

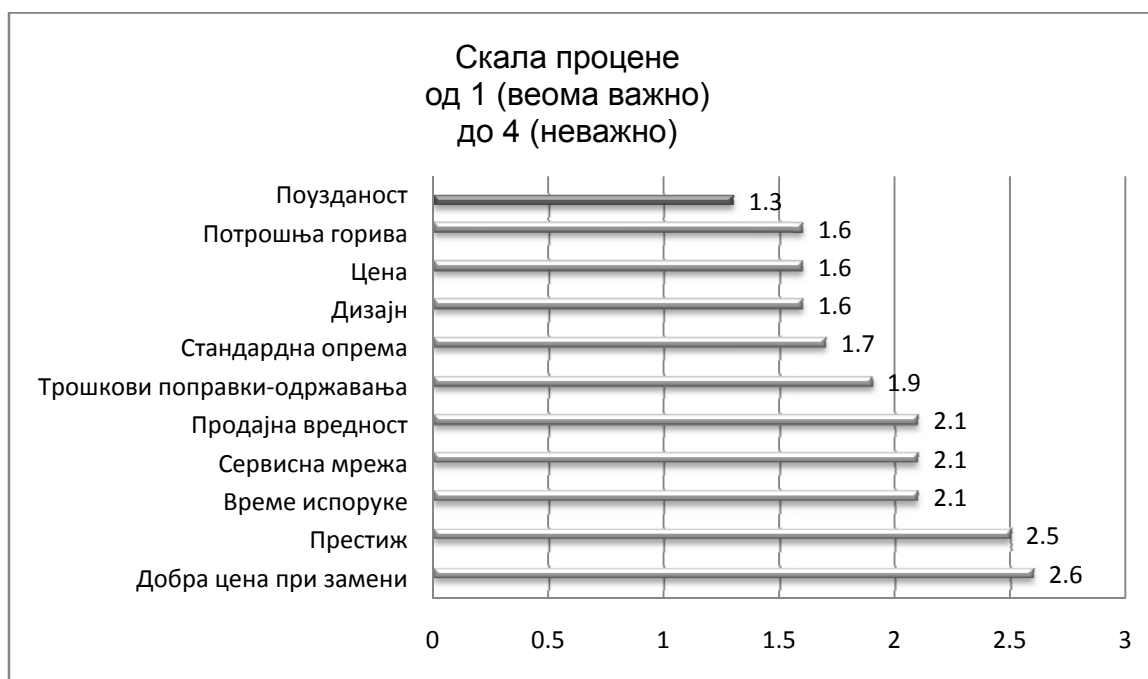
САДРЖАЈ

1. УВОД	2
2. АНАЛИЗА НАЧИНА И ПОСЛЕДИЦА ОТКАЗА	8
2.1 Основне поставке	8
2.2 Врсте FMEA методе и њихове карактеристике	10
2.3 Тимски рад у оквиру FMEA анализе	16
2.4 Позитивне стране FMEA методе	21
2.5 Негативне стране FMEA методе	21
3. СИСТЕМСКА (КОНЦЕПТНА) FMEA	22
3.1 Системска FMEA анализа корак по корак	23
3.2 Препоручен састав FMEA тима за системску FMEA	38
4. ПРИМЕР ПРИМЕНЕ FMEA МЕТОДЕ	40
4.1 Принцип функционисања линија за попречну обраду трафо лима	40
4.2 FMEA анализа линије за попречну обраду трафо лима	41
5. ЗАКЉУЧАК	58
6. ЛИТЕРАТУРА	59

1. УВОД

Данас, појам поузданости је део нашег свакодневног језика, нарочито када се говори о функционалности производа [1]. Веома поуздан производ је производ који испуњава своју функцију у сваком тренутку и под свим околностима. Користећи дефиницију вероватноће, лако се може доћи до техничке дефиниције поузданости: поузданост машинског система се дефинише као вероватноћа, на одређеном нивоу поверења, да ће систем исправно радити, тј. да ће сви параметри функционисања система бити у допуштеним границама, у одређеном временском периоду и под задатим режимима рада и условима околине [2]. Термин вероватноће узима у обзир, да разни неуспели догађаји могу бити изазвани случајно и да вероватноћа може бити описана само квантитативно. Дакле, поузданост укључује неуспех производа и због тога је поузданост веома важан критеријум за оцену производа, тако да процена поузданости производа превазилази чисту процену функционалних карактеристика производа.

Према већини истраживања, показало се да је за купца најзначајнија карактеристика производа управо поузданост (слика 1.1) [1]. Само цена производа понекад игра важнију улогу. Како год, поузданост увек остаје на првом или другом месту.

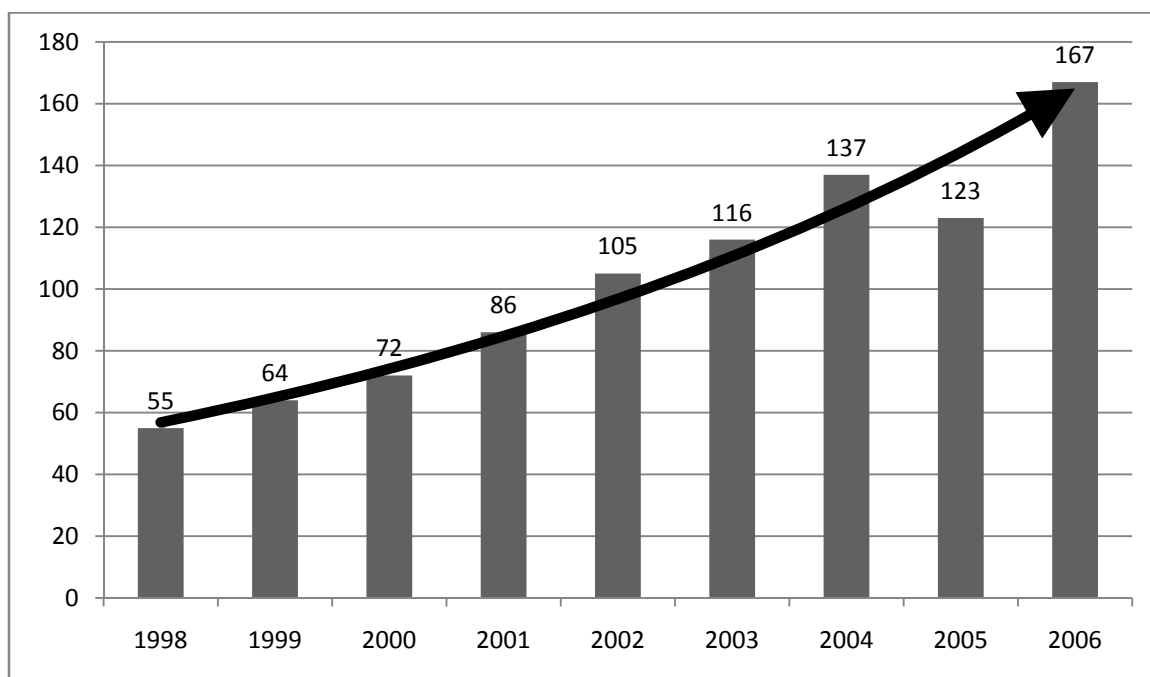


Слика 1.1 Критеријуми при куповини аутомобила

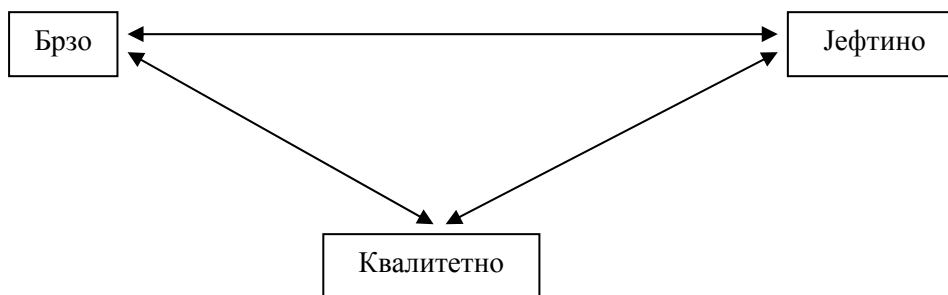
Истраживања показују да купци желе поуздане производе. Како развојем производа, ову карактеристику приписати производу? Разумљиво, компаније заштићују себе изјавама које се тичу поузданости њихових производа, нико не жели да буде суочен са недостатком поузданости у свом производу. Често се ове врсте исказа налазе под строгим тајношћу. Интересантна статистика се може наћи у немачком савезном заводу за моторна возила и возаче (Kraftfahrt-Bundesamt) у вези са бројем опозваних возила услед критичних дефеката који су угрожавали сигурност: у последњих десет година број опозваних возила се утростручио (55 у 1998. год. до 167 у 2006. год.) (слика 1.2). Трошкови, у вези са овим, су порасли до фактора 8! Такође, добро је познато да гаранција и трошкови гаранције могу бити у висини профита компаније (у неким случајевима чак и виши) и ово чини осам до дванаест

процената њиховог промета. Важан троугао развоја производа, који зависи од трошкова, времена и квалитета, на тај начин није више у равнотежи (слика 1.3). Треба нагласити да је смисао овог троугла у томе да је немогуће имати сва три фактора истовремено. Предузеће мора да одлучи коју врсту производа жели.

Смањење трошкова производа, развојног процеса и скраћени развојни пут, иду руку под руку са смањењем поузданости.



Слика 1.2 Развој опозивања у аутомобилској индустрији



Слика 1.3 Троугао развоја производа

Данашњи развој савремених производа се суочава са растућим функционалним захтевима, вишом сложености, интеграцијом хардвера, софтвера, сензорске технологије и са смањењем трошкова производа и његовог развоја. Ови фактори, заједно са другим утицајним факторима на поузданост приказани су на слици 1.4.

Машински систем представља материјализовани производ људског рада, који има могућност извршавања одређене функције [2]. Процес развоја машинског система (производа) почиње идејом или захтевом за новим производом, а завршава се израдом и испитивањем. Једна од основних фаза развоја производа је пројектовање, под којим се подразумева трансформација идеје за реализацију производа у пројекат који је основа за производњу. Функција пројектовања, на основу сажете информације о производу, која у ствари представља скуп прелиминарних спецификација, захтеве корисника преводи у техничке спецификације.



Слика 1.4 Фактори који утичу на поузданост

Значај пројектовања производа може да се илуструје „полугом квалитета“. За постизање вишег нивоа квалитета неког производа и смањење трошкова, најзначајније дејство на полузи квалитета је у подручју пројектовања производа са односом 100:1, па затим у подручју пројектовања технологије са односом 10:1, и на крају, у самој производњи са односом 1:1.

Пошто заузима кључно место на полузи квалитета, функција пројектовања производа треба да има посебно место у политици квалитета сваке организације. Одлуке које се доносе у фази пројектовања и развоја производа, од пресудног су значаја за успешно пословање организације и обезбеђење њене будућности.

Што се раније анализа поузданости примени, то је добит већа [1]. Добро познато „правило десетице“ сасвим јасно то показује (слика 1.5). На дијаграму је дата зависност трошкова отклањања грешке од фазе животног циклуса производа. Грешке уочене у фази пројектовања производа изазивају одређене трошкове за њихово отклањање. Међутим, уколико се те грешке открију у каснијим фазама животног века производа, трошкови за њихово отклањање и санирање могућих последица се удесетостручавају. Тако на пример, за отклањање истих грешака при пројектовању технологије трошкови су десет пута већи, а ако се грешке открију у производњи, трошкови су сто пута већи него при пројектовању. Најгора варијанта је уколико се грешке открију тек код корисника, односно купаца производа, када су трошкови у односу на почетни износ хиљаду пута већи. При томе, трошкови организације за отклањање потенцијалних грешака код корисника производа, поред трошкова за бесплатно сервисирање у гарантном року и за евентуалну замену производа, укључују и губитке који се односе на стварање неповерења код корисника због лошег квалитета производа. Наиме, резултати спроведених истраживања су показали да ће 90% корисника, незадовољних квалитетом производа, од тада избегавати производе дотичне организације. Поред тога, сваки од њих пренеће своје негативно искуство на већи број других особа. Сматра се да свака крупнија грешка на производима откривена код корисника, утиче на смањење продаје за 3 до 4%. За разлику од претходно изнетог, препорука задовољног корисника је најбоља, а уједно и бесплатна реклама.



Слика 1.5 Зависност трошкова отклањања грешке од фазе животног циклуса производа

Највећи број недостатака у фази развоја производа настаје услед појаве неодређености у току пројектовања производа.

У почетним фазама развоја производа, потребе корисника због непознавања или неразумевања не узимају се у потпуности у обзир, а захтеви и технички услови су обично некомплетни. Ова неодређеност се постепено превазилази како се пројекат развија кроз фазе од конципирања до финализације. Међутим, могућност промене пројекта са циљем његовог побољшања је све мања.

У случају поузданости машинских система, неодређеност се јавља и услед чињенице да, пошто су откази релативно ретки догађаји, сакупљање довољно података на којима се заснива статистичка вероватноћа отказа је скуп и дуготрајан подухват. Осим тога, у раним фазама развоја производа објекат анализе не постоји и одговарајући квантитативни показатељи поузданости морају се проценити на основу техничког расуђивања или на основу постојећих података и резултата испитивања „сличних“ производа, што само додатно увећава неодређеност.

Као последица неодређености, јављају се недостаци и грешке у свим фазама животног века производа, које утичу на његов квалитет. На основу истраживања спроведених у свету, утврђено је да се највећи број проблема везаних за квалитет производа јавља због грешака направљених још у фазама планирања и развоја, а да се само мањи део проблема јавља због пропуста у каснијим фазама животног века производа.

Штетан утицај грешака на квалитет производа и на повећање трошкова производње са једне, и нарастајућа очекивања корисника у погледу квалитета и цене производа са друге стране, указују на потребу да се процесу развоја производа посвети посебна пажња са становишта његове структуре, менаџмента процеса као и опремања одговарајућим алатима и методологијама, које ће омогућити стално подизање квалитета излазних резултата у односу на захтеве тржишта, као и смањење трајања ових активности.

С обзиром да је поузданост једна од основних компоненти квалитета машинског система, предузимање мера у циљу повећања поузданости има велики значај.

Поузданост је незаобилазни фактор у свим фазама животног циклуса машинског система. Са инжењерског становишта, поузданост машинског система може да се предвиди, мери и контролише. Усвојени ниво поузданости се у фази пројектовања дефинише и уграђује

у производ, у фази производње остварује, а током експлоатације производа потврђује и одржава.

Повећање нивоа поузданости захтева систематску примену већег броја метода и техника у току читавог животног века једног производа. То подразумева обученост људи различитих профила потребним знањима, тимски рад стручњака из већине функција предузећа и одговарајућа материјална улагања. Ефекти вишег нивоа поузданости у економском смислу вишеструко превазилазе вредност уложених ресурса.

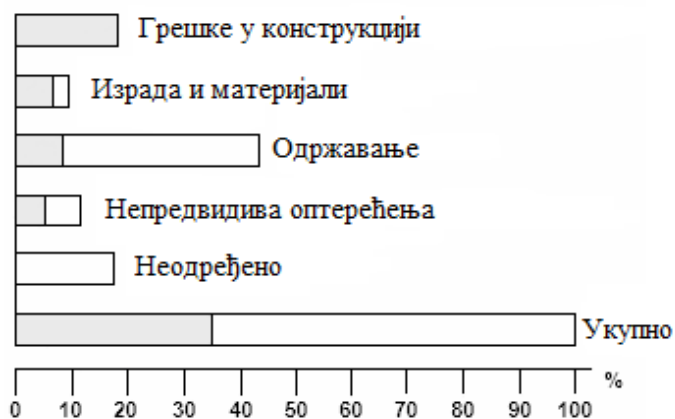
У досадашњој пракси, ако се конструктор бавио поузданошћу производа радио је то на крају конструкцијске разраде [3]. Најчешће се провера поузданости изводи израдом прототипа и његовим тестирањем у реалним условима. Код оваквог приступа постоје два проблема.

Први проблем су трошкови израде прототипа. Ако се нико није бавио поузданошћу пре почетка израде прототипа, може се очекивати откривање великог броја компоненти које треба променити. То значи да ће бити потребан велики број прототипова, јер ће при сваком откривању грешке прототип бити оштећен или уништен.

Други проблем се јавља кад се открије грешка. Очигледно, биће потребна нека промена на компоненти која је отказала. Поставља се питање, може ли да се сада та промењена компонента угради у постојећи систем. У општем случају не може, а тиме започиње ланчани ефект мењања значајног дела система. По завршетку преобликовања мораће опет да се израде прототипови који се морају испитати итд.

Ако се трошкови преобликовања и новог испитивања прототипова упореде с трошковима производње, транспорта, маркетинга и свих осталих ставки потребних да би се производ довео на тржиште, ситуација не изгледа тако лоше. Међутим, стварни трошкови покривају и подручје изгубљеног профита због кашњења с изласком на тржиште. Готово је немогуће одредити износ изгубљеног профита, али постоји општа сагласност како редовни профит чини велики део у губицима.

Пред конструктора се стога поставља задатак предвиђања грешака, од проблема производње компонента и грешака током производње, преко отказивања током експлоатације до отежане рециклаже. Доношењем лоших и неодговарајућих конструкторских одлука, конструктор је одговоран за око 35% укупних отказа (слика 1.6) [3].



Слика 1.6 Одговорност пројектанта за механичке отказе (утицај пројектанта је осенчен)

Под претпоставком да је конструктор свестан свих грешака које се могу појавити у систему, правилним решењима у конструкцији производа грешке се могу избећи.

Конструктори са великим искуством знају шта на одређеном типу производа најчешће отказује па тим компонентама могу посветити посебну пажњу током конструисања и тиме избећи грешке до којих ће доћи током животног циклуса производа.

Питање је како неискусни конструктор може избећи грешке у систему? Како избећи грешке у сложеном систему на чијем конструисању ради и по неколико десетина људи или неколико специјализованих предузећа? Потребан је одређени систематски начин сагледавања

система који ће потом омогућити систематски начин решавања проблема пре него што се они појаве.

Разматрање отказа елемената машинских система и систематско евидентирање података о њима, представља извор врло важних информација за низ стручњака, а посебно за инжењере који раде у развоју нових производа. Анализа потенцијалних начина отказа елемената машинских и уопште техничких система у фази развоја спада у ред сложених и веома деликатних инжењерских задатака. Сложеност проблема огледа се у чињеници да треба предвидети не само могуће начине отказа система и његових делова, већ и међусобну условљеност отказа, узроке отказа, као и последице сваког појединачног начина отказа елемената на систем, особље и на околину. Често је потребно одредити мере за откривање и отклањање узрока отказа. За решавање проблема неопходан је тимски рад стручњака из различитих области, као и снажне базе података. Изразит значај овај задатак има код оних техничких система који непосредно или посредно угрожавају живот људи, као што је то случај у нуклеарној техници, ваздухопловству, ракетној и војној техници, моторним возилима итд.

У циљу анализе поузданости неког система користе се две врсте процедура [4]. Прву групу чине индуктивне процедуре које анализу система врше одоздо на горе а другу дедуктивне процедуре код којих се анализа врши одозго на доле. Код индуктивних процедура одређивање грешака се врши на основним компонентама, а код дедуктивних у вишим слојевима система.

Индуктивне методе за анализу поузданости система се деле на оне који се баве техничким грешкама и грешкама насталим услед људског деловања. За анализу отказа елемената техничких система развијен је већи број метода, од којих се најчешће користи Анализа начина и последица отказа (Failure Modes and Effects Analysis – FMEA), која се бави отказима насталим услед неодговарајућих техничких услова.

За анализу поузданости се могу користити квалитативне и квантитативне методе [1]. Квантитативне методе користе правила и процедуре статистике и теорије вероватноће, што значи да се овакав приступ темељи на коришћењу егзактних нумеричких вредности [4]. За разлику од квантитативног приступа, квалитативни приступ анализе поузданости не користи апсолутне вредности параметара него квалитативно оцењује утицај на поузданост. Код квалитативних метода велику важност има искуство, стручност и надарење способност особа које предводе процену поузданости. Најпознатија квалитативна метода поузданости је FMEA.

2. АНАЛИЗА НАЧИНА И ПОСЛЕДИЦА ОТКАЗА

2.1 Основне поставке

Анализа начина и последица отказа (FMEA) је инжењерска метода која се користи за дефинисање, идентификацију и елиминирају постојећих и/или потенцијалних отказа, проблема и грешака, почевши од система, пројектовања, процеса и/или сервиса пре него што производ буде отпремљен купцу [5].

У својој поставци метода FMEA је једноставна и лако разумљива. Међутим, због великог броја информација потребних за доношење ефективних закључака, реализација овог поступка није ни мало лака. За утврђивање потенцијалних узрока, начина и последица отказа и могућности откривања узрока отказа, неопходно је поседовање великог броја информација, како о сопственим производима и процесима, тако и о производима конкурената на тржишту. Резултати FMEA поступка, између осталог, сразмерни су квантитету и квалитету прикупљених информација, како о сопственим производима и процесима, тако и о производима конкурената на тржишту. Извори информација за FMEA су:

- резултати QFD (Quality Function Deployment) студија;
- законски и други обавезујући прописи који се односе на предмет FMEA поступка;
- конструкциона и технолошка документација (цртежи, стандарди, норме производње и др.);
- информације о извршеним развојним испитивањима и резултати тих испитивања;
- извештаји о идентификованим и решеним проблемима у току развоја производа;
- подаци о изменама у пројекту производа или процеса;
- информације о квантитету и квалитету превентивних мера предвиђених у фази развоја са циљем спречавања појаве отказа или минимизирања његових последица;
- информације о предвиђеним методама контролисања и испитивања производа и процеса у фази развоја;
- постојећи подаци о уоченим и решеним проблемима, нпр. приликом израде компоненти, монтаже или контроле сличних производа;
- постојећи резултати поступка FMEA сличних производа и процеса, и други релевантни записи о квалитету производа;
- резултати контролисања и испитивања истих или сличних производа и процеса у претходном периоду;
- информације о понашању сопствених производа и процеса сличне врсте у експлоатацији;
- информације о понашању сличних производа и процеса других произвођача;
- информације којима располажу продајне и сервисне службе сличних производа за гарантни и постгарантни период итд.

Иако се често сматра за анализу безбедности, главна предност FMEA анализе је да инжењери који пројектују системе могу више да науче о систему спроводећи анализу [6]. У складу са тим, FMEA метода треба да се изводи паралелно са процесом пројектовања конструкције и/или процеса, од преиспитивања идејног решења до преиспитивања крајњих решења, више пута како се пројекат развија (итеративни процес), и увек треба да се заврши у оквиру конструкторске групе. Много од ове предности се губи ако се FMEA изведе као једнократни задатак када је пројекат скоро готов или ако се „уступи“ консултантима или неупућеним групама унутар предузећа. На основу овога може да се закључи да је циљ FMEA да пројектантима омогући:

- правовремено откривање и локализовање потенцијалних грешака на производу (услуги);

- избегавање или ублажавање ризика у пројекту;
- повећање поузданости перформанси производа;
- смањење трошкова гаранције;
- смањење процеса развоја (краћи временски период за развој производа);
- незнатна осетљивост на појаву грешака (постојаност) на почетку серијске производње;
- прецизније дефинисање крајњег рока испоруке;
- економичнија производња;
- побољшано сервисирање/услуге;
- побољшано интерно комуницирање;
- спречавање губитка имиџа на тржишту, итд.

Сви ови циљеви по дефиницији спадају у SMART циљеве, SMART је скраћеница од 5 енглеских речи, па подразумева циљеве који су [7]:

S - Specific - јасно и једнозначно дефинисани,

M- Measurable – мерљиви,

A - Achievable - циљеви које је могуће реализовати (достижни, оствариви),

R - Related to the customer - оријентисани на купца,

T - Time target - циљеви са задатим временом реализације.

Наведени циљеви спадају у SMART циљеве из неколико ралога:

- јасан и једнозначно дефинисан циљ примене FMEA методе кључ је њеног успеха;
- мерљивост циља огледа се у унапред дефинисаном индексу приоритета ризика који се жели постићи;
- основни циљ FMEA - смањење могућности настанка грешке постигнут је у тренутку када су идентификовани сви могући ризици и дефинисане акције за смањење тих ризика;
- FMEA метода по својој природи је метода оријентисана на купца - корисника производа или услуге, будући да квалитетнији производ повећава задовољство корисника (просечан, разуман купац ће између два производа истих употребних својстава и исте цене увек изабрати онај код ког уочава већи ниво квалитета;
- примена FMEA методе временски је ограничена и спроводи се у задатим терминима.

Крајњи резултат FMEA поступка требала би да буде листа дефинисаних корективних и превентивних мера [5]. Уз то FMEA може чак да смањи или уклони шансу да дође до примене корективних измена које могу да изазову још већи проблем, јер спровођење корективних мера без сагледавања последица таквих мера може знатно да успори процес, тако да један од постављених циљева мора да буде и пажљиво проучавање крајњих последица и евентуално планирање додатних мера. Мере се уносе у документацију, одређује им се приоритет и доносе се одлуке у погледу тога којим ће се мерама доделити намењена средства.

Најважнији разлог за примену FMEA је потреба за сталним побољшањем. Да би се постигле све или само неке предности FMEA програма, потреба за побољшањем мора бити укорењена у начину рада организације. Ако то није случај, FMEA програм неће успети. Зато, успешна FMEA анализа је услов и за предузеће и за добављача у циљу постизања квалитета признатог у свету. Са применом FMEA анализе потребно је почети што је пре могуће, без обзира што у датом тренутку сви подаци или информације нису у потпуности познати. Стога је и мото FMEA методе: „чини најбоље што можеш, с оним што сада имаш“.

Део трошкова који отпада на трошкове развоја производа је релативно мали у односу на остале трошкове (материјала, алата и др.). Трошкови пројектовања, у ствари чине око 5% цене производа, а са друге стране, у самом почетку процеса пројектовања одређује се отприлике 70% укупних трошкова у животном веку производа. Према томе, овај део процеса је критичан уколико је циљ производња новог производа у што краћем времену по што конкурентнијој цени. У фази развоја производа FMEA поступак може да се користи за преиспитивање пројектних решења и то када се:

- пројектују нове компоненте (конструкцијски елементи и делови) или системи;
- пројектују нове технологије и

- постојеће компоненте и/или системи употребљавају за нове производе.

Чињеница је да примена анализе начина и последица отказа повећава трошкове начињене како би се повећао ниво квалитета производа. FMEA на ове трошкове утиче пре свега повећавајући њихову превентивну компоненту. Иницијални трошкови који се појављују након одлуке о примени методе односе се на планирана испитивања и узорковања материјала, тестирања и евентуалне додатне анализе које не може да изврши FMEA тим. Скривени трошкови који се овде појављују односе се на трошкове радног времена утрошеног на FMEA, зато што радници обављају послове као чланови FMEA тима, а не своје редовне послове. Уколико се жели остварење одређених уштеда користећи резултате методе, потребно је жртвовати део дневне ефикасности у набавци, продаји, производњи или неком другом делу посла које чланови тима редовно обављају.

2.2 Врсте FMEA методе и њихове карактеристике

FMEA је важна техника за осигуравање програма поузданости, која може да се примени на великом броју проблема и да се уброји у методе са варирајућим нивоима анализе и модификацијама, да би се задовољила сврха [2]. Разноврсност практичних проблема довела је до развоја већег броја различитих концепција поступка FMEA. За све њих заједничко је да имају своје место у програму обезбеђења поузданости у развојним и производним фазама техничких система. Систематизација различитих врста FMEA методе, приказана у табели 2.1, извршена је на основу доступне литературе везане за ову методу.

Табела 2.1 Врсте FMEA методе

Ред. број	Подела FMEA у односу на:	Врсте FMEA
1.	Квалитативни облик	- Табеларни облик FMEA - Матрични облик FMEA
2.	Оријентацију анализе	- Хардверски приступ - Функционални приступ - Комбиновани приступ
3.	Основни ниво методе	- FMEA - FMEA + CA = FMESA
4.	Математички апарат који се користи	- FMEA заснована на детерминистичком приступу - FMEA заснована на Бајесовом приступу - FMEA заснована на фази (fuzzy) логици
5.	Фазу животног века производа	- FMEA у фази развоја (конструкције, процеса) - FMEA на основу података из експлоатације
6.	Предмет анализе	- Системска FMEA - Пројектна FMEA - Процесна FMEA
7.	Постојеће стандарде	MIL-STD-1629 A, IEC 812, BS 5760 Part 5, DIN 25448, QS 9000, VDA 4, FORD EU 1626 и 1636, SAE J1739, FIAT 00270 и 00271

Све методе дате у табели 2.1 у пракси се третирају као варијанте FMEA методе. Могу да се користе самостално или у комбинацији две или више. За већину од њих заједничка је анализа могућности појаве отказа, значајности последица отказа, тј. тежине дејства отказа на корисника и/или околину, и могућности дијагностике отказа.

Табеларни облик је била прва техника која се користила за FMEA [8]. Због своје дуготрајне и раширене употребе, табеларни облик анализе начина и последица отказа се често директно доводи у везу са FMEA. Она је била први покушај да се развије техника која пружа једнообразност у поступцима који се користе у анализи и врсти података садржаних у анализи.

Табеларни облик радних листова, који су добили свој облик педесетих година 20. века, још увек је у широкој употреби за извођење FMEA.

Код табеларног облика FMEA, резултати спроведене анализе уносе се у обрасце. У рубрике ових образаца уписују се најзначајнији елементи анализе, према специфичним потребама корисника резултата поступка FMEA. Најчешће су то начини и узроци отказа, крајње последице отказа, категорије тежина последица, методе детекције узрока отказа, мере компензације итд.

Табеларни облик је веома прилагодљив и користан алат за анализу пројекта [8]. Табеларна FMEA може да се користи за било који систем и у било којој фази пројектовања. Уређени облик радног листа приказује анализу на логичан и разумљив начин. Табеларна FMEA обезбеђује детаљну анализу сваког појединачног отказа на изабраном степену сложености система. Природа детаљних података укључених у анализу може да се прилагоди како би одговарала одређеном систему кроз дефинисање садржаја радног листа.

Међутим, табеларни облик FMEA има неколико мана. Табеларна FMEA може бити веома скупа за извођење, ствара велику количину папирологије и често захтева пуно времена и труда да се заврши. Осим тога, многи стандарди који се баве табеларном FMEA имају недостатке и не пружају велики број упутстава у избору хијерархије структурних целина и других основних правила који се тичу анализе сложених система. Ни једна рубрика за анализу начина отказа не дозвољава узимање у обзир међусобних утицаја између човека/руковаоца за машином и других система и радних окружења. Заморно попуњавање бројних образаца може да доведе до грешке и непрецизности у анализи. Вишеструки крајњи облици начина отказа могу да се пропусте. Најчешће, много труда и времена се утроши на анализу начина отказа који имају безначајне последице на радне карактеристике и безбедност система.

Аутоматизација табеларне FMEA може да помогне у превазилажењу неких неодговарајућих особина ове технике. Она може да помогне у покривању трошкова, смањењу потребе за папирологијом, уштеди времена и отклања замор услед попуњавања радних листова. Аутоматизација би и даље захтевала одређивање хијерархије структурних целина за пројектовање помоћу рачунара или моделирање система. Мишљење инжењера и даље би било потребно за процену неубичајених начина отказа и других посебних проблема.

Осим класичне описне методе која користи обрасце, за анализу начина и последица отказа може да се користи и матрична форма [2]. Она представља надградњу описне методе и омогућава сликовито графичко приказивање релација између компоненти система, њихових могућих начина отказа и крајњих последица отказа. За разлику од класичне методе, матрична метода омогућава анализу утицаја начина отказа саставних елемената на улазе и излазе система.

Матрични облик FMEA, формиран за цео систем, омогућава непосредно долажење до саставних делова система најнижег нивоа, чији откази доводе до одређених нежељених последица.

Матрична FMEA може да резултира смањењем укупног рада утрошеног на анализу на основу смањене потребе за записивањем [9]. Иако матрични облик представља допуну описне методе он може да представи све податке потребне за табеларни облик уз нека мања прилагођавања. Ако је потребно табеларно приказивање, запослени са донекле мањим степеном вештине него првобитни аналитичари могу бити одређени да извуку тражене податке. Такође смањење укупног рада би требало да уследи и захваљујући олакшаној могућности праћења самог приступа. Конфликти, који су обично последица упошљавања више аналитичара, умањени су строгим условима формата матричне анализе.

Основни облик матричне FMEA представља значајно побољшање у односу на табеларни облик приказивања у смислу јасноће и могућности праћења података. Побољшани облик омогућава брзо тумачење резултата FMEA анализе од стране пројектних инжењера и руководства. Ово допушта да се изврше измене на опреми засноване на анализи уз најмање проблема. Матрични облик такође допушта инжењерима који се баве одржавањем и писањем техничких приручника још брже и тачније извлачење података анализе. Матрични облик FMEA анализе тежи да побољша свеукупну тачност због строге структуре која је примењена.

Главни недостатак матричне FMEA је у њеној немогућности да садржи коментаре. Овај недостатак долази до изражаја приликом бављења критичним отказима. Добро конструисана

опрема обично има неки метод којим се обезбеђује умањење критичности отказа. Ово може да укључи ствари као што су алтернативни начини рада или управљања или пак препознавање отказа од стране руковођа машине у највећем броју случајева. Веома је важно да мере потребне како би се умањили критични откази буду садржане у подацима анализе. Тиме се помаже у осигуравању припреме одговарајућих података како за техничке приручнике тако и за приручнике за обуку који се тичу критичних отказа.

Као и табеларна FMEA, матрична FMEA је ограничена на разматрање последица појединачних начина отказа без разматрања спољних утицаја. Матрична FMEA може исто као и табеларни облик да буде веома скупа и да одузима доста времена.

У зависности од оријентације анализе начина, последица и критичности отказа, разликује се хардверски, функционални и комбиновани приступ.

Хардверски приступ (одоздо – на горе) се обично користи када је могуће одредити све елементе опреме појединачно са шема, техничких цртежа и из других техничких и пројектних података [10]. Хардверски приступ се по правилу усредсређује на могуће начине отказа главних компоненти система. Принцип анализе је такав да се полази од начина на који компоненте могу отказати, а затим се анализира начин на који отказивање компоненти утиче на рад читавог система [3]. Ово је у основи најнижи ниво рашчлањивања који обезбеђује вредне податке доносиоцима одлука [10]. Хардверски приступ за дефинисање FMEA анализе је добар избор када свака компонента система мора бити испитана (на пример, доношење одлуке у вези пројектовања или одржавања). Овај приступ може бити тежак или неефикасан за анализу 1) сложених система или 2) система који нису у потпуности дефинисани.

Функционални приступ (одозго – на доле) се обично користи у врло раној фази развоја система када још не постоји концепт ни техничка разрада, па елементи опреме не могу бити појединачно одређени или када сложеност система захтева поступну анализу, где се сваки следећи ниво анализе детаљније усредсређује само на најзначајније чиниоце [3, 10]. У овом приступу систем се не дели на саставне делове већ на функцијске целине које је могуће поделити на подфункције [3]. За разлику од хардверског, код функционалног приступа полази се од највише инстанце, система као целине и његових главних функција. Одређују се начини на које систем као целина може отказати и како та отказивања могу бити последица отказивања неког од подсистема и тако даље до одређене дубине система. До које дубине ће се ићи зависи од разлога анализе, сложености система и расположивог времена и људских ресурса. Уопштено, није неопходно да се анализа изврши до краја, тј. до најосновнијих функција појединих делова система. Овај приступ усмерава пажњу на начине рада у којима функционална намена система може бити незадовољена, а не на начине отказа појединачних елемената опреме [10]. Функционални приступ FMEA анализе је посебно успешан ако се анализа усредсређује само на ограничену групу отказа или ако се директно бави најзначајнијим чиниоцима потенцијалних проблема, а не са појединачним компонентама.

Комбиновани приступ, као што и сам назив говори, представља комбинацију претходна два [2]. FMEA може да започне функционалним приступом, а затим да се сконцентрише на опрему, посебно на опрему која директно доприноси појави функционалних отказа који су одређени као значајни [10]. Традиционални облик анализе Одржавање према поузданости (Reliability Centered Maintenance – RCM) користи овај комбиновани приступ, који почиње одређивањем важности функционалних отказа система, а затим одређује карактеристичне начине отказа опреме који производе функционалне отказе система.

FMEA је у основи поступак за квалитативну процену поузданости техничких система [2]. Логичан наставак FMEA је квантификовање одговарајућих величина везаних за отказе елемената система и разматрање критичности. Надградња FMEA, везана за оцену степена критичности саставних делова на систем или на мисију система, назива се Анализа критичности (Criticality Analysis – CA). Под критичношћу се најчешће подразумева релативна мера последица начина отказа и учесталост његовог дешавања. Заједничка анализа FMEA и CA назива се Анализа начина, последица и критичности отказа (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis – FMECA). Сва општа разматрања, која се односе на FMEA, важе и за FMECA, јер је ова метода наставак претходне.

У случају да су познати бројни показатељи отказа елемената система (интензитет отказа, релативна учесталост начина отказа, условна вероватноћа појављивања одређене категорије

последица и ефективно време рада елемента), или се могу проценити, применом одговарајућег детерминистичког израза може да се изврши израчунавање критичности елемената и њихово рангирање према различитим критеријумима.

Бајесова FMEA (Bayesian FMEA) представља статистички приступ који је погодан за аутоматизацију. Главне улазне величине и карактеристике Бајесове FMEA су табеле поузданости и критичности, које указују на компоненте код којих постоји вероватноћа да ће да откажу, дајући тако систему излазну величину у облику отказа.

FMECA поступак често захтева употребу субјективних процена, несигурних података и приближних модела система. Допуштајући непрецизност и приближну анализу, фази (fuzzy) логика (заједнички назив за теорију фази скупова и теорију вероватноће), представља ефикасан алат за описивање показатеља поузданости, тиме што не форсира прецизност тамо где она није могућа. Допуштањем неодређености, омогућено је да се поново успостави интегритет анализе поузданости. У „Принципу сложености“, Задех, творац фази логике, запазио је да како сложеност система расте, способност аналитичара да да прецизне, али и значајне исказе о његовом понашању слаби, док се не достигне праг иза кога прецизност и значај (релевантност) постају скоро међусобно искључиве карактеристике. Нигде то није очигледније него код анализе поузданости. Што су технички системи сложенији, анализа поузданости игра све значајнију улогу у успешном развоју система. Међутим, њено спровођење постаје знатно теже.

FMEA може да се користи у различитим фазама животног века производа. У досадашњим стручним радовима, најчешће се среће анализа начина, последица и критичности отказа елемената техничких система у развојној фази и на основу података из експлоатације производа.

Према предмету анализе, развојна FMEA може да се подели на системску (концептну), пројектну и процесну FMEA. Такође постоје и други типови FMEA методе, који се могу сматрати проширеним варијантама ова три типа FMEA методе [11].

Системска FMEA се назива још и концептном FMEA зато што се анализа изводи у фази развоја концепта. Ово је највиши ниво на коме се FMEA изводи и користи се за анализу и спречавање отказа повезаних са технологијом и структуром система. На основу урађеног концепта, разматра се међусобно деловање подсистема и компоненти у оквиру сложеног система. Системску FMEA треба спровести чим пројекат система буде готов, да би се потврдило да пројекат система умањује ризик од функционалних отказа у току рада [11]. Исправно изведена системска FMEA је економски најефикаснија зато што било која измена у фази конципирања пројекта излаже производ знатно мањим трошковима него наредне фазе.

Системска FMEA има велики број предности. Осим што помаже у откривању могућих системских начина отказа проузрокованих недостатком у структури система и узајамним дејством система са другим системима и подсистемима, ова врста FMEA такође помаже у испитивању техничких карактеристика система који могу да изазову накнадне недостатке у пројекту, у избору најповољније алтернативне конструкције система, одређивању да ли је потребно дуплирање критичних компоненти система и одређивању услова испитивања на нивоу система. Служи као основа за развој техника дијагностиковања на нивоу система и стратегија за управљање отказима. Још важније, системска FMEA обезбеђује мере како би се задовољили захтеви корисника што је раније могуће у фази конципирања пројекта и даје важне улазне податке и карактеристике за пројектну FMEA која следи.

Пројектна FMEA је аналитички алат који се користи за откривање могућих начина и механизма отказа, процену ризика од отказа, и омогућава корективне мере пре него што се конструкција пусти у производњу. Да би се постигла што већа вредност анализе, пројектну FMEA треба започети пре него што се начин отказа несвесно уграде у производ. У овом смислу, FMEA служи као алат за спречавање отказа. Основа за пројектну FMEA је комплетирана конструкциона документација. У стварности, међутим, пројектна FMEA се често изводи чим је прва верзија пројекта доступна, а корективне мере се развијају на основу анализе како би се отклонили или ублажили откривени начини отказа.

Велика предност пројектне FMEA је смањење ризика од отказа. Ово се постиже откривањем и бављењем могућим начинима отказа који могу имати неповољне последице на радно окружење, безбедност или на поштовање законских прописа у почетним фазама пројекта. Пројектна FMEA помаже у објективној процени пројекта у смислу функционалних

захтева, пројектних алтернатива, могућности производње, могућности одржавања и повољности радног окружења. Омогућава да мере којима се осигурава задовољење захтева корисника буду започете што је пре могуће на почетку фазе пројектовања. Као додатак, ова врста FMEA помаже у развоју планова за проверу пројекта, контролних планова производње и стратегије одржавања производа. Излазне величине из пројектне FMEA су улазне величине у процесној FMEA.

Процесна FMEA је логички структурирана, систематска анализа која је намењена за откривање могућих начина и механизма отказа, процену ризика од отказа и омогућава корективне мере пре него што крене прва серијска производња [11]. Основа за ову методу је комплетирана технолошка документација. Могући начини отказа процеса су дефинисани на начин у ком процес може потенцијално да незадовољи захтеве процеса и/или намену пројекта. Зато што низ фактора може да доведе до грешке у процесу, ова врста FMEA се обично остварује преко низа корака којима се узима у обзир и анализира утицај радне снаге, машине, начин рад, материјали, мерења и радно окружење. Према томе, процесна FMEA је често компликованија и временски дуже траје од концептне и пројектне FMEA.

Процесна FMEA је у могућности да открије могуће начине и механизме одговорне за отказе повезане са производњом и процесом. Одређује кључне параметре процеса ка којима се усредсређују контроле које имају за циљ смањење или откривање услова појаве отказа. Ова врста FMEA такође процењује последице могућих отказа на крајње кориснике и омогућава мере којима се осигурава да је задовољење корисника узето у обзир у фази развоја процеса. Процесна FMEA се бави проблемима критичних начина отказа откривених у пројектној FMEA преко побољшања процеса производње или монтаже.

Између претходно наведених поступака FMEA у фази развоја производа постоји методолошка повезаност приказана на слици 2.1. Као што је већ поменуто, а са слике може видети, процесна FMEA се заснива на резултатима пројектне FMEA, а ова пак на резултатима концептне FMEA. У узрочно-последичном ланцу представљена је једна хијерархијска лествица система деловања од производног процеса, преко компоненте до система, тј. од узрочника отказа ка начину отказа, од начина отказа ка његовим последицама, и све то пропраћено FMEA методом.



Слика 2.1 Методолошка веза између различитих врста FMEA у фази развоја производа

Слика 2.1 приказује и редослед примене различитих врста FMEA у фази развоја производа. Анализом начина функционисања система може се доћи до потенцијалних начина отказа који резултују потпуним или делимичним неизвршавањем функције циља система. Детаљном анализом сваког отказа система појединачно могу се идентификовати узроци и последице тих отказа. Узроци отказа система су заправо откази његових компоненти. Анализом узрока отказа компоненти долази се до грешака у производном процесу које то изазивају. Исто тако, отказ система представља последицу отказа компоненте, као што и отказ компоненте представља последицу грешке у производном процесу.

На основу претходног, намеће се закључак да у циљу ефикасне примене FMEA методе и рационалног коришћења времена најпре треба спровести системску FMEA. По одређивању критичних компоненти система спроводи се пројектна FMEA тих компоненти. На крају, на основу резултата претходних анализа, спроводи се FMEA производних процеса који узрокују критичне начине отказа компоненти. На тај начин пажња аналитичара се усмерава ка правим узроцима отказа и врло брзо се долази до откривања критичних места, како у конструкцији, тако и у производном процесу. Познато правило Парето анализе примењено у овом случају гласи: отклањањем 20% најважнијих недостатака производа постиже се 70-80% побољшања квалитета.

Између системске, пројектне и процесне FMEA не сме се вршити строго раздвајање. Прелази између ових концепција су поступни. Треба имати у виду и то да се тек после одређивања поступка израде могу проценити вредности фактора ризика пројектне FMEA. Ипак, раздвајање између различитих врста FMEA врши се из разлога смањења комплексности постављеног задатка.

Временска усклађеност спровођења методе FMEA са другим развојним активностима представља један од најбитнијих фактора за успешност пројекта. Као и други развојни поступци, FMEA се спроводи пре почетка производње, беспрекорно поштујући временске захтеве.

Да би FMEA била успешна, она мора да буде урађена пре почетка реализације производа или процеса. Временска синхронизација спровођења различитих врста FMEA у фази развоја производа омогућава аутоматско узимање у обзир резултата претходних FMEA и повратних информација о изменама у пројектима производа или процеса. Тиме се смањују потребе за каснијим изменама и значајно редукује време и трошкови развоја. У табели 2.2 дате су фазе спровођења различитих врста FMEA у функцији од појединих фаза животног циклуса производа.

Табела 2.2 Временска усклађеност FMEA програма у процесу развоја производа

Фазе развоја и експлоатације производа	Системска FMEA	Пројектна FMEA	Процесна FMEA
Конципирање	Започињање		
Моделирање	Комплектирање	Започињање	Започињање
Детаљисање		Ажурирање	
Испитивање прототипа		Комплектирање	Ажурирање
Пуштање у рад			Комплектирање
Експлоатација	Ажурирање	Ажурирање	Ажурирање

Пошто је FMEA живи документ, израз комплектирање означава завршетак првог итеративног круга FMEA поступка и усмеравање добијених резултата на улаз FMEA следећег круга ради кориговања. Почетак спровођења пројектне и процесне FMEA фазно је померен за време потребно за добијање потребних информација из системске FMEA.

Документација за FMEA мора да се ажурира како израда пројекта напредује. Све измене у пројектима производа или процеса и измене полазних спецификација морају се на одговарајући начин пропратити и преиспитати кроз поступак FMEA. Правилно примењена FMEA је интерактивно итеративни (учестали) процес који се никада не завршава. FMEA је врста документа који се непрекидно прилагођава променама које се одигравају у процесу развоја производа.

На крају, може се закључити да постоји доста сличности између све три врсте FMEA. Што се осталих FMEA метода тиче оне прате исте основне принципе као пројектна и процесна FMEA.

Сервисна FMEA је стандардизована техника за процену система и компоненти у току концептне и пројектне фазе како би се побољшало одржавање производа [12]. Ако се разматрају недостаци као предмет анализе, слична методологија може да се примени и на

услуге [2]. FMEA услуге примењује се за анализу услуге пре него што услуга буде пружена кориснику [13,14]. Будући да су основне карактеристике услуге неопипљивост, недељивост, немогућност складиштења и хетерогеност, код примене FMEA услуге треба придати нарочиту пажњу овим особинама.

Еколошка, FMEA окружења се користи како би се проверило да ли су задати еколошки циљеви окружења испуњени од стране анализираних пројеката, процеса или машина. Углавном се прати образац пројектне FMEA, мада у неким случајевима може да се употреби и образац процесне FMEA.

Машинска FMEA је методологија којом се осигурава да су проучени могући начини отказа и са њима повезани узроци и/или механизми који се тичу постављања алата и опреме. Пажња се претежно усмерава на питања безбедности и поузданости. Уопште узев ова врста FMEA је наставак пројектне FMEA.

Софтверска FMEA је такође варијација пројектне FMEA која усмерава пажњу на софтверске проблеме, посебно на повремене и неочекиване начине отказа.

FMEA својстава или атрибутивна FMEA је методологија која преводи тражена својства производа од стране корисника у усклађен план пројекта и провере повезујући низ процеса и алата робусности.

Постојећи стандарди, који се односе на FMEA методу, међусобно се разликују. Због тога су у последњој врсти табеле 2.1 наведени најпознатији и најчешће коришћени стандарди који третирају ову методу. Разлике су, у зависности од стандарда, мање или више изражене. Најчешће је у питању изглед обрасца за документовање FMEA, терминологија, означавање појединих величина и друго.

2.3 Тимски рад у оквиру FMEA анализе

Савремени услови пословања предузећа у којима доминирају изазови и динамичне промене окружења, као и захтеви за високим радним и другим учинцима – све више опредељују предузећа да чешће и масовније уводе тимове као флексибилне организационе облике у процес свог рада и пословања [15]. Увођење тимова и тимски рад уноси велики број промена у организацији, они мењају њен изглед и особине. Искуство и пракса тимског рада доприносе смањивању хијерархијских односа у предузећу, афирмисању улоге, знања и стручности појединаца и њиховог рада, стварају позитивну организациону климу и виши степен хуманизације односа међу запосленима.

Савременим кретањима и изазовима на тржишту неретко више не могу удовољити ни најбољи и најуспешнији појединци већ само и једино тимови. Управо зато је тимски начин рада прихваћен као савремено решење за већину питања која се постављају предузећима на данашњем, врло измењеном тржишту.

Теорија која подстиче стварање тима, насупрот самосталном раду је *синергија* [2]. Синергија се заснива на начелу да је допринос једног тима стручњака знатно већи од суме доприноса појединаца који самостално обављају свој део посла. Другим речима, синергија представља ефекат заједничког рада.

Тим представља облик формалне организације заједничког радног или пословног процеса кога повезују одређени циљеви и интереси чланова, заједничка мисија и задаци [15]. Тимови у организацији су настали шездесетих година прошлог века, као последица еволуције класичне организације предузећа, њене организационе и управљачке структуре. У оквиру тимова као организационих облика обављања послова обезбеђује се позитивна синергија и на тај начин пораст организационих перформанси предузећа, као што су продуктивност и ефикасност. У основи концепције тимова је приступ да су тим и његов учинак нераскидиво повезани.

Због уобичајене дубоке поделе задатака у оквиру предузећа, потребна знања везана за производ или технолошки процес расподељена су између различитих функција предузећа и појединаца. Из тог разлога, неопходно је формирање мултидисциплинарних тимова стручњака предузећа, који ће бити укључени у реализацију FMEA поступка. Коришћење групног знања једног тима стручњака, између осталог, повећава и сигурност развоја по питању поузданости

производа и процеса. FMEA би у свему томе требала да буде формални оквир и покретач размене идеја.

FMEA анализу треба концентрисати на предвиђање, шта може да крене наопако, и да ли ће то утицати на рад система. У већини случајева, открити шта може да крене наопако, није ни мало лако. Ако се узму у обзир и ограничења у времену, открити где може доћи до отказа чак може постати и немогуће. Конструктор можда неће знати зашто је нека функција неодржива. Инжењер производње не може да зна које карактеристике дизајна су критичне за одрживост функције производа. Дакле, коришћењем људи различитог профила и вештина, обим знања се повећава. Међутим, број чланова тима се не може повећавати у недоглед. Доћи ће до тога да се достигне тачка засићења, где ће свако увећање тима имати погубне последице - превише људи покушавају много да кажу.

Стварањем FMEA тимова за оцену пројеката остварују се следећи позитивни ефекти [16,17]:

- користи се у већој мери кадровски потенцијал предузећа, ангажовањем појединаца из разних функција предузећа;
- користе се расположиве информације свих функција предузећа, па и оне које поседују појединци укључени у FMEA тимове;
- ствара се осећај код осталих функција предузећа (ван пројектовања процеса или конструкције) да се ствара заједнички пројекат, уместо да се касније критикује „туђе” решење;
- паралелан рад уместо наизменичног што за резултат има значајну уштеду времена;
- побољшава се комуникација и квалитет доношења одлука, односно постиже се знатно брже усаглашавање и примена решења;
- подстиче се организационо учење и развија се стваралачки потенцијал;
- повећава се задовољство у раду итд.

Рад тима у коме је превише људи је подједнако лош као и рад тима где је премало људи. Колико чланова би тим требао да поседује? За ово питање не постоји један одговор. Честа је промена броја чланова од једног састанка до другог. Можда је неопходно да дискусији о неком аспектима присуствује специјалиста из те области, односно, можда одговор може да добије и члан тима ван састанка. У сваком случају, ово ће зависити од околности, од случаја до случаја. У принципу FMEA треба да обављају међузависни и мултидисциплинарни тимови који се састоје од пет до девет чланова [18, 19]. Број чланова тима може да се мења у зависности од нивоа FMEA, врсте производа или система који се анализирају, средстава и укључених техничких области.

Чланови FMEA тима се могу поделити у две групе [20]. Прва је основни тим („језгро тима“) коју чине људи који раде на развоју самог система. Чланови основног тима су обично укључени у све фазе FMEA, они су заинтересовани учесници и доносиоци одлука, а уз то су одговорни за извршење мера. Они омогућавају искрену комуникацију и охрабрују активно учествовање [21, 22]. Ако је разматрани систем механички, нека врста машинског производа тада језгро чине конструктори, ако се анализира енергетско постројење тада ће језгро чинити процесни инжењери, ако је у питању рачунарска програм онда су то програмери итд [3].

Други тим је тим за подршку. У њега улазе професије које су на овај или онај начин везане уз разматрани систем. Чланови помоћног тима су углавном ангажовани „по потреби“ како би обезбедили посебан начин сагледавања проблема и улазне податке за анализу. Ту спадају производни инжењери, инжењери задужени за квалитет, запослени у маркетингу, истраживању тржишта, лабораторијским истраживањима, набавци итд.

Међутим, FMEA тим се у начелу састоји од одговорног лица (руководиоца тима) и одређеног броја стручњака способних да изврше анализу функционисања производа, могућих отказа, утицај тих отказа на кориснике као и да утврде узроке и мере за њихово уклањање [16]. Одговарајућим организационим упутством у предузећу се дефинише организација FMEA анализе и именује одговорно лице за формирање FMEA тимова, најпогодније је да то буде руководилац одговарајућег пројекта.

За разлику од класичног руковођења, сви чланови тима имају иста овлашћења и одговорности [2]. У општем случају, вођа тима је само један од чланова тима који најуспешније

обавља активности координације, организује састанке и извештава о резултатима рада тима више руководиоце и друге заинтересоване стране. Није неопходно да вођа тима буде специјалиста из одређене области, јер би то ионако покривало само један део делатности целог тима, али зато вођа тима мора добро познавати методу анализе и имати што је могуће више искуства у њеној примени. При томе, постоји опасност да вођа тима запостави свој превасходни задатак – координацију рада тима. Остали чланови тима могу научити саму методу директно кроз праксу како систем буде анализиран [3].

У склопу припреме и спровођења FMEA поступка, поред координације рада тима, вођа FMEA тима треба да [2]:

- обезбеди подршку активностима FMEA тима од стране руководеће гарнитуре;
- изврши избор чланова FMEA тима у сарадњи са руководиоцима стручних функција предузећа;
- организује први састанак тима;
- обезбеди основне услове за рад тима (простор, време, помоћ);
- врши заштиту тима од притисака са стране;
- упознаје чланове тима са захтевима FMEA берзе;
- води и модерира дискусије на седницама;
- планира термине и резултате, укључујући и праћење напредовања;
- води рачуна о томе да се израда FMEA одвија ефикасно и методолошки тачно;
- извештава о току активности надређене структуре;
- осигурава да FMEA документација не дође у погрешне руке итд.

Вођа тима код FMEA процеса је стручњак из развоја технологије, а код FMEA конструкције и система је то стручњак из области пројектовања производа [16].

Руководиоци стручних функција именују најкомпетентније појединце из тих функција у FMEA тим. Члан FMEA тима, поред стручне компетентности у области коју покрива функција коју представља у тиму, мора да задовољи следеће особине:

- да има широка техничка знања како би могао да учествује у раду тима и по темама које нису његова ужа специјалност;
- да располаже или да су му доступни подаци у редовном раду о производу или процесу чија се пројектна решења разматрају;
- да је иницијативан, мотивисан и аналитичан у раду и
- да је по својим психофизичким предиспозицијама погодан за рад у тиму.

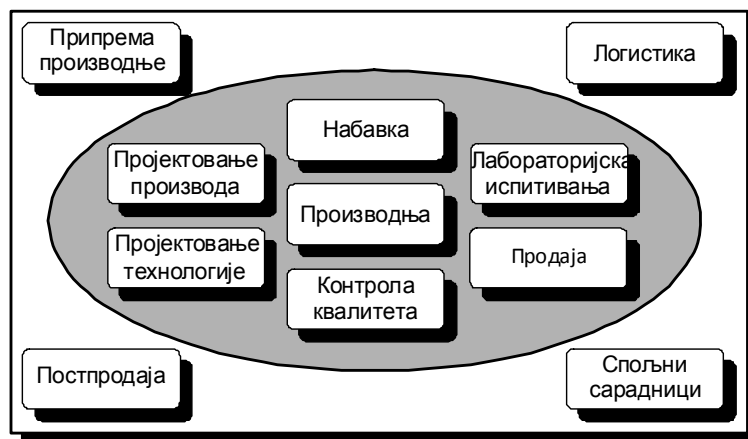
Потенцијални чланови FMEA тима могу бити [22]:

- пројектни инжењери – конструктори;
- производни инжењери;
- инжењери задужени за квалитет;
- инжењери задужени за испитивања;
- инжењери задужени за поузданост;
- инжењери и особље задужено за одржавање;
- руковођаци машинама (из свих смена);
- добављачи опреме;
- особље задужено за набавку;
- корисник;
- и сви они који имају посредни или непосредни интерес.

На слици 2.2, у оквиру елипсе, дат је најчешћи састав тзв. језгро FMEA тима [2].

Чланови тима треба да изаберу записничара који ће бити одговоран за мерење и расподелу времена, достављање програма рада и чување FMEA документације. Улога записничара се ротира између свих чланова тима, осим вође тима. На овај начин се на све чланове тима једнако распоређује терет вођења евиденције на састанцима.

Тиму може бити придодат још један члан који има улогу саветника [3]. Постоји могућност да ни вођа тима нема сва потребна знања или искуство из примене методе. У том је случају могуће тиму придружити појединца с великим искуством примене методе, а који о систему који се анализира не мора знати готово ништа. Овај појединац у тиму има улогу саветника или ментора вођи тима. Саветник се најчешће придодаје тиму када је на месту вође тима постављена особа која има искуство из FMEA методе, али је први пут на месту вође тима који мора да спроведе анализу.



Слика 2.2 Структура FMEA тима

Ни под којим околностима не треба FMEA, било делимично или у потпуности, препустити појединцу или издвојеном мањем тиму, при том очекујући да ће главни тим касније разматрати ту анализу, због извесних неслагања и недостатака [18]. Овакво критичко разматрање се веома ретко одвија на задовољавајућем нивоу темељног испитивања и оно искључује могућност да главни тим искористи своју синергију за откривање нових проблема или за постизање бољих решења.

Одлуком о формирању FMEA тимова, поред именовања чланова тима утврђује се и предмет анализе (елементи процеса) и рокови за реализацију анализе [16].

На свом првом састанку чланови тима се још једном упознају са детаљима предмета анализе и задацима сваког члана тима. Том приликом се сваком члану тима уручује расположива документација из пројекта процеса и/или конструкције. Вођа FMEA тима води рачуна о припреми документације и презентацији предмета анализе. Даљи ток активности на реализацији анализе може се поделити у следеће фазе:

- припрема за анализу;
- анализа пројекта процеса или конструкције;
- оцена постојећег стања;
- корективне мере;
- оцена ефеката корективних мера и
- документовање анализе.

Доношење одлука или одлучивање је део посла којим се бави тим и представља процес прављења избора између више могућности које стоје на располагању [22]. То је мисаони рационални процес, који се састоји од препознавања и разумевања могућности које се нуде, а потом и одабира могућег решења које се чини као најбоље и које води ка жељеном стању. Након извршеног избора, то јест донешене одлуке, следи активност која произилази из одлуке која је донешена, и која сада треба да заживи и у пракси када донешена одлука ступи на снагу.

У тимском окружењу, расправа и претресање проблема траје док тим не донесе одлуку коју прихвата сваки члан и која ће бити примењена иако неки чланови могу да имају резерве према њој [22]. Овакав начин одлучивања представља консензус. *Консензус* је заједничка

одлука постигнута кроз активно учествовање свих чланова, и са којом је сваки члан сагласан (другим речима да је прихвати као своју). За постизање консензуса није потребна стопостотна сагласност, већ стопостотна посвећеност. Такође мора да се избегне доминација већине, јер понекад и мањина има право.

Да би постигли консензус, чланови тима морају бити спремни да:

- доприносе, али и да буду отворени за туђе утицаје и идеје;
- пажљиво саслушају туђа гледишта;
- нађу разлоге за мишљења других;
- избегавају тражење средине у различитим мишљењима;
- се успротиве различитом мишљењу – на љубазан и конструктиван начин;
- се заузму за туђе мишљење.

У идеалним условима, тим капитализује различитости својих чланова како би дошао до најбоље одлуке, али сва је вероватноћа да ће доћи до неслагања услед јединственог гледишта на процес или производ сваког од чланова [21]. Без структурираног поступка који се бави несугласицама и њиховим решавањем могуће је само губљење времена, новца и енергије. Тим треба унапред да се сложи око поступка за решавање несугласица. Неки од начина који могу да помогну у постизању консензуса наведени су испод.

Гласање у оквиру тима. Гласање и оцењивање је средство које помаже тиму да дође до вредности фактора ризика за вероватноћу појаве, тежину последица и могућност откривања узрока отказа. Када постоји неслагање око оцењивања, чланови тима који су уверени у своје оцене треба да дају своје образложење оцењивања остатку тима. Ако је потребно, одредити временско ограничење за ово излагање (на пример, пет минута за свако). Повезивање њихових разлога оцењивања са претходно одређеном скалом критеријума за вредновање фактора ризика помоћи ће у ојачавању њиховог става. Када је излагање завршено, чланови тима треба да дају свој глас оној оцени за коју мисле да би требала да буде.

Ако поступак гласања не помогне да тим дође до консензуса постоји још неколико других активности које тим може да одради да би дошао до договора.

Укључивање стручњака. Ако се стручњак не налази у тиму, биће пожељно да се позове на састанак да би прегледао рангирање и дао своје мишљење о томе како разматрани предмет анализе треба да буде оцењен. Стручњак не би требало да има задњу реч кад је у питању рангирање, већ би требало да обезбеди тиму податке које нису знали или их нису били свесни. Тим у овом случају има задњу реч.

Приклонити се једном члану тима. Тим може одредити једног члана тима који треба да донесе крајњу одлуку, уколико постоји такава особа са много искуства и стручности у вези производа или процеса. Проблем са овим приступом је тај што постоји шанса да се неки чланови тима не сложе са рангирањем и биће им тешко да надаље помажу у FMEA поступку.

Рангирање отказа и последица у границама рангирајуће категорије. Исписати све отказе и последице на самолепљиве папириће. Не треба бринути око стварне вредности оцене у тренутном рангирању. Уместо тога, сложити отказе по реду (од највишег до најмањег) према скали критеријума за вредновање фактора ризика који је у питању. На пример, ако је у питању скала тежине последица отказа и тим није у могућности да се договори око рангирања два или више начина отказа, треба ставити сваки од начина отказа на самолепљиве папириће. Онда тим треба да сложи начине отказа по значају од највишег до најнижег. У овом тренутку, не треба бити забринут за нумеричку вредност оцене начина отказа. Чим се начини отказа сложе, означити оцене било којих начина отказа око којих је тим постигао сагласност. Размишљајући о отказима као међусобно повезанима, пре него полазећи од апсолутне скале, тим ће можда бити у могућности да се договори око рангирања спорних начина отказа.

Разговор. Зато што се оцене фактора ризика множе, један или два бода разлике у било којој рангирајућој скали може да има значајан утицај на ИПР (Индекс приоритета ризика) начина отказа. Разлика може да постави начин отказа испод граничне тачке, када би требало да буде изнад. Ово би значило да релативно високо ризичан отказ не буде уклоњен или његове последице умањене. Због тога је веома ризично доделити оцену произвољно само да би се

FMEA процес наставио. Некад је разговор најбољи начин да се постигне консензус о посебно незгодном питању.

Коришћење виших вредности. Ако тим једноставно не може да постигне консензус, тим може да изабере да користи више вредности фактори ризика. Овим приступом се губи време које је могло бити искоришћено за рад на другом начину отказа. Са друге стране, може бити великих добитака коришћењем овог приступа и радом на безбедној страни.

Чињеницу да је конфликт у раду тима у било којој ситуацији неизбежан треба прихватити унапред и припремити се за његово решавање [2]. Конфликт је чак пожељан, јер показује да о одређеној проблематици постоје различита мишљења. Међутим, да би конфликт био позитиван, није довољно препознати га и толерисати, већ се мора њиме управљати. Под управљањем конфликтом подразумева се могућност појединца и групе да предвиде и каналишу решавање конфликтних ситуација. Када се од свих чланова тима усвоје основни принципи управљања конфликтом, у том случају постоји пријатна атмосфера за рад, идеје и предлози су бројни и размена мишљења врши се спонтано, чланови тима се надовезују и надограђују идеје других, концентришући своју пажњу на ставове који им се свиђају, уместо да критикују сегменте који им не одговарају итд.

Неуправљање конфликтом у тимском раду има за последицу поделу чланова тима у таборе и вођење тајних кампањи ради дискредитовања чланова тима из супротног табора. Тиме се губи међусобно поверење чланова тима, драгоцене време и енергија потребна за остваривање постављеног циља.

2.4 Позитивне стране FMEA методе

Као и код свих методологија и алата који се користе током развоја производа, и FMEA метода доноси одређене предности у односу на процес развоја производа код којег уопште не постоји анализа поузданости или се примењује нека друга метода [3]. Ове предности су следеће:

- добро структурирана и поуздана метода;
- једноставна за учење и примену, чак и почетницима;
- једноставна процена чак и најкомплекснијих система;
- скраћено време развоја производа због раног откривања и отклањања потенцијалних проблема;
- повећање поузданости производа;
- стварање базе података за будуће анализе.

2.5 Негативне стране FMEA методе

Како FMEA није једина метода којом се оцењује поузданост производа, намеће се закључак како постоје одређене мане ове методе, тј. друге методе имају одређене предности. Недостаци FMEA методе су следећи:

- FMEA анализа може бити заморна и може одузимати доста времена;
- није прикладна за разматрање потенцијалних отказа узрокованих вишеструким узроцима или механизмима;
- лако је заборавити људске грешке;
- ограничена могућност анализе спољашњих утицаја;
- проблем одређивања вероватноће отказивања;
- све компоненте које немају резерву добијају вишу оцену критичности у односу на компоненте које имају резерву.

3. СИСТЕМСКА (КОНЦЕПТНА) FMEA

Системска FMEA (такође се користи и назив концептна) обично се остварује кроз серију корака који укључују дизајн концепта, дизајн детаља, развој, тестирање и оцену пројекта [5]. Пројектовање у овој фази је један иновативни процес који захтева различите технике и методе да би се као коначан производ добио ефективни систем који задовољава све захтеве. Резултат овог процеса ће се користити као улазни податак за пројектну FMEA, а њен резултат ће опет постати улазни податак за процесну и касније сервисну FMEA. Овај процес је приказан на слици 3.1.

Избор одговарајућих технологија може да укључи коришћење постојећих система, познате или предложене стандардне приступе, резултате директних истраживања или комбинацију свега овога.

Ефикасан FMEA систем је у основи остварив кроз систематичан инжењерски процес, развој производа, истраживање и развој (R&D) или комбинацијом истих. У овој фази треба фокусирати пажњу на:

1. трансформацију оперативних потреба у параметарски опис перформанси система и што је професионалније могуће трансформацију конфигурације система кроз употребу интерактивних процеса функционалне анализе, синтезе, оптимизације, дефиниције, дизајна, тестирања и оцене пројекта;
2. интеграцију повезаних техничких параметара и обезбеђивање компатибилности свих физичких, функционалних и програмских целина на начин који оптимизује целокупну дефиницију система и дизајна, и
3. интеграцију поузданости, одрживости, инжењерску подршку, људске факторе, безбедност, сигурност, продуктивност и остале повезане факторе који утичу на рад система.

Циљ системске FMEA је да дефинише и прикаже одговарајућу равнотежу између оперативних (ефективност и перформансе) и економских фактора. Да би испунила циљеве, системска FMEA се мора ослањати на потребе, жеље и очекивања купаца. По правилу, те информације могу да буду резултат QFD студија (што је и пожељно) или унутрашња потреба за побољшањем. У оба случаја, један од првих корака у спровођењу FMEA анализе треба да буде укључивање студије о изводљивости усмерене ка дефинисању сета корисних решења за откривени проблем. Циљ ове ране (не коначне) фазе је да идентификује, успостави и процени алтернативне приступе и функционалне основе.

Крајњи резултат системске FMEA је почетни пројекат са основном структуром и функционалним техничким описима у сврху претварања утврђених захтева у детаљни квалитативни и квантитативни дизајн. Нека од основних разматрања у пројектној FMEA могу бити:

Општа разматрања:

- да су дефинисани оперативни захтеви система;
- да су установљени делотворни фактори;
- да је дефинисан концепт одржавања система.

Елементи подршке:

У овој области мора се обавити целокупно истраживање у односу на то да ли су захтеви познати или не и/или да ли могу бити оптимизовани за:

- опрему за тестирање и одржавање;
- особље и оспособљавање за рад;
- поправку и резервне делове.

Карактеристике процеса:

- стандардизација;
- доступност;
- прикључци;
- безбедност;
- обезбеђење испитивања;
- контроле;
- могућност транспорта;
- поузданост;
- заменљивост;
- функционалне анализе;
- технички подаци;
- процедуре;
- могућност производње;
- софтвер.

Системска FMEA

	Начин отказа	Последица	Узрок	
	Проблем	Последице проблема	Узрок (узроци) проблема	

Пројектна FMEA

	Начин отказа	Последица	Узрок	
	Узроци проблема из системске FMEA	Последице из системске FMEA са евентуално бољим објашњењем	Нови извори узрока за пројектне начине отказа	

Процесна FMEA

	Начин отказа	Последица	Узрок	
	Узроци проблема из пројектне FMEA	Исте последице као код пројектне FMEA	Посебни извори узрока за процесне начине отказа	

Слика 3.1 Веза између системске, пројектне и процесне FMEA анализе

Напомена: Начини отказа системске FMEA дају суштинске информације за пројектну и процесну FMEA. Иако последице остају исте, узроци у системској FMEA постају начини отказа у пројектној FMEA, који даље стварају нове узроке који коначно постају начини отказа у процесној FMEA. Важно је да начине отказа из производње (процеса) не треба ни наводити у пројектној FMEA.

3.1 Системска FMEA анализа корак по корак

Да би се обавила системска FMEA постоје два услова. Први услов је формирање одговарајућег обрасца. Други услов је дефинисање упутства за оцењивање.

Формулар који се користи за извођење системске FMEA није универзалан ни стандардизован. Свака компанија или предузеће има свој властити образац за извођење системске FMEA, како би се приказале потребе организације и интереси корисника производа. Ипак, у аутомобилској индустрији је извршено креирање и стандардизација овог обрасца и процедуре 1. јула 1993. од стране AIGA-a (Automotive Industry Action Group).

У овом поглављу биће представљен формулар као и објашњење опште прихваћених поља која морају бити део системске FMEA. Треба запамтити, не постоји јединствени формулар за системску FMEA.

Упутства за оцењивање, такође, нису универзална и нису стандардизована. Свако предузеће има свој систем оцењивања како би се приказале потребе организације, производа и интереси корисника.

Генерално, постоје два начина за формулисање упутстава за оцењивање: квалитативан и квантитативан. У било којем случају нумеричке вредности могу бити од 1-5 или од 1-10. Највише се користи нумеричка вредност од 1-10. Треба запамтити, не постоји формално упутство за оцењивање за системску FMEA.

Слика 3.2 приказује најчешће коришћен образац за системску FMEA. Образац је подељен на три дела. Први део чине поља од 1-9 која представљају увод формулара. Ниједно од ових поља није обавезно; међутим, она дају информације системске FMEA и обезбеђују информације од битног значаја које су можда потребне за процес документовања FMEA.

Други део формулара садржи поља од 10-23. Ова поља су обавезна за било коју системску FMEA. Ред колона може бити промењен и више колона може бити додато, али ниједна од постојећих колона не може бити одстрањена. Поља од 10-23 могу да се сматрају као главним делом системске FMEA.

Трећи део формулара су поља 24 и 25 и та поља служе за парафирање односно потписивање обрасца од стране овлашћеног лица. Мада та поља нису обавезна, она представљају надлежност и одговорност тима који је обављао посао планирања документовања системске FMEA. Потписи могу да се сматрају као крај FMEA методе. Сви бројеви у заградама су бројне ознаке за излагање формулара.

Одређивање система (1). Одређивање назива система или врсте FMEA.

Одговорност за систем (2). Име одговорне организације, радне јединице или службе која сноси одговорност за пројектовање система.

Одговорно лице (2А). Некада је неопходно именовати појединца који ће бити одговоран за пројектовање система.

Учешће других области (3). Именовати појединаца или активности (унутар организације) који утичу на пројектовање система.

Учешће добављача робе или трећих лица (4). Одредити друге људе, добављаче и/или фабрике (изван организације) који утичу на пројектовање система и укључени су у пројектовање делова, производњу или монтажу, или одржавање система.

Модел или производ (5). Именовати модел и/или производ који користи систем.

Технички рок испоруке (6). Одредити датум (дан, месец, година) који је предвиђен за испоруку производа.

Саставио (7). Обично се бележи име инжењера одговорног за FMEA. Понекад, забележене су и додатне информације, као што су:

- телефонски број пројектанта система;
- адреса становања пројектанта система;
- организационе активности (другим речима, организациона јединица, служба, итд.);
- чланови FMEA тима (име и презиме, телефон, адреса, итд.).

Датум попуњавања FMEA обрасца (8). Забележити датум (дан, месец, година) почетка попуњавања обрасца системске FMEA.

Датум последње измене FMEA обрасца (9). Забележити датум (дан, месец, година) последње измене.

Функција система (10). Инжењер записује намену, сврху, циљ или предмет система. Функција система мора бити изведена из корисникових потреба, жеља и очекивања. По правилу они укључују безбедносне захтеве, законске прописе и друга унутрашња и спољашња ограничења за организацију.

(1) Назив система: _____

(2) Одговорност за систем: _____

(2A) Одговорно лице: _____

(3) Учешће других: _____

(4) Учешће добављача: _____

(5) Модел/производ: _____

(6) Технички рок испоруке: _____

(7) Саставио: _____

(8) Датум попуњавања: _____

(9) Дат. Измене обрасца: _____

Страна/стране: _____

Функција система	Потенцијални начини отказа	Потенцијалне последице отказа	Тежина последице отказа	Потенцијални узроци отказа	Бероватноћа појаве отказа	Начин откривања	Бероватноћа откривања отказа	Индекс приоритета ризика	Препоручене мере	Појединач/ област одговорности и датум завршетка	Резултати препоручених мера																			
											Предузете мере	Т	В	И																
(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)																	
Тимски рад																														

(24) Потпис одговорног лица: _____

(25) Потпис сагласног лица: _____

Слика 3.2 Образац за системску FMEA

Обично су ове потребе, жеље и очекивања одређена кроз QFD анализу и укључују нека друга разматрања. Нека од ових разматрања су резултат расправе о питањима која се тичу могућности производа, проблемима са гаранцијом, индустријским стандардима или посебним захтевима корисника.

Да би функција система била успешна, мора бити одређена до детаља преко извештаја који је сажет, тачан и лако разумљив (без жаргона). Она такође може бити одређена преко функционалног блок дијаграма, који ће приказати елементе система као функционалне блокове на које систем може да се растави. Важно је да се запази да је циљ функционалног блок дијаграма да прикаже главне елементе система и да разуме како међусобно деловање тих елемената утиче на сам систем или друге спољне системе.

Ако се извештај користи за описивање функција, те функције треба да се опишу посебним изразима. Да би се ово омогућило, записничар FMEA тима треба да осмисли активне глаголе и одговарајуће именице. Активни глаголи дефинишу извршење, а извршење дефинише функцију. Комбинација активног глагола са именицом дефинише повезаност; услед тога, процес одређивања отказа постаје много лакши. Ово комбиновање може да се олакша преко радног листа функције дела (слика 3.3). Примери укључују:

- неисправне логичке кодове;
- оштећене податке;
- неодговарајући алгоритам;
- регулацију брзине.

Име пројекта: _____

Поље рада кључног елемента: _____

Ограничења пројекта: _____

Број цртежа: _____ Број тима: _____ Датум: _____

Списак функција			Основни	Други	Спецификације
					Захтеви производа
Бр.	Глагол	Именица			Колико? Када?
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					

Слика 3.3 Радни лист за оцењивање функције

Потенцијални начини отказа (11). Проблем, интерес, шансе за побољшањем, отказ, неисправност. Када се размишља о могућим начинима отказа такође се мора размишљати и о губитку функције система – неком карактеристичном отказу. Откази конструкције се појављују када производ није довољно заштићен од ризика појаве оштећења, односно не може извршити намењену функцију безбедно (што је дефинисано инжењерским техничким подацима) или не може извршити смањење последица које се могу избећи у случају несрећа.

За сваку функцију пројекта одређену у пољу 10 одговарајући отказ функције мора бити унет у списак. Може постојати више од једног отказа по једној функцији. Да би се олакшало откривање потенцијалног начина отказа може се размишљати о супротној функцији или губитку функције. Примери одговарајућих отказа су:

- не успева да се отвори;
- компонента се скупља;

- у прекиду;
- калем не успева да произведе EMC;
- подсклоп пропушта;
- кородирао;
- не може да се контролише брзина итд.

Други начин за одређивање претпостављених начина отказа је постављањем питања „Како може овај систем, конструкција, компонента, подсистем или процес да откаже?“ или „Може ли да се похаба, стегне итд?“ Овде се инжењер истиче у први план, јер је он тај који мора да покуша да претпостави како разматрана конструкција може да откаже, а не да ли ће конструкција која је предмет анализе отказати или не.

Међутим, постоји још један начин откривања начина отказа, а то је преко Анализе стабла отказа (Fault Tree Analysis - FTA). У структури FTA горњи ниво је губитак функције, и онда постепеним спуштањем на ниже нивое откривају се начини отказа.

Потенцијални ефекти отказа (12). Потенцијални ефекти отказа су резултат сопственог недостатка наредне конструкције на вишем нивоу, система, производа, корисника и/или законских прописа. Најчешће постављена питања су: „Шта корисник доживљава као резултат описаног начина отказа?“ или „Шта се догађа или како се грана проблем или отказ?“. Последице отказа могу да утичу на сам систем, производ, корисника и/или законске прописе. Врло често, последице отказа се процењују из перспективе или искуства корисника.

Како би се одредили потенцијални ефекти отказа, нека документа морају бити поново проверена, а та документа су:

- претходни подаци;
- документи гаранције;
- жалбе корисника;
- подаци из области одржавања;
- подаци поузданости;
- студије изводљивости;
- сличне или претходне FMEA анализе.

Без обзира на то како су потенцијални ефекти отказа откривени, гранање губитака код функције система мора бити унапред утврђено. Мишљење мора да се да о самом систему, другим системима, производу и кориснику. Ако су у питању безбедносна разматрања, ово је рубрика у којој треба направити одговарајућу забелешку. Примери потенцијалних последица отказа су:

- суседни виши ниво система: не успева да ради;
- производ: прегрејавање мотора;
- корисник: потпуно незадовољство, систем не успева да ради;
- влада: можда се неће сложити са неким стандардима (СТД - XXX).

Критичне карактеристике (13). Критичне карактеристике обично нису повезане са системском FMEA, зато што коначни облик конструкције није још дефинисан у овој, раној фази. Док се конструкција потпуно и јасно не дефинише, критичне и/или значајне карактеристике не могу да се одреде. Место где се критичне карактеристике идентификују је пројектна FMEA, где се карактеристике користе само за препознавање критичности посебних контрола за процесну, монтажну и/или сервисну FMEA. Одавде се преносе у контролни план.

Колона критичних карактеристика се односи само на то да ли се испуњавају владини прописи, безбедност и инжењерски технички подаци који се односе на производ и/или процес ако је то од неког значаја.

Одређивање критичности или значајности у системској FMEA је значајно само због изналажења специјалних контрола за процесну, монтажну и/или машинску FMEA. Одавде се оне даље преносе на контролни план. Примери могућих критичних ставки су:

- димензије;
- тестирања;

- машинска обрада;
- технички подаци;
- процеси;
- начини употребе.

Критичне карактеристике су одређене када:

- технички захтеви могу утицати на безбедност;
- технички захтеви могу утицати на придржавање владиних прописа;
- технички захтеви су неопходни због специјалних акција/контрола.

Уношење података у ову колону за да је „Д“ а за не је „Н“ (овим се обележава вероватноћа критичности која ће бити коначно одређена у процесној FMEA). Његова сврха је да означи могуће критичне карактеристике које могу или не морају да постоје. Добар наговештај критичности је када је тежина последица отказа дефинисана граничном вредношћу 9 или 10 са вероватноћом појаве и вероватноћом откривања отказа већом од 3.

Тежина последица отказа (14). Тежина (значајност) последица отказа (ТПО) представља меру утицаја потенцијалног начина отказа компоненте разматраног система на радну способност система, на корисника и/или на окружење [2]. При разматрању значајности последица отказа мора се узети у обзир и нарушавање обавезујућих законских прописа. У предметној FMEA, тежина последица отказа вреднује се преко фактора ризика R_2 (табела 3.1).

Табела 3.1 Критеријуми за вредновање фактора ризика тежине последица отказа

Тежина последица отказа	Критеријуми	Вредност фактора ризика R_2
Занемарљива	Отказ нема видљивог утицаја на функционисање производа. Последице су изражене само у естетском смислу. Корисник вероватно неће ни приметити отказ.	1
Мала	Отказ незнатно утиче на употребу производа. Корисник ће вероватно запазити отказ у виду благог погоршања перформанси производа.	2 ÷ 3
Средња	Очувана је функција производа, али је отежано његово коришћење, што изазива незадовољство корисника. Препоручује се примена превентивних мера у циљу отклањања узрока отказа.	4 ÷ 6
Велика	Отказ делимично или потпуно онемогућава употребу производа, али не угрожава безбедност корисника. Резултује губитком поверења корисника.	7 ÷ 8
Веома велика	Отказ угрожава сигурност корисника, узрокује велике штете и/или доводи до нарушавања обавезујућих законских прописа.	9 ÷ 10
Напомена: - Ако се вредност фактора ризика налази између два броја, увек бирати онај са већом нумеричком вредношћу; - Ако у тиму дође до неслагања око оцене фактора ризика, следеће може помоћи: 1. Ако дође до неслагања око фактора чије су нумеричке вредности суседни бројеви, израчунати просек. На пример, ако један члан тима каже 6 а неко други 5, вредност изабраног фактора у овом случају треба да буде 6 (5 и 6 су суденди бројеви, дакле $5+6=11$; $11/2=5,5$). 2. Ако дође до неслагања око фактора ризика чије нумеричке вредности нису суседни бројеви, консензус се мора остварити. Ако се деси да се чак и једна особа не слаже се проценом фактора, он се не може верификовати, консензус се мора остварити! Значи, нема рачунања просека, нема већине гласова. Сви чланови тима морају имати своје право у рангирању. Можда се са изабраним фактором неће стопроцентно слагати, али могу да живе са тим.		

Последице отказа обично су описане ефектима на корисника производа или их је могуће уочити код њега. Оне могу утицати на естетику или на функционалност производа. Наравно, у

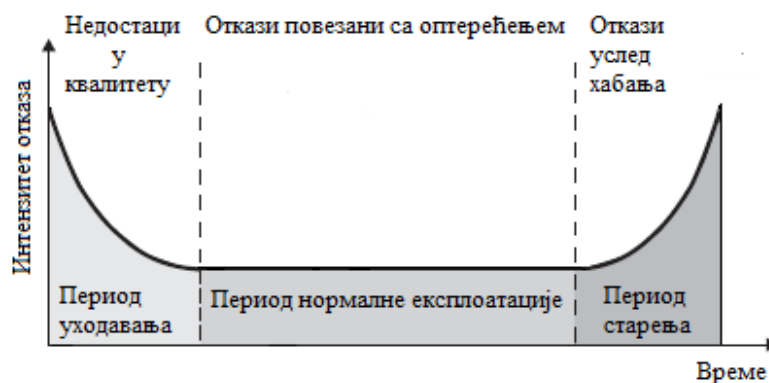
првом плану је способност функционисања. За то се користи оцена 1 (нема последица) и 10 (екстремно тешке последице). При вредновању фактора ризика R_2 , разматра се значајност утицаја отказа на потпуни или делимични губитак радне способности система и реакција корисника производа.

Табела 3.1, садржи одговарајуће критеријуме за вредновање фактора ризика појаве последица отказа R_2 . Предузећа која имају намеру да користе FMEA, потребно је да формирају сопствене критеријуме за своје производе, придржавајући се неких општих принципа.

Оцена значајности последица отказа може се умањити само функционалном изменом у пројекту (нпр. увођењем паралелних веза) или предвиђањем додатне опреме за праћење параметара функционисања критичних целина и благовремено упозоравање корисника преко светлосних или звучних сигнала. Према томе, на оцену значајности последица отказа не утичу контролне мере које се примењују у току или на завршетку производње.

Потенцијални узроци отказа (15). Узрок начина отказа система јесте недостатак у самој конструкцији система који доводи до потенцијалних начина отказа.

Класификација отказа према времену њиховог настајања је заснована на широко коришћеном моделу поузданости објекта [23]. Сагласно том моделу постоје три периода функционисања објекта и то: *уходавање, нормална експлоатација и старење*.



Слика 3.4 Интензитет отказа кроз радни век производа

Узроци настајања отказа у овим фазама су (слика 3.4):

- Узроци отказа у периоду уходавања (тзв. период дечијих болести): конструкционе грешке, технолошки дефекти, грешке у монтажи склопова и агрегата и сл.
 - Правилном контролом и испитивањем објекта може се у многим случајевима смањити интензитет отказа у овом периоду.
- Узроци отказа у периоду нормалне експлоатације: неочекивано повећање напона, достизање гранично тешких услова рада и сл.
 - Интензитет отказа у овом периоду има приближно константну вредност, $h(t) = \lambda = \text{const}$.
- Узроци отказа у периоду старења: корозија, ерозија, старење, хабање, замор материјала и сл.

Према томе какав је карактер и ток процеса који доводи до отказа постоје две основне врсте отказа: *тренутни* и *постепени*.

Према могућности коришћења објекта после настајања отказа постоје два вида отказа: *потпуни*, при ком се објект даље не може користити и *делимични*, при којем се објект може делимично користити.

Према узроцима настајања откази се деле на *конструкторске*, условљене грешкама конструкције, *технолошке*, условљене грешкама технологије израде и *експлоатационе*, условљене нарушавањем правила експлоатације или дејством спољних услова.

Конструкциони откази јављају се најчешће као последица нетачне конструкције склопова, погрешно одабраних толеранција и налегања, недовољне крутости конструкције што

условљава претеране деформације и померања, нетачног прорачуна чврстоће и отпорности на хабање, недовољне отпорности на вибрације итд.

Технолошки откази настају као последица неправилне израде или примене некавалитетних материјала. Фаза израде се јавља као битна с тачке гледишта поузданости јер су технолошке неисправности резултат непридржавања технолошких услова израде, поправки и монтаже склопова машинских конструкција. Због неправилне израде откази настају услед промене и одступања од првобитног облика и мера, квалитета обрађених површина, врсте и структуре материјала итд. Последица овога је неисправно налагање спрегнутих елемената конструкције и слабљење њених веза, такође се може јавити повећање радијалног и бочног зазора код пара спрегнутих зупчаника или претерани зазор код клизних лежајева. Код непокретних, чврстих спојева пак може доћи до смањења преклопа, смањења носивости склопа и губитка потребне крутости. Нарушавање центричности, саосности и управности оса доводи до неправилног спрезања зуба зупчаника, укошавања лежишта и сл., што има за последицу повећање динамичких оптерећења.

Експлоатациони откази настају у току коришћења машине или уређаја, за разлику од конструкционих и технолошких отказа који се испољавају још у току периода уходавања пре него што се уђе у нормалну експлоатацију. Експлоатациони откази су најчешће узроковани хабањем додирних покретних површина, замором материјала услед дуготрајног деловања променљивих динамичких оптерећења, неповољним деловањем околине као што је корозија, абразија, повишене температуре итд. Нарушавање режима рада и правила експлоатације машина као што је нпр. преоптерећење виталних делова конструкције, неодговарајуће одржавање у смислу подмазивања и хлађења и сл. могу у крајњој линији имати за последицу превремени отказ.

Мора се нагласити да када се фокусира на узрок(е), морају се тражити основни узроци а не симптоми отказа [5]. Очигледно, искуство и познавање система ће помоћи око приоритетизације и налажења границе између стварних и безначајних узрока.

Да би се правилно изабрали потенцијални узроци отказа, мора се разумети функционисање система и морају се постављати одговарајућа питања. Неке од техника које се могу користити су: Брејнсторминг (Brainstorming), анализа блок дијаграма, дијаграм узрока и последица итд.

Основно питање које треба поставити је, “ У ком случају ће систем престати да обавља своју задату функцију?”. Други начин је да се пет пута за редом постави питање *зашто?*. Ово се може објаснити тиме што питања прогресивно постају све тежа и што тиме задатак у ком треба одгонетнути зашто се нешто дешава постаје провокативнији. Прва питања су обично површна, али она каснија су много детаљнија.

Начини отказа могу бити узроковани једном или више индивидуалних компоненти или њеном:

- везом са осталим компонентама;
- везом са компонентама другог система;
- везом са владиним прописима;
- везом са купцем.

У овом тренутку, мора се нагласити да је највећа добит од коришћења системске FMEA, управо идентификација потенцијалних начина отказа система, узрокованих баш системом и/или везом између компоненти система. У ове везе такође може да се укључи и људски фактор, и као такве, оне се морају детаљно прегледати.

Веза између начина отказа и узрока није линеарна, такође може постојати неколико узрока једног начина отказа. Потребно је исписати што више узрока (ако је могуће, исписати их све). Ти узроци ће у пројектној FMEA представљати потенцијалне начине отказа (слика 3.1). Значи, што се више узрока открије у системској FMEA, то ће пројектна FMEA бити лакша.

Примери узрока отказа:

- прекид рада одређене функције;
- грешка софтвера;
- не заустављање операције у траженом тренутку;

- немогућност почетка са радом;
- недовољно добар излани производ.

У системској FMEA, узроци отказа понекад нису тако очигледни. Заправо, постоје најмање три случаја које треба испитати:

1. Специфичан узрок постоји, али је непознат. Ово може бити последица два сценарија:
 - а) Начин отказа је пронађен, у том случају механизам детектовања је адекватан. Шта је неопходно урадити, да ли можда треба изменити конструкцију да би избегли узрок, или је можда неопходно урадити детаљније анализе да би се дошло до узрока отказа;
 - б) Начин отказа није пронађен, у овом случају механизам за детектовање је неадекватан. Пошто су препоруке део системске FMEA, треба препоручити повећање количине узорака или пак треба развити нове технике за откривање узрока отказа.
2. Специфичан узрок постоји, али се не може открити. Овде такође постоје два могућа сценарија:
 - а) Технике за откривање узрока отказа су способне да испуне задату функцију, у том случају треба опет повећати број узорака;
 - б) Технике за откривање узрока отказа нису способне да испуне задату функцију, у том случају потребна је модификација већ постојећих или развој нових техника. Нове и модификоване технике требале би да буду више осетљивије од постојећих техника за откривање специфичних узрока.
3. Специфичан узрок постоји, и може се открити. Такође постоје два могућа сценарија:
 - а) Узрок је откривен, у том случају неопходно је извести даље анализе и/или тестирања како би се предузеле одговарајуће мере за отклањање основног узрока отказа;
 - б) Узрок није откривен, у том случају можда постоји проблем у дизајну, или није спроведен довољан број тестова. У овом случају откривање проблема у многостручности зависи од искуства па се строго препоручује поновно прегледавање документације са тестирања.

Вероватноћа појаве отказа (16). Вероватноћа појаве отказа (ВПО) у експлоатацији производа представља вероватноћу да ће одговарајући потенцијални узрок отказа резултовати отказом компоненте или система [2]. Постојање узрока отказа само по себи не значи и аутоматску појаву отказа.

Ради коректности поступка FMEA, сви потенцијални начини отказа елемената система треба да буду тачно идентификовани. При томе, треба узети у обзир и потенцијалне начине отказа који могу наступити само под одређеним екстремним условима експлоатације производа, на пример: при високим или ниским температурама, присуству влаге или абразивних честица, дуготрајном непрекидном раду, преоптерећењу итд.

Вероватноћа појаве отказа вреднује се преко фактора ризика појаве отказа R_1 , на основу усвојених квалитативних и квантитативних критеријума. Вредности фактора ризика појаве отказа R_1 , у зависности од задатих описних критеријума и процењених вредности учесталости настанка отказа у експлоатацији производа, дати су у табели 3.2. При дефинисању квалитативних критеријума мора се узети у обзир специфичност анализираног производа. За коришћење FMEA методе, у фази припреме неопходно је да предузме формира сопствене критеријуме на основу познавања свог производа и основних поставки FMEA методе везаних за овај део анализе. Када се рачуна вероватноћа / учесталост појаве отказа, неопходно је то учинити за сваки узрок отказа [5]. Уколико вероватноћа појаве отказа не може бити израчуната, онда за њу треба унети вредност 10. У том случају мора постојати сагласност свих чланова тима.

Како би се одредила учесталост за сваки узрок мора се користити теорија вероватноће и математичка статистика, затим очекивана учесталост или укупни број отказа компоненти (Cumulative Number of Component Failures – CNF) на 100 или 1000 компоненти (CNF/100 или CNF/1000), у току пројектованог радног века компоненте обухваћене истраживањем. Пројектовани радни век у системској FMEA представља циљ трајности компоненте. Специфична карактеристика овог циља зависиће од компоненте.

Табела 3.2 Критеријуми за вредновање фактора ризика појаве отказа

Вероват. појаве отказа	Критеријуми		Вредност фактора ризика R_1
	Описни	Оријентациона учесталост	
Никаква	Није вероватно да ће доћи до отказа у радном веку производа. При развојним испитивањима и у експлоатацији сличних конструкционих решења нису регистровани откази.	0	1
Мала	Може се очекивати појава отказа у занемарљивом броју. Конструкција је аналогна ранијим решењима код којих се јавио релативно мали број отказа.	1 од 20.000 1 од 10.000	2 3
Средња	Реално се може очекивати појава отказа. При развојним испитивањима и у експлоатацији сличних конструкционих решења регистровани су проблеми, али не у већем обиму.	1 од 2.000 1 од 1.000 1 од 200	4 5 6
Велика	Очекује се појава отказа у већем обиму. Слична конструкциона решења позната су од раније као проблематична.	1 од 100 1 од 20	7 8
Веома велика	Отказ се јавља у обиму који дисквалификује конструкционо решење. У експлоатацији сличних производа и/или при развојним испитивањима јавља се неприхватљиво велики број отказа.	1 од 10 1 од 2	9 10
Напомена: Ако при вредновању фактора ризика дође до неслагања око оцене фактора ризика, користити упутство дато у табели 3.1.			

Други начин да се дефинише пројектовани радни век је циљни период или корисни радни век, после ког се компонента одбацује зато што престаје да функционише како је пројектовано (стално хабање). Разлози за одбацивање су велика оштећеност компоненте и што је превише скупо да се то поправи. У овом случају, из разлога упоредивости, овај период мора да буде заједнички за све елементе система у оквиру једне FMEA [2].

Ако очекивана учесталост и/или CNF не могу да се процене, за системску FMEA је прихватљиво да се испитају слични или замењујући системи и/или компоненте јер обезбеђују сличне податке [5].

Генерално, системска FMEA функционише под претпоставком критичног отказа (другим речима, ако компонента откаже, откажеће и систем). Критични отказ је дефинисан као отказ компоненте који ће проузроковати отказ система и који није надокнађен нити умножавањем компоненти или система који се сматрају критичним у циљу повећања поузданости и осигурања од отказа, или неком другом алтернативном методом. На пример, поједини делови машинске опреме и веома оптерећене електричне инсталације које доста зависе од појединачних компоненти, обично могу бити избегнути коришћењем умножавања компоненти. У овом случају, инсталација дуплих каблова унутар јако оптерећене области са прикључцима спојеним на један од ова два кабла, може смањити последице у случају пробоја неког од каблова ако је пресечен.

При одређивању фактора ризика појаве отказа, проценом смеју да се обухвате само постојеће прикладне мере које треба да спрече настајање отказа [2]. Компоненте и/или системи идентификовани у завршној контроли као неусаглашени, не треба да утичу на промену оцене вероватноће настанка отказа.

На смањење фактора ризика појаве отказа може се утицати превентивним и корективним мерама у фази пројектовања производа усмереним на елиминисање узрока који доводи до отказа, контролисањем (праћењем) узрока отказа у току времена или минимизирањем његовог утицаја.

Методе откривања (17). Начин (процедура), испитивање или инжењерска анализа [5]. То су само неке од првостепених метода за откривање отказа у систему. Оне могу бити веома просте (Брејнсторминг) или веома стручне и напредне (Анализа коначних елемената, контрола пројекта, компјутерске симулације и лабораторијска испитивања). У оба случаја, пажња је усмерена на ефективност контролне методе/технике како би се проблем решио пре него што производ буде испоручен кориснику.

Циљ је да се открије недостатак пројекта што је раније могуће. Тај недостатак може да се посматра као слабост у систему да се открије, утврди и уклони проблем из самог система. Циљ раног откривања у системској FMEA је да се обезбеди успешна контрола пројекта.

Будући да се системска FMEA изводи веома рано, понекад је веома тешко проценити вредност вероватноће откривања отказа. У овом случају, могу се користити претходни подаци или слични типови података из сличних компоненти и/или система. У неким случајевима могуће је да не постоје методе испитивања или технике за одређивање отказа. У том случају, уношење података у ову колону би требало да изгледа овако: „Ниједан отказ тренутно није идентификован“.

Други начин концентрисања на откривање узрока отказа је коришћење Брејнсторминг технике како би се одредиле нове методе и испитивања које се односе на задатак. Два главна питања код брејнсторминг процеса су:

- Како се отказ може открити?
- На који начин се отказ може препознати?

Да би се одговорило на таква питања, контролна листа може бити од помоћи. Типична контролна листа пројектовања система би требала да покрије следеће:

- Опште:
 - дефинисани оперативни захтеви система;
 - утврђени фактори ефикасности;
 - дефинисано одржавање система.
- Елементи подршке:
 - обезбеђена опрема за тестирање и подршку;
 - обезбеђена обука запослених.
- Резервни делови и поправке;
- Карактеристике дизајна:
 - стандардизација;
 - заменљивост;
 - безбедност;
 - продуктивност ;
 - управљивост (руковање);
 - поузданост.

Вероватноћа откривања отказа (18). Вероватноћа откривања узрока отказа (ВОО) представља процену способности програма за проверу (верификацију) пројекта за откривање (детектовање) потенцијалних недостатака у конструкцији пре него што она буде пуштена у производњу [2].

Да би се одредила вредност вероватноће откривања отказа мора се проценити способност сваке од контрола које су одређене у пољу 17, другим речима, да ли су контроле одређене у овом пољу ефикасне за пројекат [5]. Ако је могућност контроле за откривање отказа непозната или вероватноћа откривања отказа не може бити процењена, онда би вредност вероватноће откривања отказа требала да буде 10.

Табела 3.3 Критеријуми за вредновање фактора ризика неоткривања узрока отказа

Веров. отк. узрока отказа	Критеријуми	Веров. откривања узрока отказа у %	Вредност фактора ризика R_3
Веома велика	Верификациони програм пројекта (број, врста и обим испитивања прототипова и компоненти) ће сигурно открити потенцијални узрок отказа.	> 99,99	1
Велика	Велика вероватноћа да верификациони програм пројекта доведе до откривања потенцијалног узрока отказа.	> 99,7	2 ÷ 5
Средња	Верификациони програм пројекта ће вероватно омогућити откривање потенцијалног узрока отказа.	> 98	6 ÷ 8
Мала	Мере за верификовање пројекта не дају довољно гаранције да ће потенцијални узрок отказа бити откривен.	> 90	9
Занемарљива	Верификациони програм пројекта не омогућава откривање потенцијалног узрока отказа или узрок отказа није обухваћен овим мерама или не постоји верификациони програм пројекта.		10
Напомена: Ако при вредновању фактора ризика дође до неслагања око оцене фактора ризика, користити упутство дато у табели 3.1.			

У прорачуну укупног ризика, у оквиру системске FMEA, вероватноћа откривања узрока отказа узима се у обзир преко фактора ризика неоткривања узрока отказа R_3 [2]. При одређивању вредности фактора ризика R_3 , претпоставља се да узрок отказа постоји и вреднује се деловање предвиђених мера за откривање тог узрока. Вредновање фактора ризика неоткривања узрока отказа у систему врши се према квалитативним и квантитативним критеријумима датим у табели 3.3. Ова табела представља само једну од варијанти критеријума који се најчешће срећу у предметној литератури.

Да би се добила боља оцена могућности откривања узрока отказа, мора се побољшати систем обезбеђења квалитета увођењем већег броја начина лабораторијских испитивања прототипова, компоненти и производа и повећањем броја делова за испитивање.

Индекс приоритета ризика (19). Сагледавањем карактеристика пројекта и квантитативном проценом фактора појаве, последица и неоткривања узрока отказа, уз помоћ индекса приоритета ризика – ИПП (Risk Priority Number – RPN), омогућена је идентификација слабих или ризичних места у процесу. Индекс приоритета ризика за све узроке потенцијалних начина отказа добија се множењем вредности фактора ризика појаве отказа R_1 , појаве последица отказа R_2 и неоткривања узрока отказа R_3 . Величина R , дефинисана на овај начин, показује релативан приоритет важности појединих узрока отказа. Сходно томе, следи закључак о неопходности примене FMEA поступка у фази развоја производа за рангирање и приоритетизацију превентивних и корективних активности.

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3$$

На овај начин израчунате вредности фактора ризика R упоређују се са критичним вредностима $R_{\text{крит}}$, које одређује FMEA тим договорно, користећи табелу 3.4.

Табела 3.4 Оцена укупног ризика

Редни број	Оцена	Укупни ризик ИПР
1	Низак	$1 \div 50$
2	Средњи	$50 \div 100$
3	Висок	$100 \div 200$
4	Критичан	$200 \div 1.000$

Ако су појединачне вредности свих узрока начина отказа компоненти $R < R_{\text{крит}}$, разматрано решење има оцену задовољавајуће. У супротном, за све потенцијалне узроке начина отказа, чије су вредности $R > R_{\text{крит}}$, неопходно је предложити и реализовати одговарајуће превентивне или корективне мере у циљу смањења појединих или свих вредности фактора ризика R_1, R_2, R_3 . При дефинисању и спровођењу ових мера, приоритет треба дати начинима отказа компоненти и њиховим узроцима који имају највећу вредност R .

Претходно наведени начин извођења закључака у вези приоритетизације предузимања мера за побољшање квалитета система у оквиру FMEA поступка, често се користи у пракси. Међутим, постоје суштински недостаци у оваквом приступу, како у погледу израчунавања укупног ризика, тако и у начину интерпретације резултата. На пример, начин отказа са малом вероватноћом појаве отказа, веома великом тежином последице отказа и великом вероватноћом благовременог откривања узрока отказа (са вредностима фактора ризика 2, 9 и 3 респективно), има мању вредност индекса приоритета ризика ($R=54$) од начина отказа, чије су све вредности фактора ризика умерене (4, 5 и 6 респективно дајући вредност $R=120$), иако би требало да има већи приоритет за предузимање превентивних или корективних мера. Због тога, при оцени критичности, тј. при одређивању приоритета предузимања мера за отклањање уочених недостатака, поред израчунате вредности R , неопходно је користити:

- допунску табелу 3.5 са оријентационим вредностима $R_{\text{крит}}$ у зависности од тежине последица отказа;
- допунску табелу 3.6 за оцену решења када поједини фактори ризика узимају граничне вредности и
- критеријуме за одређивање редоследа разматрања критичности начина отказа.

У зависности од значајности последица отказа, према табели 3.1, у табели 3.5 дат је предлог критеријума за одређивање оријентационих вредности $R_{\text{крит}}$ за оцену пројектних решења, тзв. границе интервенције, када се обавезно предузимају превентивне или корективне мере. Поред датих препорука, за одређивање $R_{\text{крит}}$ вођа FMEA тима треба да узме у обзир и класе функционалности производа. На пример, ако постоје три класе функционалности производа са ознаком I, II и III, при чему су са I означене најзначајније функције. За начине отказа елемената са класом функционалности I не би требало одступати од препоручених граничних вредности. За начине отказа са класом функционалности II и III могу се усвојити респективно и нешто веће вредности за границе интервенције. Треба нагласити да тим који спроводи FMEA има право да на основу сопственог експертског знања у конкретном случају одлучи о границама интервенције.

Табела 3.5 Оријентационе вредности граница интервенција у зависности од тежине последица отказа

Тежина последица	Вредност фактора ризика R_2	Критична вредност ризика $R_{\text{крит}}$
Занемарљива и мала	$1 \div 3$	≥ 150
Средња	$4 \div 6$	≥ 120
Велика	$7 \div 8$	≥ 100
Веома велика	$9 \div 10$	≥ 40

Ако фактори ризика имају екстремне вредности, за доношење одлуке о дефинисању и предузимању превентивних или корективних мера могу послужити груби критеријуми дати у табели 3.6.

Табела 3.6 Груби критеријуми за оцену решења

Вред. фактора ризика			Оцена решења	Корективне мере
R_1	R_2	R_3		
1	1	1	Решење у потпуности задовољава. Идеалан случај.	Не
1	1	10	Поуздано и сигурно решење.	Не
1	10	1	Поуздано али и потенцијално опасно решење са последицама отказа које не стижу до корисника.	Не
10	1	1	Непоуздано решење са занемарљивим последицама отказа. Доводи до великих интерних трошкова	Да
1	10	10	Веома велика тежина последица отказа које сигурно стижу до корисника.	Да
10	1	10	Честа појава отказа са последицама мале тежине које стижу до корисника.	Да
10	10	1	Честа појава отказа веома велике тежине последица које не допиру до корисника.	Да
10	10	10	Незадовољавајуће решење у сваком погледу.	Да

Разматрање критичности начина отказа треба да се врши следећим редоследом:

1. начин отказа има последицу са рангом тежине 9 или 10;
2. производ фактора ризика појаве отказа R_1 и фактора ризика последица отказа R_2 већи је од критичне вредности одређене договором чланова FMEA тима и
3. вредност индекса приоритета ризика R је већа од критичне вредности усвојене договором FMEA тима.

Критична вредност ризика, према овом приступу, у највећој мери зависи од фактора ризика последица отказа. На основу претходног, при предлагању превентивних или корективних мера, на првом месту треба ставити смањење критичних вредности фактора ризика појаве последица отказа. После тога, разматрају се узроци отказа који доводе до неприхватљивог обима појаве отказа, и на крају разматрају се начини отказа, тј. њихови узроци чије су вредности фактора ризика R_3 екстремне.

Препоручене мере (20). Ни једна FMEA метода не би требало да буде рађена без препоручених мера. Препоручена мера може бити нека посебна мера или даље проучавање проблема. Идеја препоручене мере у системској FMEA је да се смањи вредност тежине последица, вероватноће појаве и вероватноће откривања отказа или све ове мере заједно.

Како би се овај циљ омогућио, FMEA тим мора да да првенство тим начинима отказа са највећим ИИПР, са највећом тежином, највећом учесталосту.

Опште препоруке су:

- нема мера у овом тренутку;
- додати уграђене уређаје за откривање;
- обезбедити алтернативе за систем;
- додати резервни (паралелни) подсистем.

Препоручене мере могу бити превентивне или корективне. Превентивне мере се дефинишу као активности које се предузимају да би се елиминисали узроци потенцијалних неусаглашености, а корективне мере као активности које се предузимају да би се елиминисали узроци постојећих неусаглашености са циљем да се спречи њихова поновна појава [2].

Процес реализације превентивних мера мора да обухвати најмање следеће тачке:

- идентификацију потенцијалних неусаглашености производа и/или услуге и процеса;
- анализу узрока потенцијалних неусаглашености производа и/или услуге, процеса и система управљања квалитетом, као и евидентирање резултата;
- дефинисање превентивних мера које су неопходне у циљу елиминисања узрока потенцијалних неусаглашености;
- реализацију потребних превентивних мера и
- накнадне мере којима се обезбеђује ефективност и евидентирање реализованих превентивних мера, као и њихово достављање руководству у циљу преиспитивања.

На сличан начин дефинише се и процес реализације корективних мера, само што су потенцијалне неусаглашености замењене постојећим неусаглашеностима.

Суштина примене FMEA поступка у фази развоја производа је да FMEA тим, на основу темељне анализе разматраног пројекта, одреди ризична места у њему и предложи одговарајуће мере за побољшање са циљем потпуног или делимичног елиминисања уочених недостатака. И најбоље спроведена анализа је некомплетна уколико не резултује потребним активностима за побољшање квалитета производа.

Сврха увођења превентивних и корективних мера је да се смањењем могућности појаве отказа (елиминацијом или контролисањем узрока отказа) и/или смањењем значајности последица отказа и/или повећањем могућности откривања узрока отказа изврши побољшање пројекта.

При дефинисању мера за побољшање квалитета производа, анализом појединачних вредности фактора ризика могуће је одредити оптималан начин за смањење фактора укупног ризика. На пример, ако је могућност откривања узрока отказа велика, бесмислено је уводити додатне контролне мере, јер су постојеће већ успешне или, ако је значајност последица отказа мала, нема потребе мењати концепцију конструкције, јер је постојеће решење у том погледу задовољавајуће. Превентивне и корективне мере треба да су такве да се са минималним улагањем на најбржи начин дође до задовољавајућих резултата.

У табели 3.7 дат је приказ могућег утицаја превентивних и корективних мера на факторе ризика у наведеним областима.

Табела 3.7 Могућност утицаја превентивних и корективних мера на факторе ризика

Превентивне и корективне мере у области	Утицај на факторе ризика		
	R_1	R_2	R_3
Пројектовања производа	x	x	x
Пројектовања технологије	o	x	x
Контролисања и испитивања	o	o	x
Легенда: x - утиче на промену фактора; o - не утиче на промену			

Избор превентивних и корективних мера из скупа могућих решења и дефинисање редоследа примене може се извршити на основу резултата груписања и рангирања ових мера по:

- ефектима примене са аспекта функционалности, поузданости, безбедности;
- дужини трајања припремне фазе за њихово спровођење;
- потребним новчаним средствима и другим ангажованим ресурсима итд.

Превентивне и корективне мере морају да буду јасно и сажето дефинисане. Непожељне су формулације општег типа. За спровођење усвојених мера, за сваку меру морају да се одреде:

- носилац активности (морају му се дати и одговарајућа овлашћења);
- рокови и
- потребна средства.

У случају предложених мера, које изискују релативно велике трошкове и знатно време за реализацију, пожељно је дефинисати алтернативна решења.

Верификација ефеката превентивних и корективних мера врши се понављањем поступка вредновања фактора ризика критичних начина отказа и израчунавањем нових вредности индекса приоритета ризика. Ако препоручене мере нису у потпуности реализоване или нису резултирале потребним смањењем, како појединачних, тако и укупног фактора ризика, FMEA се сматра отвореном (незакљученом).

За све узроке потенцијалних начина отказа за које су задовољени критеријуми усвојени од FMEA тима за граничне вредности фактора ризика, у колони за превентивне или корективне мере оставља се празно место или се уписује "Не".

Образац за FMEA представља документ у који се уписују сталне измене, које се спроводе у оквиру превентивних и корективних мера. Тиме је омогућено праћење активности на решавању проблема уочених у фази развоја производа.

Појединац/област одговорности и датум завршетка поступка (21). Одредити одговорно лице/област и крајњи датум завршавања препоручених мера [5].

Предузете мере (22). Ово су настављене мере. Ако је нешто препоручено то не значи да је и одрађено. Неопходно је да појединац (обично пројектант система) примењује мере по препорукама како би видео да ли су оне одговарајуће, правилне и/или им је потребно побољшање.

Упамтити да су све FMEA методе "живи документи" и они као такви се морају редовно ажурирати од стране одговорног лица. Често је за овај поступак одговоран пројектант система. Та особа има задатак да се увери да ли је системска FMEA стварно „живи“ документ и да ли одражава последње битне информације.

После предузимања мера, крајњи рок односно завршни датум са кратким описом предузете мере треба записати или унети у образац.

Преправљен индекс приоритета ризика (23). Пошто су мере укључене у систем, FMEA тим мора поново проценити последице тежине, појаве и откривања отказа. Резултате би требало да прегледа FMEA тим и да поново израчуна индекс приоритета ризика, а затим да рангира отказе. Овај процес се понавља све док FMEA тим не одлучи да су сви релевантни подаци обухваћени. Уколико никакве мере нису предузете, ове рубрике остају празне.

Потпис одговорног лица (24). Одређује надлежност за реализовање FMEA методе. Имена и функције особа које ће бити укључене у FMEA анализу зависе од организације. Типични потписи могу бити од стране пројектанта система, руководиоца задуженог за истраживања и развој и техничког руководиоца.

Потпис сагласног лица (25). Одређује одговорност за спровођење и комплетирање FMEA методе. Имена и функције особа које ће бити укључене у FMEA анализу зависе од организације. Типични потписи могу бити од стране руководиоца задужених за конструисање, производњу и контролу квалитета.

3.2 Препоручен састав FMEA тима за системску FMEA

Тим је неопходан за спровођење системске FMEA. Састав FMEA тима би требао да садржи од 5 до 9 чланова. Као додатак, сви чланови FMEA тима морају да учествују у решавању проблема. Састав FMEA тима је следећи:

- системски инжењер (обавезно);
- инжењер задужен за поузданост;
- инжењер задужен за тестирања;
- конструктор (обавезно);
- представник маркетинга.

У друге препоручене сараднике могу да се уброје:

- инжењер задужен за квалитет;
- инжењер задужен за материјале;

- инжењер задужен за процес;
- инжењер задужен за одржавање у експлоатацији;
- представник из области истраживања и развоја;
- производни инжењер.

Тим се саставља како би се олакшао поступак извођења FMEA методе и како би се задовољиле потребе и технички захтеви предузећа.

Мора се бити свестан чињенице да се у стварности, пројектовање система готово никад не приведе крају. Генерално, да би се идентификовала ограничења у пројектовању, пројектовање система се спроводи у веома раној фази развоја производа. Није необично, да у време када тим дође до тачке где би требали да се идентификују узроци отказа, системска FMEA може бити или прекинута или може прећи у функцију пројектне FMEA. У том тренутку пројекта FMEA предузима даље кораке.

4. ПРИМЕР ПРИМЕНЕ FMEA МЕТОДЕ

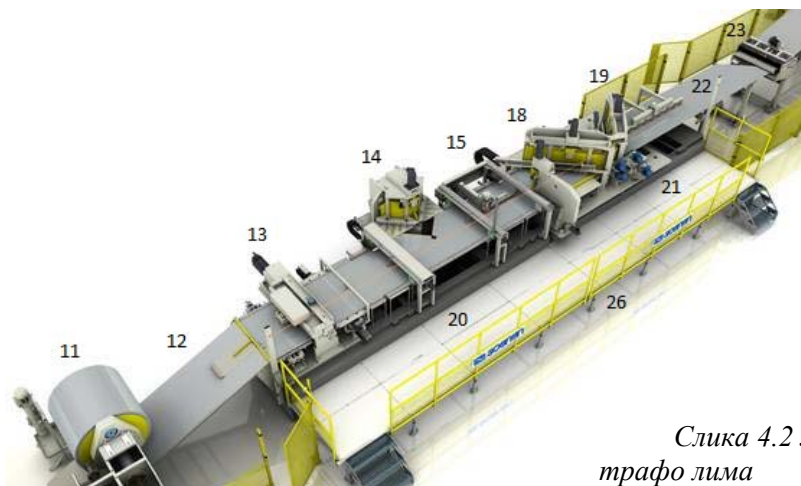
4.1 Принцип функционисања линија за попречну обраду трафо лима

Линије за попречну обраду трансформаторског лима се одликују високом тачношћу и прецизношћу обрађених комада, као и високом продуктивношћу израде, до 3 табле у секунди [24].

Припремак је у виду лима намотаног у котуре, који се постављају на одмотавач. Он контролисано додаје лим преко уводне рампе (на којој се налазе електромагнетни сензори, који служе за контролу протока материјала) и путем уводника прецизно се усмерава на обраду. Уводник садржи гумиране ваљке и мерни точак, чиме се гарантује прецизно додавање материјала, са корекцијом брзине по потреби, и без оштећења површине обратка – лима, што је приоритет јер управо силикатна превлака на лиму обезбеђује његову улогу у трансформаторима. Из додавача лим даље путује на попречну обраду у виду пробијања отвора, изрезивања V сегмента и опсецање под угловима од 45, 90 и 135 степени, све у циљу добијања тачних димензија и облика при паковању лимова у компактну целину – стуб трансформатора – језгро. Размештај алата (пробојаца, маказа и V-маказа), као и њихов број, зависи од концепције линије и максималних димензија финалног производа. По завршетку попречне обраде, лим се транспортује специјалним зупчастим ремењем (гумираном подлогом), уклања са радног стола и распоређује на одговарајуће подлоге (или шиљке, на претходно пробијене отворе).

Линија за попречну обраду трафо лима се састоји из следећих подсклопова (Слика 4.1, 4.2):

- | | |
|-------------------|-----------------------|
| 11 – Одмотавач | 20 – Радни сто машине |
| 12 – Уводна рампа | 21 – Излазна група |
| 13 – Додавач | 22 – Излазни сто |
| 14 – V-маказе | 23 – Сортирна рампа |
| 15 – Пробојац | 24 – Слагач |
| 18 – Маказе 1 | 25 – Вагон |
| 19 – Маказе 2 | |

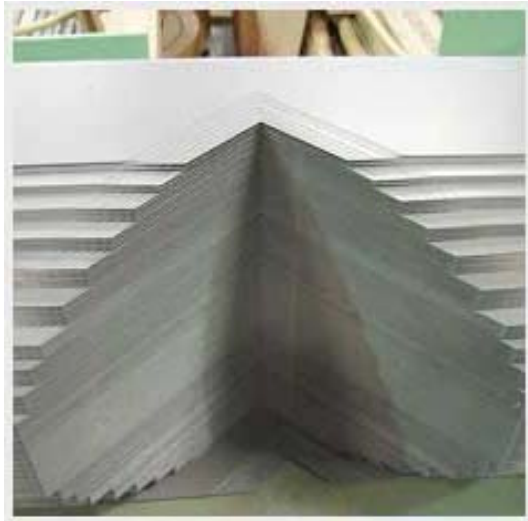


Слика 4.1 Линија за попречну обраду трафо лима

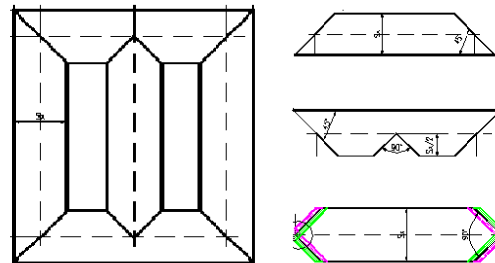
Слика 4.2 Линија за попречну обраду трафо лима



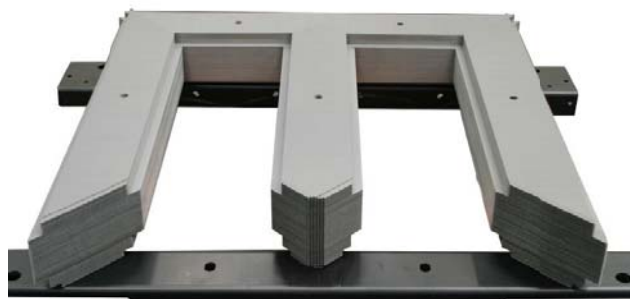
Готови лимови се одвозе вагонима, који се крећу испод рампе за слагање, и на њихово место наизменично долазе празни вагони, прихватајући нове количине, док се са пуних преузимају лимови и спремају за формирање језгара.



Слика 4.3 Језгро трансформатора



Даљим склапањем, у целине приказане на сликама, добијају се језгра трансформатора (слика 4.3), готов производ.



4.2 FMEA анализа линије за попречну обраду трафо лима

У овом раду ће бити приказана *FMEA безбедности* линије за попречну обраду трафо лима. Циљ ове анализе је да се изменом конструкције, процеса изврши побољшање пројекта, процеса и смањи могућност појаве инцидента и тежине његових последица. Пажња је првобитно усмеравана на утицај процеса рада машине на безбедност корисника. Анализу је спровео тим пројектних инжењера- конструктора, док је за вођу тима изабран инжењер производње.

Након идентификовања свих могућих узрока отказа приступило се спровођењу FMEA анализе како би се оценило колико су опасни поједини узроци, односно колико су тешке последице појединих узрока. За правилно спровођење FMEA анализе, било је потребно дефинисати начин оцењивања појединих вредности које FMEA захтева (табеле које ће омогућити доследно понављање оцењивања појединих вредности, као што је нпр. вероватноћа појаве инцидента). Табела 4.1 је коришћена за вредновање фактора ризика вероватноће појаве инцидента (ВПИ), тј. за преводње процене вероватноће у нумеричке вредности. Када је процес идентификовања опасности завршен било је потребно установити какав утицај свака од идентификованих опасности има на безбедност корисника и околине. За вредновање фактора ризика тежине последице инцидента (ТПИ) коришћена је табела 4.2.

Табела 4.1 Критеријуми за вредновање фактора ризика вероватноће појаве инцидента

Вероватноћа појаве инцидента	Опис	Вредност фактора Ризика ВПИ
Никаква	Не постоји могућност појаве инцидента	0
Веома мала	Није вероватно да ће доћи до појаве инцидента	1
Мала	Могућност појаве инцидента је занемарљива	2
Приближно средња	Постоји вероватноћа да ће доћи до појаве инцидента	3-4
Средња	Може се очекивати појава инцидента	5
Приближно велика	Реално се може очекивати појава инцидента	6-7
Велика	Појава инцидента је готово извесна	8
Веома велика	Појава инцидента је извесна	9
Сигурна	Појава инцидента је сигурна	10

Табела 4.2 Критеријуми за вредновање фактора ризика тежине последица инцидента

Тежина последица инцидента	Опис	Вредност фактора ризика ТПИ
Никаква	Инцидент не утиче на безбедност корисника и околине	0
Веома мала	Веома је мала вероватноћа да ће инцидент угрозити безбедност корисника	1
Мала	Мала је вероватноћа да ће инцидент угрозити безбедност корисника	2
Приближно средња	Инцидент незнатно може да утиче на безбедност корисника	3-4
Средња	Инцидент може да изазове мање повреде корисника	5
Приближно велика	Инцидент доводи до повреде корисника	6-7
Велика	Инцидент у озбиљној мери угрожава живот корисника	8
Веома велика	Инцидент готово сигурно угрожава живот корисника	9
Катастрофална	Инцидент сигурно угрожава живот корисника	10

Када су идентификоване табеле које служе за квантификовање вероватноће и последица, приступило се израчунавању индекса приоритета ризика (ИПР), који се добија множењем фактора вероватноће појаве инцидента и тежине последица инцидента. Након чега је било неопходно дефинисати границу прихватљивости ризика. У ту сврху коришћена је табела 4.3. Тамно-сива поља представљају неприхватљив ризик, светло-сива поља представљају ризик који је потребно пратити како не би дошло до непријатних изненађења, док поља представљена белом бојом представљају занемарљив ризик.

Овом анализом није обухваћен фактор вероватноће откривања отказа (инцидента), из разлога што су инциденти обухваћени овом анализом последица непажње руковооца машином или последица изненадних отказа у процесу рада машине на које није могуће утицати.

Табела 4.3 Границе прихватљивости ризика

10										
9										
8										
7										
6										
5										
4										
3										
2										
1										
ВПИ ТПИ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Заштитне мере

Користећи резултате добијене овом анализом, прецизно су дефинисани поступци који ће елиминисати/облажити последице критичног узрока инцидента:

Простор око одмотавача:

Одмотавач је ограда сигурносним оградама. Капија која се налази са задње стране одмотавача је направљена тако да је могуће поставити котур на слободну главу одмотавача чак и када је машина у аутоматском режиму рада. Приликом постављања котура на главу, окретање ове главе је онемоућено у циљу безбедног постављања котура. Испред улазног стола су предвиђене ниске ограде које требају да обезбеде простор око главе одмотавача која је у функцији у току аутоматског режима рада.

Капија са предње стране је предвиђена за постављање котура на главу одмотавача али само када је машина заустављена. Када се машина заустави, на сигналној лампи која се налази на капији упалиће се зелено светло, што значи да је капија откључана и приступ је дозвољен.

Простор око алата:

Светлосна завеса је предвиђена за предњу страну машине, у тренутку када је сноп светлости прекинут, машина се аутоматски зауставља. Сигурносни кабл је такође предвиђен са предње стране алата. Он ради на истом принципу као и сваки сигурносни тастер за стопирање рада машине. У тренутку повлачења сигурносног кабла сви мотори ће се зауставити и њихово поновно стартовање је могуће само након тога што се на главном контролном деску притисне дугме за ресетовање.

Сто за сортирање:

Сто за сортирање је са свих страна окружен сигурносним оградама. Врата са сигурносном бравом су предвиђена за обе стране. Када се машина заустави, на сигналној лампи која се налази на вратима упалиће се зелено светло, што значи да су врата откључана и приступ је дозвољен.

Када су ова врата отворена онемоућено је стартовање мотора који се налазе у овој области, што значи да је кретање транспортних трака на излазном столу и на столу за сортирање онемоућено.

Одлагање отпада:

Одлагање отпада је могуће само када је машина заустављена. Око контејнера за отпад су предвиђене ограде са сигурносним бравама. За време рада машине све браве су закључане, што значи да у току рада машине није могуће приступити зони опасности. Да би се приступило овој зони, неопходно је да се заустави рад машине. Када су мотори угашени браве ће се откључати

и тада нам је приступ овој области омогућен. Сигурносно дугме за заустављање ће бити активно док год су ова врата отворена.

Контејнери за отпад су са обе стране обезбеђени светлосном завесом, што значи да и пре него што им се приђе, машина ће се зауставити.

Вагони за слагање лима:

Сви вагони су опремљени лимит прекидачима, њима је обезбеђен распон кретања ових вагона, у случају да вагон из неког ралога крене ван његовог дозвољеног поља кретања, ови прекидачи ће се активирати и мотори на погону вагона ће се аутоматски зауставити. За време аутоматског режима рада машине, кретање између вагона је изричито забрањено. Препоручено је да се зона опасности око вагона обележи тракама на поду.

На самом вагону су са обе стране постављене сигурносне ограде чије је подизање и спуштање обезбеђено путем пнеуматских цилиндара. Ове ограде се могу спустити само када се вагони налазе у зони предвиђеној за истовар или када је рад саме машине заустављен. Вагоне је немогуће померити док се ове ограде налазе у доњем положају.

У наставку рада су приказани резултати спроведене FMEA анализе.

ТЕМЕЉ										
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ	ИПР
Пад преко шина за вагоне	Шине	Повреда оператора	4	3	12	Врх шине мора бити у равни са подом	Купац	1	3	3
Пад у канал предвиђен за електро-каблове	Канал за електро-каблове	Повреда оператора	4	3	12	Сви канали морају бити покривени	Купац	0	3	0

ОДМОТАВАЧ										
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ	ИПР
Стезање котура на одмотавачу	Отварање главе одмотавача	Повреда оператора	2	9	18	Поставити заштитну ограду око одмотавача	Произвођач	1	9	9
Повреда приликом окретања главе одмотавача	Окретање главе одмотавача	Повреда оператора	2	5	10	Око одмотавача поставити заштитну ограду са сигурнским бравама. Отворена врата=онемогућено окретање главе одмотавача	Произвођач	0	5	0
Повреда од лима	Постављање лима у позицију	Повреда оператора	6	5	30	Морају се носити заштитне рукавице	Купац	1	3	3
Повреда од зупчастог пара	Одмотавање котура	Повреда оператора	2	9	18	Поставити заштиту око зупчастог пара	Произвођач	0	9	0
Губитак силе стезања	Губитак притиска у хидраулици	Повреда оператора	3	10	30	Прекидачи за очување притиска	Произвођач	1	10	10
						Око одмотавача поставити заштитну ограду са сигурнским бравама. Отворена врата=онемогућено окретање главе одмотавача				

ОДМОТАВАЧ										
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ	ИПР
Откључавање позиције глава одмотавача	Нестанак струје	Повреда оператора	2	5	10	Користити бистабилне вентиле	Произвођач	0	5	0
	Откључавање услед вибрација					Механички уређај за забрављивање				
	Губитак притиска у хидраулици					Користити бистабилне вентиле				
Пуцање црева и цеви високог притиска	Висок притисак	Повреда оператора	2	10	20	Користити црева и цеви са високим фактором безбедности	Произвођач	1	10	10

УЛАЗНА РАМПА										
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ	ИПР
Повреда од лима	Постављање лима у позицију	Повреда оператора	6	5	30	Морају се носити заштитне рукавице	Купац	1	3	3
						Поставити заштитну ограду око улазног стола	Произвођач			
Слушање држача лима	Постављање лима у позицију	Повреда оператора	2	3	6	Дугме за ову команду мора бити ван зоне опасности	Произвођач	0	3	0
Изненадни пад држача лима	Нестанак струје	Повреда оператора	2	3	6	Користити неповратне вентиле	Произвођач	1	3	3
Пуцање пнеуматског црева	Висок притисак	Повреда оператора	2	3	6	Користити црева и цеви са високим фактором безбедности	Произвођач	1	3	3
						Сигурносни вентил за притисак				

ВОЋИЦЕ ЛИМА И РОЛЕРИ ДОДАВАЧА									
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ
Повреда од лима	Постављање лима у позицију	Повреда оператора	6	5	30	Морају се носити заштитне рукавице	Купац	1	3
						Дугме за ову команду мора бити ван зоне опасности	Произвођач		
Судар вођица лима	Подешавање вођица	Повреда оператора	2	7	14	Контролне команде морају бити постављене ван зоне опасности	Произвођач	0	7
						Светлосна завеса за аутоматско стопирање			
Повлачење између ролера додавача	Окретање ролера додавача	Повреда оператора	3	7	21	Мали размак између ролера додавача	Произвођач	1	3
						Светлосна завеса за аутоматско стопирање			
Укљештење између ролера додавача	Затварање ролера додавача	Повреда оператора	3	7	21	Одаљити команду за спуштање ролера	Произвођач	0	9
						Мали размак између ролера додавача			
						Светлосна завеса за аутоматско стопирање			
Повреда услед ротирања спојница на погону ролера додавача	Додавање лима	Повреда оператора	2	7	14	Поставити заштиту око спојница	Произвођач	0	7
Повреда од зупчастог пара на погону ролера додавача	Додавање лима	Повреда оператора	2	7	14	Поставити заштиту око зупчастог пара	Произвођач	0	7
						Светлосна завеса за аутоматско стопирање			
Пуцање пнеуматског црева	Висок притисак	Повреда оператора	1	5	5	Користити црева и цеви са високим фактором безбедности	Произвођач	1	2
						Сигурносни вентил за притисак			

ПРОБОЈАЦ										
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ	ИПР
Повреда на погону за померање рама	Померање рама	Повреда оператора	2	9	18	Постављена је заштита око погона	Произвођач	0	9	0
Повреда од алата	Пробијање	Повреда оператора	2	9	18	Мали размак између алата	Произвођач	1	3	3
						Мали ход пробојца				
Укљештење између рама пробојца и амортизера	Померање рама пробојца	Повреда оператора	1	7	7	Светлосна завеса за аутоматско стопирање	Произвођач	0	7	0
						Дугме за манипулацију је постављено ван зоне опасности				
Укљештење између вођица лима	Подешавање вођица лима	Повреда оператора	1	5	5	Светлосна завеса за аутоматско стопирање	Произвођач	0	5	0
						Дугме за манипулацију је постављено ван зоне опасности				
Повреда на погону за подешавање вођица лима	Подешавање вођица лима	Повреда оператора	1	5	5	Постављена је заштита око погона	Произвођач	0	5	0
Повреда од навојних вретена	Подешавање вођица лима	Повреда оператора	1	5	5	Навојна вретена су смештена унутар рама	Произвођач	0	5	0
						Дугме за манипулацију је постављено ван зоне опасности				
Повреда од неконтролисаног летења отпадног лима	Пробијање	Повреда оператора	3	3	9	Сав отпад се одводи каналима	Произвођач	1	3	3

V-МАКАЗЕ										
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ	ИПР
Повреда на погону за померање рама	Померање рама	Повреда оператора	2	9	18	Постављена је заштита око погона	Произвођач	0	9	0
Повреда од алата	Сечење	Повреда оператора	2	9	18	Мали размак између алата	Произвођач	1	3	3
						Мали ход горњих ножева				
						Светлосна завеса за аутоматско стопирање				
Укљештење између рама V-маказа и амортизера	Померање рама V-маказа	Повреда оператора	1	7	7	Дугме за манипулацију је постављено ван зоне опасности	Произвођач	0	7	0
						Светлосна завеса за аутоматско стопирање				
Укљештење између вођица лима	Подешавање вођица лима	Повреда оператора	1	5	5	Дугме за манипулацију је постављено ван зоне опасности	Произвођач	0	5	0
						Светлосна завеса за аутоматско стопирање				
Повреда од неконтролисаног летења отпадног лима	Сечење	Повреда оператора	3	3	3	Сав отпад се одводи каналима	Произвођач	1	3	3

МАКАЗЕ 1									
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ
Повреда од алата	Сечење	Повреда оператора	2	9	18	Мали размак између алата	Произвођач	1	3
						Мали ход горњег ножа			
						Светлосна завеса за аутоматско стопирање			
Укљештење између рама маказа и амортизера	Померање рама маказа	Повреда оператора	1	7	7	Дугме за манипулацију је постављено ван зоне опасности	Произвођач	0	7
						Светлосна завеса за аутоматско стопирање			
Повреда од неконтролисаног летења отпадног лимма	Сечење	Повреда оператора	3	3	9	Сав отпад се одводи каналима	Произвођач	1	3
Укљештење између ролера	Затварање ролера за одвод лимма	Повреда оператора	1	5	5	Мали размак између ролера	Произвођач	0	5
						Пнеуматски цилиндар са малим кораком			
						Светлосна завеса за аутоматско стопирање			
Повреда на погону ролера	Извлачење лимма	Повреда оператора	1	7	7	Постављена заштита око погона	Произвођач	0	5
							Произвођач	0	0

МАКАЗЕ 2										
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ	ИПР
Повреда од алата	Сечење	Повреда оператера	2	9	18	Мали размак између алата	Произвођач	1	3	3
						Мали ход горњег ножа				
						Светлосна завеса за аутоматско стопирање				
Повреда од неконтролисаног летења отпадног лима	Сечење	Повреда оператера	3	3	9	Сав отпад се одводи каналима	Произвођач	1	3	3
Укљештење између ролера	Затварање ролера за одвод лима	Повреда оператера	1	5	5	Мали размак између ролера	Произвођач	0	5	0
						Пнеуматски цилиндар са малим кораком				
						Светлосна завеса за аутоматско стопирање				
Повреда на погону ролера	Извлачење лима	Повреда оператера	1	7	7	Постављена заштита око погона	Произвођач	0	5	0
Ударац од покретне вођице лима	Подешавање вођица лима	Повреда оператера	1	5	5	Дугме за манипулацију је постављено ван зоне опасности	Произвођач	0	5	0
						Светлосна завеса за аутоматско стопирање				

ИЗЛАЗНИ СТО										
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ	ИПР
Повреда од транспортне траке	Кретање транспортне траке	Повреда оператора	2	5	10	Постављена сигурносна светлосна завеса	Произвођач	1	5	5
						Каишеви су постављени у средини рама				
						Дугме за манипулацију је постављено ван зоне опасности				
Повреда на погону транспортне траке	Кретање транспортне траке	Повреда оператора	3	5	15	Дугме за манипулацију је постављено ван зоне опасности	Произвођач	0	5	0
						Постављена је заштита око погона каишева				
Повреда од погонске осовине	Кретање транспортне траке	Повреда оператора	3	5	15	Постављена заштита око погонске осовине	Произвођач	0	5	0
Судар вођица	Подешавање вођица лима	Повреда оператора	2	7	14	Дугме за манипулацију је постављено ван зоне опасности	Произвођач	1	7	7
						Светлосна завеса за аутоматско стопирање				
Повреда приликом спуштања ролера, умиривача	Спуштање ролера, умиривача	Повреда оператора	3	3	9	Дугме за манипулацију је постављено ван зоне опасности	Произвођач	0	3	0
Подизање ролера, умиривача	Нестанак струје	Повреда оператора	2	7	14	Доњи положај ролера је неутралан положај	Произвођач	1	7	7
	Губитак притиска у пнеуматској инсталацији									

СТО ЗА СОРТИРАЊЕ										
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ	ИПР
Повреда од транспортних трака	Транспортивање лима	Повреда оператора	3	5	15	Каишеви су постављени у средини рама	Произвођач	0	5	0
						Дугме за манипулацију је постављено ван зоне опасности				
						У случају да је сигурносна ограда отворена немогуће је стартовати моторе				
						Област је ограђена сигурносним оградама				
Повреда на месту погона транспортних трака	Транспортивање лима	Повреда оператора	3	5	15	Постављена је заштита око погона каишева	Произвођач	0	5	0
		Погонска осовина је постављена унутар рама								
Излетање лима	Аутоматски мод рада	Повреда оператора	3	7	21	Конвејери и сто за сортирање су ограђени	Произвођач	0	7	0

СЛАГАЧ										
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ	ИПР
Повреда од отпада	Отпад се транспортује све до краја конвејера	Повреда оператера	2	7	14	Ова област је обележена као зона опасности и припоком аутоматског мода рада приступ јој је забрањен	Купац	0	7	0
Повреда на месту погона транспортних трака	Транспортовање лима	Повреда оператера	3	5	15	Постављена је заштита око погона каишева	Произвођач	0	5	0
						Погонска осовина је постављена унутар рама				
Повреда од транспортних трака	Транспортовање лима	Повреда оператера	3	5	15	Каишеви су постављени у средини рама	Произвођач	0	5	0
						Контролно дугме за манипулацију је постављено ван зоне опасности				
						Вагони онемогућавају приступ овој области				
Повреда система за скидање лима	Слагање лима	Повреда оператера	3	3	9	Систем за скидање лима је постављен унутар саме конструкције	Произвођач	1	3	3
						Овој области је забрањен приступ док је машина у аутоматском моду				

ВАГОНИ ЗА СЛАГАЊЕ ЛИМА									
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ
Удар вагона	Истовар исеченог лима	Повреда оператера	5	6	30	Лимит прекидачи, заустављају вагон на одређеној позицији	Произвођач	1	6
						Сигурносне ограде око вагона			
						Мала брзина кретања			
						Контролно дугме за манипулацију је постављено ван зоне опасности	Произвођач + Кулац		
						Приликом померања вагона овој области је забрањен приступ	Кулац		
						Означен под око зоне опасности	Кулац		
Излетање лима са вагона	Аутоматски мод рада	Повреда оператера	2	3	6	Померање вагона је могуће само ако су врата сигурносне ограде затворена	Произвођач	0	3
Повреда од погонских зупчаника на вагонима	Померање вагона	Повреда оператера	1	7	7	Зупчasti пар је заштићен самом конструкцијом вагона	Произвођач	1	3

КОНТЕЈНЕРИ ЗА ОТПАД										
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ	ИПР
Отпад лима	Одлагање отпада	Повреда оператора	5	5	25	Заштитна ограда са сигурносним бравама. Врата се могу отворити само када мотори не раде	Произвођач	0	5	0
						Заштитне наочаре и рукавице се морају носити приликом одлагања отпада	Купац			

ХИДРАУЛИЧНА ЈЕДИНИЦА										
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ	ИПР
Пуцање црева и цеви високог притиска	Висок притисак	Повреда оператора	2	10	20	Користити црева и цеви са високим фактором безбедности	Произвођач	1	10	10
Бука	Рад хидро-групе	Повреда оператора	2	3	6	Постављање хидро-групе на одговарајућој раздаљини од командног стола	Произвођач	1	3	3
						Компактне хидрауличне јединице које се укључују само када притисак падне испод одређеног нивоа	Произвођач			

ЕЛЕКТРО КАБИНЕТИ									
Опасности	Потенцијални узроци инцидента	Потенцијалне последице инцидента	ВПИ	ТПИ	ИПР	Препоручене мере	Одговорност	ВПИ	ТПИ
Напон	Рад машине	Повреда оператора	5	10	50	Онемогућен додир елемената под напоном	Произвођач	1	10
						Напелница са ознаком високог напона			
						Отварање електро-кабинета је могуће само специјалним кључем			
									10

5. ЗАКЉУЧАК

Разматрање отказа елемената машинских система и систематско евидентирање података о њима, представља извор врло важних информација за низ стручњака, а посебно за инжењере који раде у развоју нових производа. Анализа потенцијалних начина отказа елемената машинских и уопште техничких система у фази развоја спада у ред сложених и веома деликатних инжењерских задатака. Комплексност проблема огледа се у чињеници да треба предвидети не само могуће начине отказа система и његових делова, већ и међусобну условљеност отказа, узроке отказа, као и последице сваког појединачног начина отказа елемената на систем, особље и на околину. Често је потребно одредити мере за откривање и отклањање узрока отказа. За решавање проблема неопходан је тимски рад стручњака из различитих области, као и снажне базе података. Изразит значај овај задатак има код оних техничких система који непосредно или посредно угрожавају живот људи, као што је то случај у нуклеарној техници, ваздухопловству, ракетној и војној техници, моторним возилима итд.

Примена FMEA методе даје најбоље резултате у фази развоја производа, јер омогућава да се уз најмање трошкове отклоне узроци потенцијалних отказа елемената система, или да се смање последице отказа. Исто тако, ова метода са успехом може да се користи и за анализу отказа система и његових компоненти у експлоатацији. Одређивањем критичних елемената, који ограничавајуће делују на поуздан и сигуран рад система, добија се основа за предузимање мера у циљу побољшања квалитета производа. FMEA метода представља формални оквир за прикупљање и анализу података. У почетној фази развоја система спроводе се квалитативне анализе. У каснијим фазама развоја, након прикупљања потребних података, анализе попримају квантитативни карактер.

Највећа ефективност примене FMEA методе је у фази развоја машинских система. Међутим, због неодређености, тешко је у овој фази све детаље предвидети. Тек у реалним условима експлоатације добијају се одређене повратне информације о отказима и недостацима, које могу имати пресудан значај на побољшање квалитета производа. Континуално прикупљање података о отказима елемената машинских система у току експлоатације и њихова анализа омогућавају конструкцијске измене које повећавају поузданост а самим тим и квалитет производа.

По правилу, корисник треба да одреди како и у које сврхе користи FMEA у оквиру сопствене техничке дисциплине. Ова метода може да се користи самостално, или у комбинацији са другим методама као допуна или подршка у анализи поузданости. Потреба за FMEA може широко да варира од пројекта до пројекта.

Применом методе Анализе начина и последица отказа FMEA и њене проширене варијанте за анализу критичности отказа FMECA у фази пројектовања могу се одредити критични елементи разматраног машинског система, који ограничавајуће делују на поуздан и сигуран рад. На тај начин добијају се елементи на које треба обратити посебну пажњу при конструисању и испитивању.

Примена FMEA методе за идентификацију, утврђивање узрока и рангирање потенцијалних или стварних недостатака омогућава стално побољшавање квалитета производа и производних процеса, као и смањење трошкова узрокованих појавом грешака.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bertsche, B., *Reliability in automotive and mechanical engineering: determination of component and system reliability*, Springer-Verlag, Berlin, 2008.
- [2] Ћатић, Д., *Методе поузданости машинских система*, Машински факултет, Крагујевац, 2009.
- [3] Хоић, М., Завршни рад, Факултет стројарства и бродоградње, Загреб, 2007, http://www.cadlab.fsb.hr/download/studentski_projekti/1184657587-zavrnrirad-2007-matijahoi.pdf, приступљено 01.12.2011.
- [4] Шегудовић, Х., *Предности и недостаци метода за квалитативну анализу ризика*, Загреб, 2006, <http://www.infigo.hr/files/INFIGO-MD-2006-06-01-RiskAsses.pdf>, приступљено 19.01.2012.
- [5] Stamatis, D.H., *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*, American Society for Quality (ASQ), Milwaukee, WI, 2003.
- [6] Bowles, J.B., *Fundamentals of failure modes and effects analysis*, *Tutorial Notes Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 2003.
- [7] Добровић, Т.Р., *FMEA метода у управљању ризицима*, Загреб 2005.
- [8] Quality assurance, http://en.wikipedia.org/wiki/Quality_assurance, приступљено 09.1.2012
- [9] FMEA Пример, http://www.relex.com/products/whitepapers/art_fmea3.pdf, приступљено 17.1.2012.
- [10] Goddard, P.L., Davis, R., *Automated FMEA Techniques*, Rome air development center, RADC-TR-84-244, Griffiss AFB, NY, 1994
- [11] AIAG History Highlights, www.aiag.org/staticcontent/press/files/History_Highlights_2006.pdf приступљено 21.1.2012.
- [12] ***, JEP 131A, *Potential Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)*, JEDEC solid state technology association, Arlington, VA, 2005.
- [13] Добровић, Т., Тадић, Д., Станко, З., *FMEA метода у управљању квалитетом*, *Пословна изврсност*, Загреб, 2008., с. 97-104
- [14] Risk-based decision-making guidelines, *Procedures for Assessing Risks*, Volume 3, <http://www.fmeainfocentre.com/handbooks/V3C09.pdf>, приступљено 18.01.2010.
- [15] Royals M., Kapoor R., and Kanopoulos N., *Mission critical failure effects analysis using quantitative techniques*, Rome Laboratory Air Force Materiel Command, RL-TR-94-212, Griffiss AFB, NY, 1994.
- [16] ***, *Приручник за обуку из FMEA анализе*, „Застава Аутомобили“, Крагујевац, 2007.
- [17] Тимски рад - Како тимски рад може да допринесе бољој продуктивности предузећа, <http://www.maturskiradovi.net/forum/Thread-timski-rad-kako-timski-rad-moze-da-doprinese-boljoj-produktivnosti-preduzeća>, приступљено 18.12.2011.
- [18] Панюков Д.И., Скрипачев А.В., *Анализ видов, причин и последствий потенциальных дефектов (FMEA)*, Учебное пособие – Тольятти: издво Тольяттинского Государственного Университета, 2006.
- [19] Why do we need FMEAs?, <http://www.scribd.com/doc/46466223/7688328-Read-About-FMEA>, приступљено 12.12.2011
- [20] McCoy, D., *Potential Failure Mode and Effect Analysis in Design (Design FMEA)*, http://www.sauer-danfoss.com/static/GS-0002D_Design_FMEA_Aug_2009_Latest_1_C015464.doc, приступљено 10.12.2011.
- [21] ***, *Ford FMEA Handbook (With Robustness Linkages)*, Version 4, Ford Motor Company, Dearborn, MI, 2004.
- [22] McDermott, R.E., Mikulak, R.J., Beauregard, M.R., *The basics of FMEA*, Productivity Press, New York, NY, 2009.
- [23] Јовичић, С., *Основи поузданости машинских конструкција*, Научна књига, Београд, 1990.
- [24] ***, *FMEA анализа линије за попречну обраду трафо лима*, „ASSEMA d.o.o.“, Крагујевац, 2010.