.pdf>

Hooi L.W, Leong T.Y, (2017), Total productive maintenance and manufacturing performance improvement, *Journal of Quality in Maintenance Engineering* Volume 23, Issue 1, 2017, Pages 2-21

Hungerland, F., Quitzau, J., Zuber, C., Ehrlich, L., Growitsch, C., Rische, M. C., & Haß, H. J. (2015). The digital economy (No. 21e). *Strategy 2030—Wealth and Life in the Next Generation*. Retrieved from <http://www.econstor.eu/handle/10419/121322>

International Standard ISO 13381-1:2004, (2004) Condition monitoring and diagnostics of machines –Prognostics, Part 1: General guidelines

Ireland F., Dale B.G., (2001) "A study of total productive maintenance implementation", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 7 Issue: 3, pp.183-192, doi: 10.1108/13552510110404495

Ireland F., Dale B.G., (2001) "A study of total productive maintenance implementation", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 7 Issue: 3, pp.183-192

Ivan Mačužić, Marko Đapan, (2016), "Lean koncept u upravljanju proizvodnjom", *Fakultet inženjerskih nauka Univerzitet u Kragujevcu, Kragujevac*

Jacaa Carmen, Vilesa Elisabeth, Paipa-Galeanob Luis, Santosa Javier, Mateoc Ricardo, (2014), Learning 5S principles from Japanese best practitioners: case studies of five manufacturing companies, *International Journal of Production Research*, 2014, Vol. 52, No. 15, 4574–4586, <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2013.878481>

Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical System and Signal Process*, 20, 1483–1510.

Jasiulewicz-Kaczmarek Małgorzata, (2016), SWOT analysis for Planned Maintenance strategy-a case study, Elsevier Ltd, In 8th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control MIM 2016, IFAC PapersOnLine 2016 49(12):674-679

Jin X., Weiss B. A., Siegel D., Lee J., (2016) Present Status and Future Growth of Advanced Maintenance Technology and Strategy in US Manufacturing, *International Journal of Prognostic Health Management*, 2016, Vol. 7 (Special Issue on Smart Manufacturing PHM)

Joint Project MoSeS Pro, (2016), Modular Sensor Systems for real time Process Control and Smart Condition Monitoring project, <http://www.moses-pro.de>

Kart Özge, Kut Alp., (2014), Real Time Total Productive Maintenance System. International Journal of Intelligent Computing Research (IJICR), Volume 5, Issue 4

Kolberg Dennis, Zühlke Detlef, (2015), Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies, IFAC-PapersOnLine, Volume 48, Issue 3, Pages 1870-1875, ISSN 2405-8963, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>

Konstantinos Sipsas, Kosmas Alexopoulos, Vangelis Xanthakis, George Chryssolouris, (2016), Collaborative Maintenance in flow-line Manufacturing Environments: An Industry 4.0 Approach, Procedia CIRP, Volume 55, Pages 236-241, ISSN 2212-8271, <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.09.013>

Koo I.S.; Kim W.W., (2000), The development of reactor coolant pump vibration monitoring and a diagnostic system in the nuclear power plant. ISA Trans. 2000, 39, 309–316.

Koochaki Javid, Bokhorst Jos A.C., Wortmann Hans, Klingenberg Warse, (2013), The influence of condition-based maintenance on workforce planning and maintenance scheduling, International Journal of Production Research, Vol. 51, No. 8, 2339–2351

Kotey, B. and Slade, P. (2005), "Formal Human Resource Management Practices in Small Growing Firms", Journal of Small Business Management, 43(1), pp. 16–40

Landherr Martin, Schneider Ulrich, Bauernhansl Thomas, (2016), The Application Center Industrie 4.0 - Industry-driven Manufacturing, Research and Development, Procedia CIRP, Volume 57, Pages 26-31, ISSN 2212-8271, <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.006>

Lazim Halim Mad, T. Ramayah, (2010) "Maintenance strategy in Malaysian manufacturing companies: a total productive maintenance (TPM) approach", Business Strategy Series, Vol. 11 Issue: 6, pp.387-396

Lazzerini B.; Volpi S., (2013), Classifier ensembles to improve the robustness to noise of bearing fault diagnosis. Pattern Anal. Appl. 2013, 16, 235–251.

Lee Ki-Hoon, Herold David M. and Yu Ae-Li, (2016), Small and Medium Enterprises and Corporate Social Responsibility Practice: A Swedish Perspective, Corporate Social Responsibility and Environmental Management, Corp. Soc. Responsib. Environ. Mgmt. 23, z 88–99 (2016), Published online 12 February 2015 in Wiley Online Library, (wileyonlinelibrary.com) DOI:10.1002/csr.1366

Lee, Abujamra, A.K.S. Jardine, D. Lin, D. Banjevic, (2004), An integrated platform for diagnostics, prognostics and maintenance optimization, in: The IMS '2004 International

Conference on Advances in Maintenance and in Modeling, Simulation and Intelligent Monitoring of Degradations, Arles, France,

Lei Y.; He Z.; Zi Y.; Hu Q., Fault diagnosis of rotating machinery based on a new hybrid clustering algorithm. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2008, 35, 968–977.

Li X.; Zheng A.; Zhang X.; Li C.; Zhang L., (2013), Rolling element bearing fault detection using support vector machine with improved ant colony optimization. *Measurement* 2013, 46, 2726–2734.

Liu Z.W.; Cao H.R.; Chen X.F., (2013), Multi-fault classification based on wavelet SVM with PSO algorithm to analyze vibration signals from rolling element bearings. *Neurocomputing* 2013, 99, 399–410.

Lou X.; Loparo K.A., (2008), Bearing fault diagnosis based on wavelet transform and fuzzy inference. *Mech. Syst. Signal Process.* 2004, 18, 1077–1095.

Mačuzić Ivan, Giagloglou Eva, Djapan Marko, Todorovic Petar, Jeremic Branislav, (2016), Occupational Safety and Health Education under the Lifelong learning framework in Serbia, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics: JOSE*, Vol.-, No.-, pp. -, ISSN 1080-3548, Doi 10.1080/10803548.2016.1153222,

Mačuzić Ivan, (2010), *Doktorska disertacija: Proaktivni pristup u strategiji održavanja hidrauličkih sistema*, Mašinski fakultet Kragujevac

Martin K.F., (1994) A review by discussion of condition monitoring and fault-diagnosis in machine-tools, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 34 527–551

Maté Alejandro, Trujillo Juan, Mylopoulos John, (2015), Specification and Derivation of Key Performance Indicators for Business Analytics: A Semantic Approach, In *Data & Knowledge Engineering* Nov 2015, Elsevier B.V., 0169-023X

McKone Kathleen E., Schroeder Roger G., Cua Kristy O., (1999), “Total productive maintenance: a contextual view”, *Journal of Operations Management*, Volume 17, Issue 2, Pages 123-144

Medjaher Kamal, Tobon-Mejia Diego, Noureddine Zerhouni, (2012), Remaining useful life estimation of critical components with application to bearings. *IEEE Transactions on Reliability*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 61 (2), pp.292-302.

Meng Jonathan Wee Jian, Noordin Mohd Yusof. (2012), "Survey results of total productive maintenance effects on manufacturing performance in malaysia electrical and electronics industry". *Jurnal Mekanikal*, No 35, 82-99.

Milo M.W.; Harris B.; Bjerke B.; Roan M. (2014), Anomaly detection in rolling element bearings via hierarchical transition matrices. *Mech. Syst. Signal Process.* 2014, 48, 120–137.

Moxa Inc., (2016), Case Study: Shop Floor Gets Connected With Cloud-Based Monitoring <http://pages.moxa.com/Smarter-Shop-Floor-With-Cloud-Based-Monitoring.html>

Moya, C. C. (2004). The control of the setting up of a predictive maintenance program using a system of indicators. *International Journal of Management Sciences*, 32, 57–75.

Murata Koichi, Katayama Hiroshi, (2009), An evaluation of factory performance utilized KPI/KAI with envelopment analyses, *Journal of the Operations Research Society of Japan* 2009, Vol. 52, No. 2, 204-220

Nakajima S., (1989), *TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance*, Portland: Productivity Press, 1989.

Nakajima Seiichi, (1986), TPM - challenge to the improvement of productivity by small group activities, *Maintenance management international*, Volume 6, Issue 2, March 1986,

Nakajima, S. (1988), *Introduction to TPM total productive maintenance*, Productivity Press, Cambridge.

Nakano Kinjiro and Japan Institute of Plant Maintenance (2003): *Comprehensive approach to Zero breakdown / Planned Maintenance – Keikaku Hosen*, Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM)

Narendiranath Babu, (2016), Productivity improvement on assembly line through reduction of down time using autonomous maintenance, *International Journal of Pharmacy and Technology*, Volume 8, Issue 2, June 2016, Pages 13592-13603

Neugebauer Reimund, Hippmann Sophie, Leis Miriam, Landherr Martin, (2016), *Industrie 4.0 - From the Perspective of Applied Research*, *Procedia CIRP*, Volume 57, Pages 2-7, <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.002>.

Nihar Kanta Patra, Jayanta Kumar Tripathy, Dr B. K. Choudhary, (2005) "Implementing the office total productive maintenance ("office TPM") program: a library case study", *Library Review*, Vol. 54 Issue: 7, pp.415-424, doi: 10.1108/00242530510611910

Park, K.S. and Han, S.W. (2001), "TPM—Total Productive Maintenance: Impact on competitiveness and a framework for successful implementation". *Hum. Factors Man.*, 11: 321–338.

Policy Brief, (2000), OECD Observer, June 2000

Posada C. Toro, I Barandiaran, D. Oyarzun, D. Stricker, R. de Amicis, I. Vallarino, (2015), Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet, *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 35, no. 2, pp. 26-40, Mar.-Apr. 2015. doi: 10.1109/MCG.2015.45

Prabhuswamy, Ravikumar, Nagesh, (2013), Implementation of Kaizen Techniques in TPM, *IUP Journal of Mechanical Engineering*; Aug 2013, Vol. 6 Issue 3, p38-54, 17p

Preporuka 2003/361/EC, usvojena 06. maja 2003. godine, *Official Journal L 124*, strana 36-41, 20. maj 2003

Prickett P.W., (1999) "An integrated approach to autonomous maintenance management", *Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 10 Issue: 4, pp.233-243, doi: 10.1108/09576069910280611

Roblek Vasja, Meško Maja, Krapež Alojz, (2016) A Complex View of Industry 4.0, *SAGE Open*, Vol.6 No. 2, 2016, <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>

Rodrigues Marcelo, Hatakeyama Kazuo, (2006), Analysis of the fall of TPM in companies, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 179, Issues 1–3, 20 October 2006, Pages 276–279

Rodrigues Marcelo, Hatakeyama Kazuo, (2006), Analysis of the fall of TPM in companies, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 179, Issue 1, Pages 276-279

Romanescu Marcel Laurențiu (2016), Importance of SMEs in European countries economy, conf. Univ. Dr. Of the "Constantin Brâncuși" University of Târgu-Jiu, *Annals of the „Constantin Brâncuși” University of Târgu Jiu, Economy Series*, Issue 3/2016

Roy, Stark, Tracht, Takata, Mori, (2016), Continuous maintenance and the future – Foundations and technological challenges, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 65 667–688

Russell P.C.; Cosgrave J.; Tomtsis D.; Vourdas A.; Stergioulas L.; Jones G.R., (1998), Extraction of information from acoustic vibration signals using Gabor transform type devices. *Meas. Sci. Technol.* 1998, 9, 1282–1290.

Sachit Vardhan Pardeep Gupta, (2014), Study on the Implementation of Kobetsu Kaizen (KK) Pillar of TPM in a Process Industry, *Applied Mechanics & Materials*; 2014, Issue 592-594, p2694-2698, 5p

Saidi L.; Ali J.B.; Fnaiech F. (2015), Application of higher order spectral features and support vector machines for bearing faults classification. *ISA Trans.* 2015, 54, 193–206.

Samanta B.; Al-Balushi K.R., (2003), Artificial neural network based fault diagnostics of rolling element bearings using time-domain features. *Mech. Syst. Signal Process.* 2003, 17, 317–328.

Samanta B.; Al-Balushi K.R.; Al-Araimi S.A., (2006), Artificial neural networks and genetic algorithm for bearing fault detection. *Soft Comput.* 2006, 10, 264–271.

Seher Arslankaya, Hatice Atay, (2015), Maintenance management and lean manufacturing practices in a firm which produces dairy products, 11th International Strategic Management Conference 2015, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 207 (2015) 214 – 224

Sejdić E.; Djurović I.; Jiang J., (2009), Time-frequency feature representation using energy concentration: An overview of recent advances, *Digital Signal Processing.* 19 (1): 153–183.

Seng, O.Y., Jantan, M., Ramayah, T., (2005), "Impementing total productive maintenance (TPM) in malaysian manufacturing organisations: an operational strategy study". *The ICFAI Journal of Operations Management*, 4(2), 53-62

Seow, C. and Liu, J. (2006), "Innovation in Maintenance Strategy through Six Sigma: Insights of a Malaysian SME", *International Conference on Management of Innovation and Technology*, 1-4244-0148-8/06/\$20.002006 IEEE

Shamsuddin Ahmed, Masjuki Hj. Hassan, Zahari Taha, (2004), "State of implementation of TPM in SMIs: a survey study in Malaysia", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 10 Issue: 2, pp.93-106

Sharma Anil, Yadava G.S., Deshmukh S.G., (2011) "A literature review and future perspectives on maintenance optimization", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 17 Issue: 1, pp.5-25

Shen C.C., (2015), Discussion on key successful factors of TPM in enterprises, *Journal of Applied Research and Technology*, Volume 13, Issue 3, Pages 425-427

Singh Rajesh K., Garg Suresh K., Deshmukh S.G., (2008), Strategy development by SMEs for competitiveness: a review. *Benchmarking: An International Journal* Vol. 15 No. 5, pp. 525-547

Slatter Rolf, Holland Lars, Prof. Abele Eberhard, (2016) Magneto-resistive sensors for the condition monitoring of high-frequency spindles, 7th HPC 2016 – CIRP Conference on High Performance Cutting, *Procedia CIRP* 46 (2016) 177 – 180, doi: 10.1016/j.procir.2016.03.161

Slavic J.; Brkovic A.; Boltezar M., (2011), Typical bearing-fault rating using force measurements: Application to real data. *J. Vib. Control* 2011, 17, 2164–2174.

Službeni glasnik Republike Srbije, Zakon o računovodstvu i reviziji, br. 46/06 i 11/09

Smith W.A.; Randall R.B. (2015), Rolling element bearing diagnostics using the Case Western Reserve University data: A benchmark study. *Mech. Syst. Signal Process.* 2015, 64–65, 100–131.

Söllner Dr. René, (2014), The economic importance of small and medium-sized enterprises in Germany, *Statistisches Bundesamt, Wiesbaden* 2014

Stepanic P.; Latinovic I.V.; Djurovic Z., (2009), A new approach to detection of defects in rolling element bearings based on statistical pattern recognition. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2009, 45, 91–100.

Sun Hongyi, Yam Richard, Wai-Keung Ng, (2003), The implementation and evaluation of Total Productive Maintenance (TPM)—an action case study in a Hong Kong manufacturing company, *Int J Adv Manuf Technol* 22: 224-228

Suzuki Tokutaro (1994): *TPM in process industries*, Productivity press New York

Swanson Laura, (2001), Linking maintenance strategies to performance. *Int. J. Production Economics* 70 237-244

Syed Imran Shafiq and Cesar Sanin and Carlos Toro and Edward Szczerbicki, (2015), Virtual Engineering Object (VEO): Toward Experience-Based Design and Manufacturing for Industry 4.0, *Cybernetics and Systems*, vol. 46, no. 1-2, pp. 35-50, doi=10.1080/01969722.2015.1007734

Syed Imran Shafiq and Cesar Sanin and Edward Szczerbicki and Carlos Toro, (2016), Virtual Engineering Factory: Creating Experience Base for Industry 4.0, Cybernetics and Systems, 47, 1-2, 32-47, doi=10.1080/01969722.2016.1128762

Šćepanović Bojan, (2016), Biblija Controllinga, Menadžment Centar Beograd (MCB)

Takahashi Yoshikazu, (1981), Maintenance-oriented management via total participation. Total productive maintenance, a new task for plant managers in Japan, Terotechnology, Volume 2, Issue 2, May 1981, Pages 79-88

Tambe P Pravin, Kulkarni S Makarand, (2016) "Selective maintenance optimization under schedule and quality constraints", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 33 Issue: 7, pp.1030-1059

Tandon N.; Choudhury A., (2007), A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings. Tribol. Int. 2007, 32, 469–480.

Tetra Pak Maintenance standard operating procedures, Tetra Pak, Gornji Milanovac, Serbia.

Thames Lane, Schaefer Dirk, (2016), Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0, Procedia CIRP, Volume 52, 2016, Pages 12-17, ISSN 2212-8271, <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.041>.

Thames Lane, Schaefer Dirk, (2016), Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0, Procedia CIRP, Volume 52, Pages 12-17, ISSN 2212-8271, <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.041>

Todorović Petar, (2016), Osnovi održavanja, Fakultet inženjerskih nauka Univerzitet u Kragujevcu, Kragujevac

Todorović Petar, Jeremić Branislav i Mačužić Ivan, (2010), Tehnička dijagnostika, Fakultet inženjerskih nauka Univerzitet u Kragujevcu, Kragujevac, 2010.

Velmurugan S, Dhingra Tarun, (2015) "Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function: A conceptual framework", International Journal of Operations & Productio Management, Vol. 35 Issue: 12, pp.1622-1661

Verbert K., De Schutter B., Babuška R., (2017), Timely condition-based maintenance planning for multi-component systems, Reliability Engineering and System Safety 159 310–321

Vos, J.P. (2005), Developing strategic self descriptions of SMEs, Technovation, Vol. 25 No. 9, pp. 989- 999.

Wong, Chan, Chung, (2013), A joint production scheduling approach considering multiple resources and preventive maintenance tasks, *International Journal of Production Research*, Vol. 51, No. 3, 883–896

Xia Tangbin, Xi Lifeng, Zhou Xiaojun, Lee Jay, (2013), Condition-based maintenance for intelligent monitored series system with independent machine failure modes, *International Journal of Production Research*, Vol. 51, No. 15, 4585–4596

Xu H.; Chen G., (2013), An intelligent fault identification method of rolling bearings based on LSSVM optimized by improved PSO. *Mech. Syst. Signal Process.* 2013, 35, 167–175.

Yamashita H., (1999), Challenge to world-class manufacturing, *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 17.

Yang Lu, (2017), Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues, *Journal of Industrial Information Integration*, Volume 6, Pages 1-10, ISSN 2452-414X, <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>.

Yu X.; Ding E.; Chen C.; Liu X.; Li L. (2015), A novel characteristic frequency bands extraction method for automatic bearing fault diagnosis based on Hilbert Huang transform. *Sensors* 2015, 15, 27869–27893.

Zhang X.; Qiu D.; Chen F., (2015), Support vector machine with parameter optimization by a novel hybrid method and its application to fault diagnosis. *Neurocomputing* 2015, 149, 641–651.

Zhang X.Y.; Liang Y.T.; Zhou J.Z.; Yi Z. (2015), A novel bearing fault diagnosis model integrated permutation entropy, ensemble empirical mode decomposition and optimized SVM. *Measurement* 2015, 69, 164–179.)

Zheng J.; Cheng J.; Yang Y., (2013), A rolling bearing fault diagnosis approach based on LCD and fuzzy entropy. *Mech. Mach. Theory* 2013, 70, 441–453.

Прилог: Упитник коришћен у истраживању

Назив предузећа: _____
 Контакт особа: _____
 Функција: _____
 Контакт телефон: _____
 Електронска пошта: _____

1. Број запослених у предузећу:

- Мање од 10
 Између 10 и 50
 Између 50 и 250
 Више од 250

2. Година када је предузеће основано

3. Годишњи приход компаније

4. Којој грани индустрије припада предузеће

- Металопрађивачка
 Текстилна
 Графичка
 Грађевинска
 Хемијска
 Прехрамбена
 Дрвопрађивачка

5. Служба одржавања у предузећу је организована као

- Независна служба
 У оквиру производње
 Поверена је трећим лицима
 Комбинација трећих лица и запослених у предузећу

Група питања везана за усвојени концепт одржавања у предузећу

6. Која је стратегија одржавања у предузећу?

- Корективно одржавање
 Превентивно одржавање
 Одржавање према стању

7. Да ли ви верујете да је стратегија одржавања адекватна?

- Да
 Не

8. Да ли сматрате да је стратегију одржавања потребно унапредити?

- Да
 Не

9. Да ли сте упознати са неком од метода континуалног унапређења?

- Да - Навести са којом
 Не

10. Техничка документација опреме је доступна?

- Да
 Не

11. Опрема има упутства за употребу?

- Да
 Не

12. Опрема има упутства за одржавање?

- Да
 Не

13. Програм обуке радника за руковање опремом постоји?

- Да
 Не

14. Програм обуке одржавалаца опреме постоји?

- Да
 Не

15. Опрема је сертификована у складу са правилима БЗР?

- Да
 Не

16. Опрема се одржава:

- Када је дошло до појаве отказа
- Према не писаном искуству
- Према препоруци произвођача
- На основу интерно дефинисаних планова одржавања
- Према информацијама прикупљеним од стране уређаја за дијагностику

Група питања која се односи на праћење индикатора успешности пословања који су везани за одржавање опреме.

17. Да ли предузеће има планирани буџет за одржавање?

- Да
- Не

18. Да ли се у предузећу прате трошкови одржавања?

- Да
- Не

19. Да ли се прати број отказа?

- Да
- Не

20. Да ли се прати време трајања отказа?

- Да
- Не

21. Да ли имате резервне делове на стању у вашем предузећу?

- Да, у складу са преорукама произвођача
- Да, само основне
- Не

22. Да ли предузеће поседује софтвер за праћење и управљање производњом?

- Да
- Не

23. Да ли предузеће поседује софтвер за управљање активностима одржавања?

- Да
- Не

Група питања која се односи на разумевање улоге одржавања у унапређењу пословања предузећа.

24. Да ли сматрате да је одржавање важно за успех вашег предузећа?

- Да
- Не

25. Да ли сматрате да је могуће унапредити одржавање опреме у вашем предузећу?

- Да
- Не

26. Да ли сматрате да улагањем у унапређење одржавања можете унапредити резултате предузећа?

- Да
- Не

27. Да ли сматрате да радници у производњи могу преузети део одговорности за одржавање опреме?

- Да
- Не

28. Да ли сматрате да је потребно унапредити програм обуке производних радника у вашем предузећу?

- Да
- Не

29. Да ли сматрате да је потребно унапредити систем БЗР у вашем предузећу?

- Да
- Не

30. Да ли сматрате да је могуће унапредити пословање предузећа применом савремених метода праћења стања опреме?

- Да
- Не