

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**

Милош Ж. Милетић

**Анализа стабла отказа
ратарске прскалице**

Мастер рад

Крагујевац, 2016.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Поузданост у развоју машинских система

Број индекса: 345/2014

Милош Ж. Милетић Анализа стабла отказа ратарске прскалице Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Добривоје Ћатић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да опише анализу стабла отказа, ратарске прскалице као и њихов начин функционисања и анализира стабло отказа ратарске прскалице. Такође, треба дати практичан пример анализе стабла отказа једне ратарске прскалице.

Препоручена литература:

- [1] Ћатић Д.: Методе поузданости машинских система, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2009.
- [2] Бекер И., Ивановић Г., Станивуковић Д.: Поузданост техничких система, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2010.
- [3] Ћатић Д., Поузданост у развоју машинских система, Монографија, Машински факултет, Крагујевац, 2010.

Крагујевац, 14. 09. 2016.

Ментор:
Др Добривоје Ћатић – ред. проф.

Резиме

Циљ овог мастер рада је анализа стабла отказа ратарске прскалице. Најпре су описани појмови везани за саму анализу стабла отказа, а затим се говори о анализи стабла отказа поменутог система, ратарске прскалице. Такође, дат је и практичан пример анализе стабла отказа ратарске прскалице.

Кључне речи: анализа стабла отказа, ратарска прскалица, стабло отказа, поузданост.

Abstract

The aim of this master work is the analysis of fault tree crop sprayers. First described concepts related to the analysis itself fault tree, and then goes on to the analysis of the aforementioned system, crop sprayers. Also, it is the practical example analysis of fault tree crop sprayers.

Key words: fault tree analysis, crop sprayer, fault tree, reliability.

САДРЖАЈ

1. УВОД	6
2. ОТКАЗ И АНАЛИЗА ОТКАЗА.....	8
2.1. Отказ.....	8
2.1.1. Дефиниција и значај појма отказа.....	8
2.1.2. Пропусти у физичкој функцији и очекиване перформансе.....	9
2.1.3. Зашто се откази дешавају	9
2.1.4. Предности статистике	10
2.2. Анализа отказа.....	11
2.2.1. Принципи и приступи у раду анализе отказа	12
2.2.2. Методе анализе отказа	13
3. АНАЛИЗА СТАБЛА ОТКАЗА.....	15
3.1. Основне поставке	15
3.2. Прве дефиниције анализе стабла отказа	15
3.3. Историјат анализе стабла отказа.....	16
3.4. Појмови, значај и примена	17
3.5. Методологија анализе стабла отказа	23
4. РАТАРСКЕ ПРСКАЛИЦЕ И СТАБЛО ОТКАЗА	29
4.1. Историјски развој ратарских прскалица	29
4.2. Радни делови ратарских прскалица.....	32
4.2.1. Резервоар	33
4.2.2. Мешалице	35
4.2.3. Системи за пречишћавање течности	37
4.2.4. Еластична црева, спојнице и спроводници за транспорт течности	39
4.2.5. Пумпе.....	42
4.2.5.1. Клипне пумпе	43
4.2.5.2. Мембранске пумпе	44
4.2.5.3. Клипно – мембранске пумпе.....	45
4.2.5.4. Обртно – клипне пумпе	46
4.2.5.5. Центрифугалне пумпе	50
4.2.5.6. Млазне пумпе	51
4.2.6. Мерно – регулациона јединица – разводник.....	52
4.2.7. Уређај (арматура) за прскање	54

4.2.8. Распрскивачи.....	56
4.3. Стабло отказа ратарске прскалице	59
4.4. Квалитативна анализа стабла отказа	62
5. ЗАКЉУЧАК	67
Литература.....	69

1. УВОД

Технички системи представљају скупове елемената и релацију између њих и њихових карактеристика, повезаних међусобно у целину, на начин погодан за вршење функције. То значи да је за функционисање система, поред квалитета елемената у целини, неопходна и одређеност везе између њих.

Нека разматрања у пуној мери односе се, не само на елементе, него и на системе. Ако се ради о системима, то захтева посебно третирање. Основни разлог за ово лежи у чињеници да сваки сложени систем обједињује већи или мањи број саставних елемената (подсистема, склопова, подсклопова, делова), те се о његовој поузданости може судити само ако се анализирају и аналитички обухвате поузданости сваког елемента понаособ.

Наука о поузданости се базира на примени теорије вероватноће и математичке статистике, јер се у поузданости отказ третира као случајан догађај, време рада је случајна променљива, а случајне величине се третирају у теорији вероватноће и математичкој статистици. Међутим ове математичке методе су само оруђе да би се остварили коначни задаци, тесно везани за праксу пројектовања, производње и експлоатације поузданости техничких система.

Термин систем односиће се на било коју функционалну целину чија се поузданост жели да утврди. Термин елемент означаваће било који саставни део система, тј. може се одређеним случајевима односити на подсклоп склоп, итд. Сваки део система може имати два стања: у стању рада и у стању отказа. Растављањем система на саставне делове добијају се одређене целине, тј. стабла која описују рад система. То су тзв. стабла отказа које треба разликовати од механичке или електричне конфигурације система [1].

Може се рећи да се 1960-тих у образовном свету догодила експлозија знања и да ће се без сумње кроз данашњицу наставити и даље. Истакнут овим, прилив знања био је примена система технологија и анализа система да помогне у решавању образовних проблема [2].

Анализа система на релацији остваривања претходно утврђених циљева може се посматрати на два основна приступа:

1. анализа у погледу успеха остваривања сврхе система је да оно што мора или би требало да се уради да би се постигао жељени резултат;
2. анализа у смислу неуспеха или неостваривања сврхе система.

Иако превенција неуспеха постаје све важнија, општи поступак како у прошлости тако и садашњости изгледа успешан фактор. Ипак, изгледа да је много теже и дуготрајније да се предвиди шта промовише успех у систему него шта је то потребно да се изолују они фактори који проузрокују неуспех. Осим тога, међу групом стручњака у било ком одређеном систему, генерално лакше је постићи договор о томе шта представља неуспех у систему него шта представља успех.

Дакле, у области образовања, ако доносиоци одлука систематски изолују режим отказу у систему, вероватноћа успеха ће се повећати. Проблем се треба истражити и предложити систематски приступ анализи фактора који доприносе неуспеху у циљу повећања вероватноће успеха у образовним системима.

Циљ овог рада је да се уведе концепт анализе стабла отказа као средство за систем и да се утврде последице анализе стабла отказа као методе за изолацију режима неуспеха у образовним системима.

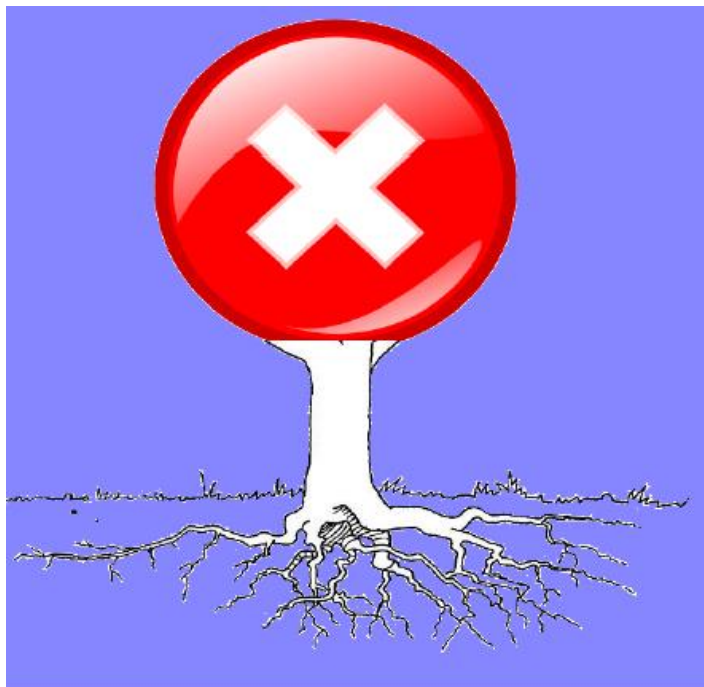
Специфични циљеви су:

1. Дефинисати анализе стабла отказа и дискутовати о његовој историји која се односи на системски приступ;
2. Описати корак по корак процес за спровођење и примену анализе стабла отказа;
3. Да се представи анализа стабла отказа која се односи на систем и
4. Представити прототип анализе стабла отказа да предложи решење за проблем у систему.

До данас је развијено низ метода за анализу отказа. Најчешће коришћене методе за анализу отказа су:

- Анализа стабла отказа (Fault Tree Analysis - FTA),
 - Анализа начина и последица отказа (Failure Modes and Effects Analysis - FMEA)
- и
- Анализа начина, последица и критичности отказа (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis - FMECA).

На слици 1.1 [2] је симболички приказана FTA метода.



Слика 1.1 Анализа стабла отказа

2. ОТКАЗ И АНАЛИЗА ОТКАЗА

2.1. Отказ

2.1.1. Дефиниција и значај појма отказа

Отказ је један од основних појмова који фигуришу при прорачунавању поузданости и сигурности машинских и уопште техничких система.

Отказ објекта је догађај који има за последицу губитак радне способности. Под термином „догађај“ подразумева се динамичка промена стања система, што значи да појава отказа доводи до непланираног и непожељног стања система.

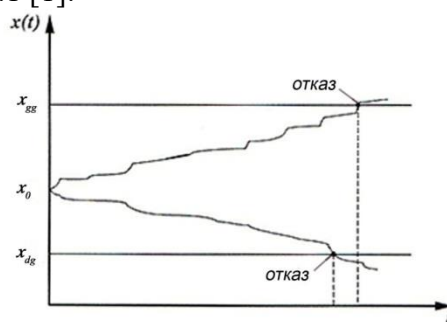
Отказ наступа после извесног временског периода рада када било који параметар функционисања достигне граничну вредност.

Са тачке гледишта теорије поузданости и теорије вероватноће отказ објекта представља случајни догађај.

Време исправног рада до отказа обухвата временски период исправног рада објекта до наступања отказа. Ово време је ефективно време функционисања објекта.

Добра дефиниција отказа је „немогућност прописног функционисања неких компоненти, машина или процеса“. Откази долазе у свим облицима и величинама. Они се могу јавити на појединачним деловима, читавим машинама или процесима. Ове могућности проширују концепт отказа јер су увеле грешке које се могу запазити и грешке које се не могу запазити. Оштећена радилица је очигледно отказ.

Отказ и време исправног рада могу се дефинисати посматрањем зависности карактеристичних параметара функционисања x у функцији од времена t , чија је илустрација дата на слици 2.1 [1].



Слика 2.1 Дијаграм зависности карактеристичног параметра функционисања x од времена t

Посматрани параметар функционисања на почетку рада система има вредност x_0 , али у току времена (рада) он се мења. Ако у неком тренутку параметар функционисања достигне било горњу граничну вредност x_{gg} , или доњу граничну вредност x_{dg} , доћи ће до отказа система.

Појава отказа директно утиче на квалитет система и то наравно у негативном смислу. Због тога се отказ проучава и тежи се ка томе да се о отказима сазна што више у циљу избегавања њихових појава и чињењем система што безбеднијим. Нека од питања која се јављају по појави отказа као што су: Шта је довело до отказа? На који начин је до отказа дошло? Које су последице отказа? дају смернице за основне појмове везане за отказ. Један од начина да се одговори на ова и многа друга питања је анализа отказа.

2.1.2. Пропусти у физичкој функцији и очекиване перформансе

У веома широком приказу отказ се може сврстати у две категорије:

- функционални отказ компоненте,
- отказ на очекиване перформансе.

Прва категорија је функционални отказ, када компоненте, машине или процеси не успевају обављати своју функцију, све стаје. Функционални отказ компоненте, као што је лежај или конзола, веома је очигледан. Функционални отказ машине може да се пријави за нешто велико као авион или мало као крцкалица за орахе. Тешкоћа утврђивања узрока отказа расте са сложености компоненти или машина система, али узроци обично могу бити откривени. Функционални процес отказа попут термичке обраде, премаза, оплате, заваривања, поштанске испоруке или авио распореда може бити сложенији и утврђивање је још више сложено. Поред тога, узрок и последица односа за процесе неће бити очигледни [3].

Друга категорија је отказ на очекиване перформансе, када компонента, машина или процес не постижу критеријуме перформанси као што су животни век, оперативне границе и захтеви спецификација. Људи имају очекивања за животни век појединих предмета, као што су аутомобилске гуме, апарати за домаћинство, аутомобилски мотори, био-импланти, па чак и оловке. Ови критеријуми животног века се обично не записују али се о њима расправља. Специфичнији критеријуми су оперативно ограничени, као што је потрошња гаса, производња стопе отпада, проток гаса у вентилу, брзина модема итд. Ове ставке су обично добро дефинисане и у већини случајева, међусобно договорене од стране заинтересованих страна. Коначно, услови спецификација попут механичких особина, дебљине позлате, тежине и облагања оптичке особине, врло добро су дефинисане у писаној документацији. Специфичне дефиниције или ограничења су обично направљена од стране клијента и тестови су обавезни да би обезбедили поверење.

2.1.3. Зашто се откази дешавају

„Зашто се откази дешавају“ је често постављано питање, и током година многе категорије су осмишљене да класификују опште узроке отказа. Најчешћи разлози за отказ су:

- услови рада (употребе и злоупотребе),
- неправилно одржавање (намерно или ненамерно),
- неправилно тестирање или инспекција,
- грешке монтаже,
- грешке дизајна (стрес, избор материјала, претпостављено материјално стање или својство) [3].

Данас су услови рада најчешћи узрок у случају отказа. Као што је већ речено, већина компоненти и машина, чак и процеси, имају одређени животни век. Под нормалним условима рада, већина ставки испуњавају своје време животног века. Отказ настаје када објекат откаже у краћем временском периоду него што се очекује од стране корисника. У овом тренутку, међутим је важно направити разлику између нормалног коришћења и форсирања. Возила се могу користити на нормалан начин и имати очекиван животни век. Форсирање, као што корисници стално возе ауто при великом брзином или на грубе путеве, могу смањити животни век објекта (аутомобила).

Неправилност одржавања достиже све делове животног века. Кућни апарати, рачунари, аутомобили као и авиони, траже одржавање. Резултати неправилног одржавања су смањење животног века или довођење до потпуног отказа. Понекад је намерно, као што је прескакање ремонта машина како би се искористило још неколико недеља коришћења. Другог пута је ненамерно, као што је случај када особа сматра да је 50 до 50 одсто течности радијатора на води добра, онда 100% течности радијатора мора бити још боља. Још један заједнички резултат одржавања је корозија. Монетарни губитак због корозије у Сједињеним Америчким Државама је процењен на 60 милијарди долара до 100 милијарди долара годишње.

Неправилно тестирање такође може бити узрок отказа. Трошкови погона за тестирање и њихова пословна филозофија преовлађују данас округе рада особља на обављању најнижих трошкова тестирања који могу задатак да испуне. Понекад ови кадрови имају довољно обуке а некад премало. Нажалост, овај однос у пракси може подстакнути ситуацију у којој особље обавља задатак до проузроковања отказа избором погрешног теста, вршећи тест погрешно или погрешним прегледом теста. Омиљени пример бави се ударом птице о млазни мотор. Удар птице је био проблем током полетања и слетања авиона дуги низ година. Мотор мора бити у стању да се носи са птицама без једног отказа, пожара или отказа постоља мотора. Мотор мора бити у стању да се угаси на контролисан начин и да прође управу ваздухопловства условом Федералне ваздухопловне администрације. Индустрија млазног мотора има тест одређивања ефекта удара птица. Залеђени пилићи су одмрзнути и гурнути из топа у млазни мотор ради теста утврђивања да ли је стезник мотора у оквиру своје границе. Једног дана, нов техничар је водио тест и очигледно му нико није рекао да се одмрзну залеђени пилићи пре вршења теста. Непотребно је рећи да се мотор упалио на тесту јер га је залеђено пиле погодило разорним ударцем кугле за куглање.

2.1.4. Предности статистике

У најбољем интересу сваке компаније је да воде статистику о отказима. Као и код већине базе података, компјутери чине овај задатак лакшим. Врста отказа, материјал, главни узрок и тако даље могу се лако држати и претраживати у бази података, јер свака индустрија чак и компанија је другачија. Они треба да чувају своје статистику и извлаче од спољних извора као примењиво. Разлог је једноставан. Статистике могу обезбедити правац како компанија може побољшати профитабилност и указује где компанија може да троши новац и људство. Ниједна компанија не може да реши сваки проблем, тако да је мудро напасти већину технички штетне или прве скупе проблеме. Статистика може да обезбеди овај правац. Поред тога, статистике могу да укажу на трендове током времена. На крају, поређење статистике компаније до индустријских података указује да је проблем компаније специфичан или индустријски широк [3].

2.2. Анализа отказа

Анализа отказа је процес који се обавља у циљу утврђивања узрока или фактора који су довели до нежељеног губитка функционалности. Овај обим, пре свега, односи се на пропусте компоненти, склопова или структура, и њен приступ је један у складу са базом знања особа обучених у материјалима конструкција. Допринос технолога материјала за унапређење научне основе анализе отказа је велики у последњих неколико деценија. Ова чињеница може показати да многи људи дефинишу узроке отказа на прилично једноставан начин: да ли је део био оштећен или злоупотребљен? Очигледно постоје многе врсте недостатака, укључујући и оне које долазе од лошег дизајна, лошег материјала или грешке у производњи. Разлози за ово се односе на чињеницу да су многи „недостаи“ које људи траже видљиви само микроскопом. Док микроскопи могу бити широко доступни, потребна знања за тумачење слика су мање доступна. Други важан тип недостатка, оних који се односе на дизајн питања, може захтевати процену технолога за добијање материјала. То је зато што многи пројектанти нису добро упознати са природним варијацијама у оквиру класе материјала. Процена адекватности материјала или процеса у спецификацији, често се најбоље обавља од стране технолога материјала [4].

Групе стручњака су тако биле у одличној позицији да стекну искуство у процесу анализе отказа. Појављивање све више моћних и широко доступних скенирајућих електронских микроскопа је помогло обезбеђивању више чињеница заснованих на основе за разматрање које су можда у прошлости биле у великој мери спекулативне. Неки технолози материјала су постали врло искусни у анализи отказа. Као материјали, технолози су радили на неким веома спектакуларним неуспесима или на отказима, који су проузроковали велику хаварију и губитак, они су довели до дубљих и ширих питања о узроцима који су довели до отказа. У многим случајевима постаје јасно да не постоји јединствено изазван и ниједан след догађаја који доводи до отказа. Уместо тога, постоје фактори који се комбинују на одређено време и место да би се отказ десио. Понекад одсуство сваког појединачног једног од фактора може бити довољно да спречи отказ. Понекад, међутим, немогуће је утврдити, барем у оквиру средства додељених за анализу, да је било који појединачни фактор кључ. У случају отказа, аналитичари обављају своје послове на професионални начин, они морају да се опходе према објекту као према једноставној листи узрока отказа.

Анализа отказа подразумева примену најразноврснијих поступака и мера, како би се о отказу система стекла што потпунија и обухватнија сазнања. Основни циљ анализе отказа је утврђивање и изоловање узрочника отказа и на основу тога дефинисање превентивних мера (спречавање појаве отказа) и накнадних мера (отклањање појаве отказа), а што би као крајњи резултат имало нормално функционисање система.

Три основне фазе животног века система у којима се примењује анализа отказа система су: пројектовање, производња и експлоатација. Најкорисније и уједно и најкомпликованије је вршити анализу отказа система у фази пројектовања. Најпре је потребно да се што реалније сагледају могући откази и њихови узрочници. Анализа се даље усложњава потребом да се предвиде или открију: последице сваког појединачног отказа; међусобна зависност појединих отказа; утицај отказа на функционалне карактеристике система, безбедност руковаоца и околину; вероватноће појаве појединих отказа; и у крајњем кораку критичност, тј. значајност сваког појединачног отказа у односу на отказ система. До спознаје ових података долази се неком од метода анализе отказа.

2.2.1. Принципи и приступи у раду анализе отказа

Кључни принцип анализе отказа је, пре свега, да се очува доказима - аналитичар мора бити сигуран да је свака неопходна информација од предметног дела или склопа као усвојен услов пре него што се нешто уради да се његово стање промени.

Овај принцип се може сажети у следећим смерницама [3]:

- прво сачувати доказе,
- обављати послове у циљу мањег оштећења у већ оштећеној животној средини,
- знати ограничења нечијег личног знања,
- знати како затражити помоћ,
- не покушавати анализу отказа ако основе узорка очувања, прикупљања и селекције нису разматране,
- знати када рећи не обављању деструктивног (или разорног) теста.

Разарање очигледно обухвата све што захтева промене облика дела. Чишћење компоненти може бити проблематично; нечишћење може довести до оштећења услед корозије у случају многих уобичајених материјала, док чишћење може уклонити супстанце које су довеле до отказа услед корозије или допринеле. Понекад чишћење опасне или отровне материје из остатка дела захтева неопходну безбедност истраживача. Практичар треба да има на уму да су многи тестови описани као „разарања“ само релативна разарања. Постоје бројна испитивања током којих су аналитичари који представљају различите стране имали проведени дуги период времена покушавајући да схвате да ли су боје пенетрант остатка откриле резултат теста учињен након отказа или пре последњег радног века. Опет, фраза разарања треба да буде посматрана као релативан појам. Такође треба признати да се проблему анализе отказа може приступити на различите начине, зависности од захтеване дубине и обима анализе.

Други кључни принцип у раду анализе отказа је знати како дефинисати обим испитивања у одговарајућем временском периоду. Околности проблема отказа могу бити разноврсне, па чак и „прости“ принципи анализе отказа могу бити предмет тумачења и испитивања. Чак и принципи очувања доказа могу укључити закључке, као што је наведено у претходном ставу. Чак и искусни аналитичари могу направити грешке.

На пример, ако се размотри ситуација у којој аналитичар треба да оствари пријем из лежаја редовног корисника. Лежај је прерано похабан у периоду трајања теста. Аналитичар је затражио да фотографише трагове хабања и да провери тврдоћу и квалитет термичке обраде прстена и кугле. Лежај је прекривен црном масном супстанцом. Када се анализирају пропусти хабања, често мазивна својства носе честице које нуде највише информација о процесу хабања. Аналитичар обавештава корисника о овоме, а корисник одлучује о жртвовању „прљаве масти“ у циљу окончања испитивања у краћем временском периоду. Корисник само жели да зна да ли део задовољава спецификацију, и да ли постоје докази о бруто одступању и обиму проблема. Након што је испитивање завршено, а масти су растворене у растварачу и одбачене, друга особа у тој компанији тражи детаљне информације о стварном механизму хабања. У том тренутку бива прекасно анализирати средство за подмазивање. Ако је корисник или аналитичар узео више времена, узорак овог материјала може бити постављен на страни и очувати се.

Трећи кључни принцип анализе отказа је да за све најједноставније рутинске испитивања могу постојати више легитимних приступа. Одабир најадекватнијих приступа решавања проблема у анализи испитивања је важна вештина. Класичан приступ је пратити списак корака, који обично укључују планирање испитивања, обављање истраживања у позадини, и писање извештаја, као и стварне физичке тестове и евалуације којима се подвргава компонента у питању. Иако рецепт процедура има много заслуга, посебно за почетнике у пракси анализе отказа, обављање низа тестова не даје увек резултате који омогућавају аналитичару да постигне јасан закључак са лакоћом. Исто тако, ако је анализа отказа представљена искључиво као низ корака или рецепата, понављање корака може бити погодно за немарност. Ако се процес анализе отказа посматра само као рутински низ процедура практичар не може приметити присуство нових или различитих карактеристика. Ово не значи да су изграђени приступи лоши. Међутим, значај обраћа пажњу на детаље и учење питајући се да ли је сваки детаљ у складу са другим раније наведеним детаљима. Тешко је да се може навестити отказ аналитичару пре почетка испитивања. Анализа отказа је учестан и креативан процес, сличан као у процесу пројектовања, али са обрнутим улогама синтезе и анализе. У сваком случају, који год се приступ узима, он је увек важан да се негује начин размишљања и да се минимизира искушење да се дође до закључка о узроку отказа пре него што се обави анализа и процена. Наука критичког размишљања има принцип који се зове потврда предрасуда, који се односи на тенденцију да се пронађе само оно што се очекује, то јест. „наћи ћете само оно што треба да тражите“. Људи имају општу склоност да виде оно што они очекују да виде или да сагледају ствари у складу са унапред формираним очекивањима. Ако је посматрање ограничено на очекиваном резултату, корисни подаци се могу занемарити. На пример, једна од највећих грешака које људи праве у анализи рада отказа је дефинисање испитивања у бинарним условима „да ли је било грешке у производњи или је део био неправилно коришћен? Професионални аналитичар не би требао да буде ограничен на овом малом скупу могућих узрока отказа, јер може бити тешко да постане свестан ситуације непроналаска онога што је кренуо да тражи.

Такође је важно схватити исход интуиције и инстинкта. Док важност посматрања и анализа тешко може бити сувишна, понекад интуиција може да пружи увид и боље уважавање „велика слика“. Већ годинама, 19. века, истакнути индијски математичар „Ramanujan“, би одмах по буђењу, записао теореме које су му дошле у сновима. Многе од ових теорема су остале недоказане, ипак корисне су за неке физичаре и математичаре данас. Други пример, је откриће структуре Бензеновог прстена од стране „F.A Kekulé“. Многе научне књиге наводе у периоду када је он покушавао да схвати како су атоми угљеника и водоника уређени унутар молекула. Очигледно, он и други су отишли на коришћење више научних метода како би показали исправност своје теорије.

2.2.2. Методе анализе отказа

Развијене методе анализе отказа су у основи сличне, а често се између себе надовезују и надопуњују. Разлике се огледају у свеобухватности појединих метода у односу на друге и конкретним решењима сваке од њих. Све ове методе се заснивају на истој полазној основи, детаљном опису и анализи конструкције, као и начина функционисања проучаваног система, укључујући све елементе система и њихове међусобне везе. На основу овога и на основу одговора које треба да да анализа отказа, види се да је за примену метода анализе отказа потребно много знања, искуства, полазних информација и снажне базе података [3].

Методе анализе отказа су следеће:

- Анализа стабла отказа (Fault Tree Analysis - FTA),
- Анализа начина последице отказа (Failure Modes and Effects Analysis - FMEA) и
- Анализа начина, последица и критичности отказа (Failure Mode, Effect and Criticality Analysis - FMECA)

У овом раду ће се говорити о анализи стабла отказа.

3. АНАЛИЗА СТАБЛА ОТКАЗА

3.1. Основне поставке

Анализа стабла отказа (Fault Tree Analysis - FTA) је једна од основних и најчешће коришћених метода за анализу сигурности и поузданости техничких система. То је дедуктивна метода код које се за дефинисани вршни догађај у облику отказа разматране структурне целине система утврђују узрочни догађаји који до њега доводе. Основу анализе стабла отказа представља превођење физичких система на структурне логичке дијаграме [5].

3.2. Прве дефиниције анализе стабла отказа

Анализа стабла отказа (FTA) је истраживачки посао техником која се користи са успехом као главно аналитичко оруђе сигурносних система инжењеринга на пројектима ваздушно-космичког простора који се користи у авио-индустрији. Власт САД 1974. године наводе да се анализа стабла отказа односи на догађај секвенце што је довело до значајног унапред дефинисаног неуспеха, као што је губитак мисије где постоји потенцијал за повреде особља и/или великих економских губитака. Кросети (Crosseti) (1971). додаје [4]:

„Анализа стабла отказа даје функционални развој одређеног нежељеног догађаја преко логичких изјава у услова који могу изазвати тај догађај. Када се завршни догађај дефинише за процену перформансе система, ова метода даје концизан и уредан опис различитих комбинација могућих догађаја оквиру система које могу да доведу унапред дефинисаном догађају.“

Као што се користи у авио и другим научним дисциплинама које укључују хардверске системе, аналитичар даље дефинише анализу стабла отказа указујући да је графички приказ логике која описује проток информација (у овом случају неуспеха размножавања) у мрежи обраде. Основни градивни блокови анализе стабла отказа састављени су од логичких међусобних веза између догађаја секвенци, познатих као логичка кола. Логичко коло дефинише улазне услове који морају бити присутни како би низ отказа утицао на стабло. Постоје два основна логичка кола: “и” капија ”или” капија. За оба ће бити више речи касније у наставку овог рада.

Рехт (Recht) (1965) дефинише FTA као методу анализе у којој је изабран нежељени догађај и сва могућа дешавања која могу допринети догађају и то су дијаграми у облику дрвета. Гране дрвета су наставили навише и наниже од нежељених догађаја док су независни догађаји стизали. Вероватноће за независним догађајима се могу одредити а обе вероватноће нежељених догађаја и највероватнији ланац догађаја који је довео до тога се може израчунати. Анализа стабла отказа се мало разликује у дефиницији међу дисциплинама или између “хардвер” и “људских” система. Зато што се односи посебно на људски систем у образовању, Стефенс (Stephens) [2] је дао најконцизнију дефиницију. Он каже да је FTA техника за повећање вероватноће исправног рада у сваком систему на основу анализе највероватнијег начина отказа који

би могао настати у систему, а затим указује на висок приоритет за избегавање стратегије за оне режиме отказа. Стабло отказа (понекад се назива и ”догађај логичке мреже”) даје концизан и логичан корак по корак опис различитих комбинација потенцијалних или могућих појава унутар система које би могле довести до отказа система. То је графички приказ или дијаграм који систематски описује вероватне секвенце неуспеха догађаја и интеракције између ових секвенци које могу довести до отказа на врху, нежељеног случаја. Циљ је да се идентификују и изолују могући режими неуспеха и на тај начин их избегне.

1973-е (Стефенс) Stephens је написао: Процес анализе стабла отказа почиње са изјавом критичног нежељеног догађаја који неко жели да се спречи да се догоди. Недостатак стабла се онда гради по низу логичких корака што управо показује како добити отказ који се овде користи означава неспособност система или део система да обавља своје очекиване функције до којег догађај може доћи. Када се стабло заврши, математичке формуле се могу применити за утврђивање стратешких путева који воде до врха нежељеног догађаја. На великим стаблима подаци могу да се уносе у компјутер за симулацију и квантификацију. Вредност проналажења или стратешки пут неуспеха кроз анализу даје јасан знак доносилаца одлуке као најслабије карице у систему и тиме даје информације за одређивање приоритета у процесу одлучивања. Назив ”анализа стабла отказа” је изведена у чињеници да је графички приказ функционалног система који је прошао кроз процес анализе стабла отказа користи процес гранања слично у облику четинара [2]. Закључено је да анализа стабла отказа има приступ гледању и анализирању највише нежељених случајева који се могу вршити у систему, а затим у потрази за анализирање и пропусте у низу које би могле довести до ових нежељених догађаја.

3.3. Историјат анализе стабла отказа

Развој анализе стабла отказа је почео са појавом сигурносних система приступа покренутог у свемирској индустрији у касним 1950-им и почетком 1960-их. Анализа стабла отказа обезбеђује додатну димензију у приступу сигурносних система за увођење концепта превенције отказа. Пун уважавања и разумевања историје слободне трговине захтева се потреба да се види слободна трговина у контексту сигурносних система анализе. Рехт (Recht) препричава порекло анализе сигурности система [4]:

Историја анализе сигурности система заиста почиње у ваздухопловној индустрији. То је био резултат изузетно високе поузданости и сигурности спецификацијама које траже простор и војне потребе.

На пример, до недавно када је развијен нови авион, први пут дизајниран, а затим изграђен експериментални модел, а на крају је било пробе лета за утврђивање способности и недостатака; добијени подаци указују на неопходне промене дизајна и циклус се понавља све док су испуњене спецификације извођења. Данашњи авиони и пројектили су постављени тако сложени и скупи и спецификације су постављене тако високо да се ова процедура мора мењати. „Morcover“, тестови ракета летења подразумевају губитак модела са врло ограниченим обимом добијених података. Данас отказ мора бити пронађен и исправљен колико је то могуће у фази пројектовања коришћењем аналитичке технике.

Резултат је развој системског приступа сигурности. Авион или ракета испитани са ове тачке гледишта и утицаја отказа или отказа на рад авиона се процењују да би утврдили принцип дизајна недостатака који се треба поправити. На ове комплексне системе развијене су софистициране аналитичке методе, тако да је тест пилот био

заменен сигурносним системима инжењера. Анализа стабла отказа има свој почетак у горе описаном окружењу.

Х. А. Вотсон (H. A. Watson) из компаније Бел Лабораторије (Bell Laboratories), ступа у контакт са ваздушним снагама Сједињених Америчких Држава и договара проучавање лансирних система. Тада је први пут примењена анализа стабла отказа. Дејв Хасл (Dave Haas) из компаније Боинг (Boeing) увиђа значај овог алата и почиње да води тим који примењује FTA на цео ракетни систем. Када су друге групе ове компаније виделе резултате FTA, прихватиле су је и одмах су почеле да је користе у конструкцији комерцијалних авиона. 1965. године Боинг и универзитет у Вашингтону постају спонзори прве конференције о поузданости система. Између осталог, на овој конференцији је представљена и анализа стабла отказа, што је обележило почетак интересовања целог света за овом методом. 1966. године Боинг је развио симулациони програм под називом „BACSIM“, као и програм за формирање стабла отказа на 26 – инчном штампачу. Оба програма су радила на рачунару IBM 370. То су били програми коришћени само унутар компаније Боинг, развили су их Боб Шредер (Bob Schroeder) и мало људи ван Боинга је знало да они постоје.

Након тога у оквиру америчке војске, примену FTA методе код упалача је истражио „Picatinny Arsenal“ 1960-их и 1970-их. Године 1976. сектор за материјале војске САД-а, инкорпорирао је FTA методу у књигу инжењерског дизајна, у оквиру поглавља: Пројектовање за поузданост, Анализциони центар поузданости, на „Rome Laboratory“ и његова наследна организација сада са Техничког информативног центра одбране објавила је документе о употреби FTA и блок дијаграма поузданости, од 1960. MIL-HDBK-338B обезбеђује новије референце [6].

Године 1970., САД Федерална ваздухопловна администрација (FAA) објавила је промену у 14 CFR 25.1309 прописа о пловидбености за превоз у категорији авиона у савезном регистару на 35 FR 5665 (1970-04-08). Ова промена је усвојила критеријуме вероватноће појаве отказа за системе ваздухоплова и довела до широке употребе FTA у цивилном ваздухопловству. Године 1998., FAA објавио „Order“ 8040,4, чиме се довело до успостављања политике управљања ризицима укључујући анализе опасности у низу критичких активности, осим сертификацију ваздухоплова, укључујући контролу летења и модернизацију Америчког националног ваздушног просторног система. То је довело до објављивања FAA Система безбедности приручника, који описује употребу FTA у различитим врстама формалне анализе ризика.

3.4. Појмови, значај и примена

За анализу отказа елемената техничких система најчешће се користи Анализа стабла отказа (Fault Tree Analysis - FTA). Основу анализе стабла отказа представља превођење физичких система на структурне логичке дијаграме.

Узрочно дефинисање стања система која доводе до отказа може да се користи за оцену погодности одржавања и за израду плана одржавања техничког система. Поред тога, стабло отказа може да послужи као дијагностичко средство за утврђивање највероватнијих узрока насталог отказа.

На почетку анализе поузданости техничког система методом Анализе стабла отказа, даје се дефиниција и утврђују се границе и циљеви система. Вршни догађај у стаблу отказа, у зависности од анализираног система, може да буде општи (у облику отказа система), или специфичан (уколико укључује само неке отказе система или његових компоненти). Од аналитичара се захтева да пре него што приступи формирању стабла отказа, веома добро проучи систем са становишта структуре, начина функционисања и међусобног односа саставних елемената.

Упоредо са развојем Анализе стабла отказа, настала је и метода Анализе стабла исправног рада (Success Tree Analysis - STA). Стабло исправног рада је допуна или "двојник" стабла отказа. Вршни догађај у стаблу исправног рада је успешан рад разматраног објекта. Слично стаблу отказа, дедуктивном анализом утврђују се стања саставних елемената, неопходна за дешавање вршног догађаја [5].

На основу литературе може да се закључи да је Анализа стабла отказа далеко познатија и у пракси више коришћена метода од Анализе стабла исправног рада. Од средине шездесетих година прошлог века до данас метода Анализе стабла отказа се широко примењује за истраживање поузданости, сигурности и за дијагностику отказа великог броја сложених техничких система. Ова метода је нарочито погодна за анализу поузданости и сигурности система, чији би откази довели до катастрофалних последица по људе и животну средину (анализа сигурности нуклеарних реактора, обезбеђење од експлозија у подземним угљенокопима, сигурност резервоара за складиштење плина, сигурност нафтних платформи, у авио индустрији итд.) [5].

Метода Анализе стабла отказа се користи при формирању логичко-вероватносног графичког модела поузданости. Омогућава истраживање узрочно-последичних веза отказа елемента. Помоћу стабла отказа могуће је истовремено анализирати поузданост и сигурност функционисања и одређивати прикладне мере за побољшање тих показатеља у свим фазама животног века производа.

Ефективност методе анализе стабла до отказа, се значајно повећава уколико се примени у току самог пројектовања машинског система. Радећи је упоредо са пројектом могу се увидети могући проблеми при раду и начину функционисања система, па се могу изабрати нека друга конструкциона решења на основу добијених резултата. При постављању анализе могу се рангирати компоненте и склопови система, како би конструктор сам знао на шта више да обрати пажњу при пројектовању конструкције, при чему се скраћује време израде пројекта и добија поузданији систем.

Метода анализе стабла отказа такође помаже и при изради упутства за техничко одржавање машинског система, јер она показује како узрочно, последично одређене компоненте или склопови могу да доведу до отказа, па га је са пред знањем о истим могуће предупредити. У исто време анализа стабла отказа се може применти и при дијагностици највероватнијег отказа у систему, и уједно увидети начин на који је дошло до њега.

За најбоље резултате ове методе је потребно да анализу ради сам развојни тим производа, а не појединац, јер је тим најбоље упознат са самим производом, и уједно може пружити ширу сферу информација које се могу анализирати.

Да би се успешно извршила анализа веома је важно да се пажљиво изабере вршни догађај, јер ако је догађај сувише општи анализа је сувише обимна и њоме се не може управљати. С друге стране, ако је догађај сувише специфичан, аналитичар нема довољно добар увид у систем.

По дефинисању вршног догађаја, врши се анализа почев од врха, тј. од отказа целог система, па на доле према подсистемима и саставним елементима. У основи, метода ФТА представља логичко појављивање и праћење уоченог отказа преко дијаграма у коме се користе логичке капије ради утврђивања односа између улазних и излазних догађаја. У овој анализи увек се полази од нежељених догађаја система, који се откривају индуктивном анализом или интуицијом. Повезана са одговарајућим математичким апаратом, ова метода омогућава и израчунавање вероватноће сваког отказа посебно, па и отказа система у целини.

Пре саме анализе потребно је конструисати стабло отказа, које на веома посебан начин представља мало вероватносних догађаја и њихових комбинација, наравно укључујући и људске грешке. Пре саме конструкције стабла отказа Аналитичар мора добро да проучи систем, јер FTA метода захтева велики број информација о систему.

Постоје различите фазе, кораци и аспекти у анализи стабла отказа, где је основни корак конструкција стабла отказа. Правила везана за конструкцију су од кључног значаја за могућност анализе и за њену тачност. Познавање сваког од ових правила, омогућава аналитичару да конструише стабло отказа.

Правило бр. 1 – Познавање сврхе и предности анализе стабла отказа.

Прво је потребно утврдити да ли је анализа стабла отказа одговарајући алат за задати проблем. Ово укључује разумевање сврхе и предности анализе стабла отказа. Такође је важно да се тај алат користи правилно. Анализа стабла отказа не укључује анализу ризика. Такође анализа стабла отказа не служи да идентификује потенцијална оштећења система. Циљ анализе је сазнавање на који начин до нежељеног догађаја може да дође. Потребно је узети у обзир све факторе и успоставити везу између њих, па је тек тада прорачун стабла отказа могуће извршити. Анализа стабла отказа представља дедуктивну методу, која логички комбинује све потенцијалне неуспехе, догађаје и услове који могу да доведу до појаве нежељеног догађаја, односно отказа система или његовог дела.

Основна разматрања обухватају:

- коришћење правог алата;
- исправно коришћење алата;
- анализа стабла отказа је средство за дедуктивну анализу узрока, идентификацију догађаја који доводе до отказа, прорачун вероватноће да до нежељеног догађаја дође, запажање на који начин је могуће побољшати конструкцију да до отказа не би дошло, цртање дијаграма, односно самог стабла отказа.

Правило бр. 2 – Познавање сврхе и циља задате студије анализе стабла отказа.

Прво што је потребно утврдити је да ли се потребни циљеви за задату анализу могу обезбедити преко анализе стабла отказа. Ово обухвата разумевање проблема, захтева и циља анализе. Пре било какве анализе потребно је утврдити да ли ће резултати задовољити циљеве проблема. У неким случајевима у уговорима је наглашено да је потребно извршити анализу стабла отказа. Када то није наглашено, аналитичар сам одлучује да ли је ова анализа одговарајућа.

Основна разматрања обухватају:

- решавање правог проблема на прави начин,
- успостављање везе између проблема и решења,
- утврђивање да ли ће резултати анализе стабла отказа задовољити проблем и
- проверу да ли је топ догађај исправан и објашњен на прави начин, да ли је коришћен коректан модел и да ли је решење могуће.

Правило бр. 3 – Успостављање правила за анализу стабла отказа.

Веома је важно да основна правила буду брзо успостављена. Потребно је обратити пажњу да се не потроши превише времена на погрешан проблем или за непотребне области, јер на тај начин читава анализа стабла отказа губи смисао. У исто време је значајно договорити са клијентима обим анализе. Важно је направити уговор

за анализу стабла отказа, тако да сви који су укључени у анализу разумеју свој задатак. То помаже да се касније избегну сукоби, јер се често дешава да различити стручњаци имају другачије погледе када је ова анализа у питању.

Основна разматрања обухватају:

- дефинисање и документација проблема,
- обим проблема, где су објашњене величина проблема, ниво анализе и ниво детаља,
- скуп граница и обима анализе,
- успостављање дефиниције анализе,
- провера да ли је топ догађај тачан и разумљив,
- објава правила пре почетка анализе (дефиниције, обим, границе, ниво детаља и дубина анализе, правила грађења, формат анализе) и
- склапање уговора о анализи између тима конструктора и купца.

Правило бр. 4 – Конструисање стабла отказа.

Да би стабло отказа било функционално, потребно је конструисати га на прави начин. Грешке учињене у раним фазама анализе стабла отказа, могу да негативно утичу на касније фазе конструисања стабла отказа. Често је немогуће исправити грешке у каснијим фазама, нарочито ако је стабло отказа велико, и на њему ради више аналитичара или организација. Стабло отказа представља баланс између циљева, могућности, расположивих података, алата, времена и новца. Мала стабла отказа (која садрже мање од 100 догађаја) не захтевају много напора, док средња (од 100 до 1000 догађаја) и велика (преко 1000 догађаја) захтевају много рада и планирања.

Основна разматрања обухватају:

- стабло отказа треба да се заснива на стварним подацима,
- праћење основних правила и формата анализе стабла отказа,
- успостављање имена догађаја узимајући у обзир методологију, тип хардвера, и правило да су краћа имена лакша за манипулацију од дугих имена. Такође је важно да имена догађаја буду јасна, видљива и исправна,
- успостављање имена методологије за трансфере,
- повезивање података,
- стварање базе података која садржи податке о основним догађајима, логичким капијама, условним догађајима итд,
- одређивање нивоа детаљности анализе,
- обратити пажњу на детаљан опис нежељених догађаја (није довољно да се напише само “отказ”, већ и зашто је отказ настао),
- одабир праве капије,
- коришћење одговарајућег програма за цртање и штампање стабла отказа,
- поседовање одговарајућег излазног уређаја (плотера) и
- пожељно је саветовање са другим стручњацима за анализу стабла отказа.

Правило бр. 5 – Одлично познавање система.

Подразумева се да је у циљу анализе стабла отказа потребно потпуно разумевање конструкције и рада система. Једна од основних предности и особина анализе стабла отказа је потреба за разумевањем система, јер једино тако може прецизно да се изгради стабло отказа за задати систем. Познавање и разумевање система међутим укључује много различитих и важних елемената.

Основна разматрања обухватају:

- познавање конструкције и рада система,
- познавање веза између подсистема,
- искоришћавање свих информација о конструкцији, што укључује цртеже, процедуре, блок дијаграме, дијаграме тока, FMEA анализе, извештаје у неуспесима итд.,
- коришћење актуелних података, да би се добили актуелни резултати,
- захтевање вештине из ове области инжењерства (електроника, механика, софтвер) и
- провера да ли је стабло отказа исправно од стране конструкторског тима и купца.

Правило бр. 6 – Разумевање података о неуспеху.

Разумевање података о отказу система је још један од кључних корака у изградњи стабла отказа. Ово укључује познавање квалитативних и квантитативних података. Нетачни или погрешно интерпретирани подаци могу довести до погрешног модела и погрешних резултата. Подаци о отказу компоненте система се односе на режим рада, стопу неуспеха и податке о поузданости. Поуздани и доказани подаци су очигледно најпожељнији и дају најпрецизније резултате. Са друге стране прелиминарни подаци и процене могу да буду од велике користи, јер могу да убрзају процес производње.

Основна разматрања обухватају:

- потребно је да постоје подаци помоћу којих може да се изврши квантитативна процена,
- тачност и веродостојност података,
- разумевање режима рада који доводи до неуспеха.

Правило бр. 7 – Познавање алата за анализу стабла отказа.

Постоји велики број различитих алата за анализу стабла отказа, који имају различите могућности и нивое тежине. Веома је важно познавање алата, јер неки алати обезбеђују функције које други не поседују. Потребно је установити који се резултати у анализи захтевају, и тиме се водити у одабиру алата.

Основна разматрања обухватају:

- познавање основних могућности алата (конструкција, уређивање, цртање, извештај),
- познавање граница алата и
- препоручено је да се користи алат који је једноставан за руковање, и ког којих је лако извршити промене итд.

Правило бр. 8 – Познавање малих бројева.

Када је стабло отказа конструисано, веома је важно имати јасну разумевање малих бројева и њиховог значења. Иако су веома корисни, мали бројеви се често погрешно користе. Пошто се не користе свакодневно, многи људи не схватају у потпуности њихово значење или значај.

Основна разматрања обухватају:

- вредности поузданости су у опсегу од 0 до 1 и
- експонент је величина од примарне важности.

Правило бр. 9 – Разумевање резултата.

Резултати добијени анализом стабла отказа морају бити исправно схваћени и проверени, нарочито пре закључака и препорука. Веома је лако погрешно протумачити резултате. Постоји могућност да добијени резултати нису тачни, а то може да буде последица рачунарске грешке, грешке у полазним подацима, употребе застарелих цртежа или људског фактора. Посебно је значајно да се изврши провера резултата анализе стабла отказа.

Правило бр. 10 – Документација и објављивање резултата анализе.

Након завршетка анализе стабла отказа, генерална је пракса да се документују резултати. Ако у захтевима документација није тражена, треба узети у обзир да је увек пожељно направити је. Документација не треба да садржи само сумирање резултата анализе, већ и основна правила, дефиниције, информације о конструкцији, дијаграме стабла отказа, резултате и закључке. Документација може бити коришћена у наредним истраживањима, и потребно је да аналитичари могу лако да пронађу тражене податке из документације. Све ово је потребно због могућих будућих промена или ажурирања анализе стабла отказа које се некад врше и годинама после прве анализе.

У раној фази пројектовања, формирање стабла отказа омогућава идентификацију потенцијалних начина отказа, утврђивање њихових узрока и успостављање везе између њих. Са развојем пројекта, стабло отказа се постепено развија и коригује, како би се обухватиле све измене у пројекту. На основу резултата ФТА анализе, могу да се одреде критични елементи машинског система који ограничавајуће делују на поуздан и сигуран рад система. Рангирање компоненти у погледу критичности омогућава конструктору фокусирање пажње на елементе који у највећој мери утичу на поузданост, са циљем предузимања мера за минимизирање или потпуно отклањање узрока отказа. Поред тога, добијени резултати могу да се користе у поступку скраћених испитивања за оцену поузданости [5].

При анализи сигурности, стабло отказа служи за одређивање могућих узрока различитих отказа са тешким последицама по људе и животну средину. Одговарајућа анализа стабла отказа омогућава откривање таквих комбинација стања компоненти које доводе до отказа и које није могуће на други начин открити.

Стабло отказа представља погодно средство за илустрацију предности предложеног решења у односу на друга, односно материјал за аргументовану расправу. Ако пројектовани систем садржи грешке, стабло отказа може помоћи при налажењу слабих места и показати како она доводе до нежељеног догађаја. У правилно пројектованом систему, сви узроци потенцијалних отказа система могу да се предвиде стаблом отказа.

У општем случају, Анализа стабла отказа - ФТА може да се примени за:

- детаљну анализу разматраног машинског система са аспекта појаве отказа,
- утврђивање узрочно-последичних веза између отказа структурних целина различитих нивоа припадности,
- евидентирање највећег броја потенцијалних начина отказа саставних елемената који резултују губитком радне способности система,
- формирање блок-дијаграма поузданости система итд.

3.5. Методологија анализе стабла отказа

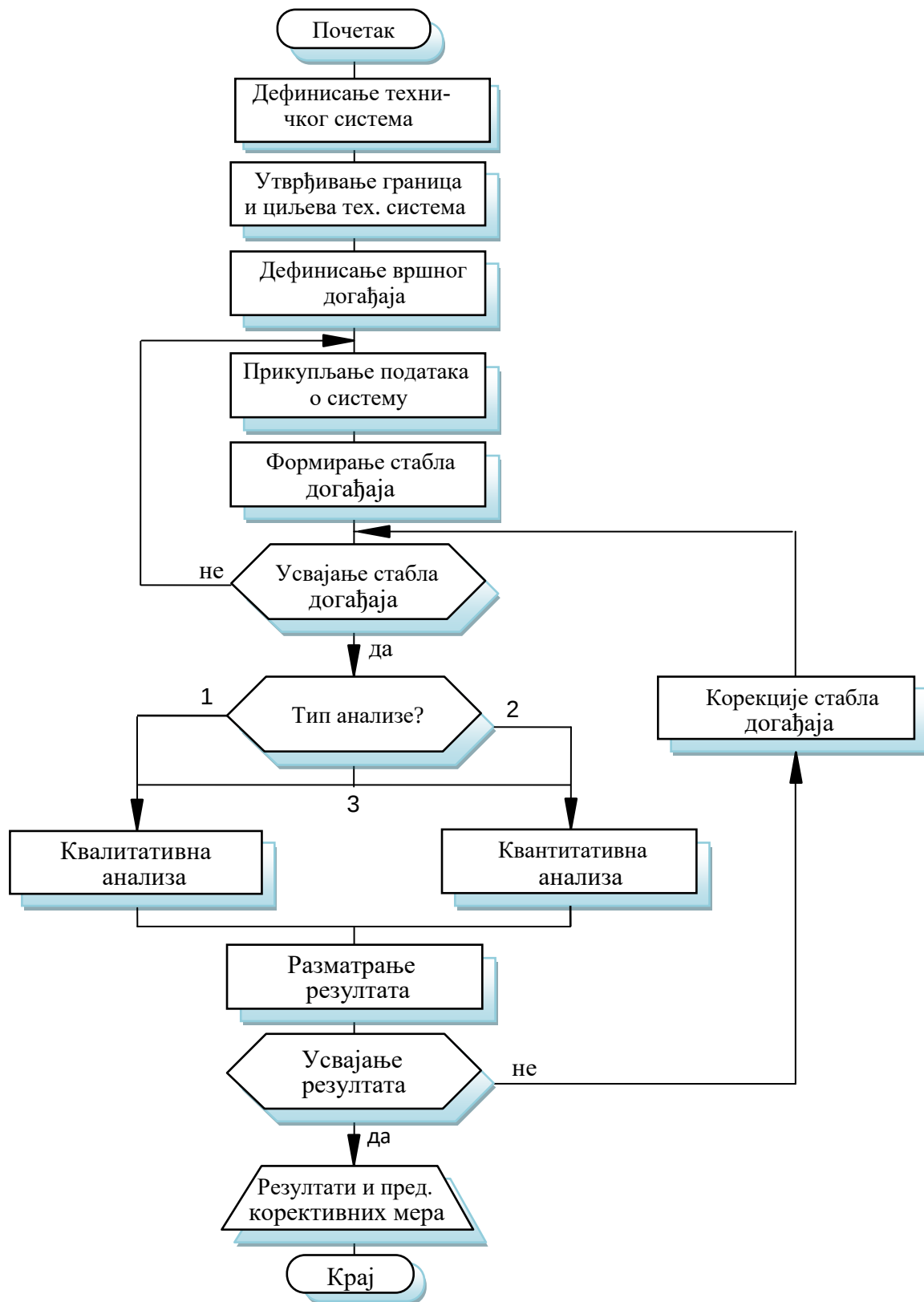
Анализа стабла отказа представља дедуктивну методу, која врши предвиђање највероватнијих узрока отказа система. Моделирањем и симулацијом услова који доводе до отказа система добијају се резултати анализе стабла отказа. FTA представља методу која узима у обзир потенцијалне грешке, отказе и њихове узроке. Пошто је ово дедуктивна анализа, потребно је прво да се дефинише систем и опишу услови који дефинишу делимични и потпуни отказ система. Анализа се даље креће у смеру разлагања система на подсистеме, склопове, подсклопове и елементе и дефинисање услова у којима они отказују, односно узрока отказа. Да би се правилно и најједноставније анализа извршила, неопходно је успоставити методологију анализе стабла отказа [7].

Анализом броја и редоследа корака методологије анализе стабла отказа различитих техничких система, формирана је методологија анализе стабла отказа машинских система дата у раду. Пошто је FTA један од два поступка анализе стабла догађаја, уопштавањем поменуте методологије добијена је методологија анализе стабла догађаја приказана на слици 3.1, која се може применити на било који технички систем. Као што се са слике може видети, методологија анализе стабла догађаја обухвата [7]:

1. дефинисање техничког система;
2. утврђивање граница и циљева техничког система;
3. дефинисање вршног догађаја;
4. систематско прикупљање података о систему и њихову анализу;
5. формирање стабла догађаја за утврђени вршни догађај;
6. проверу и усвајање стабла догађаја;
7. квалитативну и/или квантитативну анализу;
8. разматрање резултата и проверу њихове комплетности и подударности са захтевима;
9. усвајање резултата и
10. презентирање резултата и предлог корективних мера.

На почетку анализе поузданости машинског система методом анализе стабла отказа, даје се дефиниција и утврђују се границе и циљеви система. Из практичних разлога наводе се све претпоставке, које се односе на систем и које ће бити коришћене у даљем раду.

Вршни догађај у стаблу догађаја, у зависности од анализираног система, може да буде општи (у облику отказа или исправног рада система), или специфичан (уколико укључује само нека стања система или његових компоненти). Брижљив избор вршног догађаја је веома значајан за успех анализе. Ако је догађај исувише општи, анализа постаје гломазна и њоме се не може управљати. У супротном, ако је догађај исувише специфичан, анализа не обезбеђује довољно добар увид у систем. Вршни догађај мора да се у потпуности дефинише, како би узрочни догађаји могли јасно да се препознају [5].



Слика 3.1 Методологија анализе стабла отказа

Од аналитичара се захтева да пре него што приступи формирању стабла догађаја, веома добро проучи систем са становишта структуре, начина функционисања и међусобног односа саставних елемената. Основа за то је скуп информација садржаних у конструкционој документацији произвођача, прорачунима, извештајима са испитивања, каталозима, приручницима за одржавање, рекламацијама корисника итд. Само потпуно познавање начина функционисања система и његових елемената, као и познавање њихових међусобних веза, омогућава спровођење логичке анализе којом се одређују потребни и довољни услови за реализацију вршног догађаја. У почетној фази пројектовања, функционални блок-дијаграм може да послужи као основа за формирање стабла догађаја. Функционална анализа структурних целина техничког система и разрада функционалног блок-дијаграма спроводи се на следећи начин:

- идентификују се компоненте система и описује се начин њиховог рада;
- издвајају се сви елементи система најнижег структурног нивоа и описују се њихове елементарне функције;
- идентификују се сви улази и излази из система и сумирају се њихове везе са осталим системима и
- црта се функционални блок-дијаграм система који, поред тога што показује како су саставни делови међусобно повезани, јасно одређује спољашње везе система.

Формирање стабла отказа се врши уз помоћ симбола за догађаје, логичке капије и пренос (табела 3.1). Велика предност симболике стабла отказа се огледа у томе што се симболи за догађаје повезани логичким капијама, лако могу превести у алгебарске изразе [5].

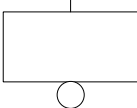
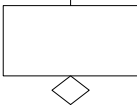
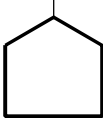
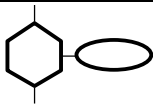
За догађаје се користи већи број различитих симбола, који показују да ли се ради о сложеним или о базичним иницирајућим догађајима. За сложене догађаје користи се правоугаоник. Од симбола за базичне догађаје најчешће се користи круг, који означава стање елемента система условљено његовим карактеристикама, и ромб који означава неразвијени догађај. Број симбола у облику ромба у стаблу отказа показује дубину спроведене анализе.

Логички симболи у стаблу отказа омогућавају међусобну условљеност и повезаност догађаја нижег и вишег нивоа. Поред симбола логичких капија, постоји читав низ других мање коришћених симбола, као што су приоритетна "И" капија, искључива "ИЛИ" капија итд.

Симболи за пренос у облику троуглова, са идентификационом ознаком у виду слова унутар њих, омогућавају формирање сложених стабала отказа у виду матичног стабла и одређеног броја подстабала. Поред тога, уколико постоје идентични делови стабла отказа, коришћењем ових симбола избегава се непотребно понављање истих делова стабла, а самим тим постиже се уштеда у простору и боља прегледност стабла.

Када је стабло догађаја комплетирано, оно се систематски анализира ради разумевања логике повезаности догађаја и бољег увида у различита стања система. Ако је у питању стабло отказа, процес анализе требало би да се фокусира на отказе чија је вероватноћа појаве највећа. Уколико стабло догађаја не одражава право стање или сви значајни догађаји нису обухваћени или не постоји логичка веза базичних и вршног догађаја, врши се додатно прикупљање података о систему и модификација стабла догађаја. Ради елиминисања субјективности, у оцењивању формираног стабла догађаја учествују људи који добро познају коришћену методу и објекат истраживања и који нису били непосредно укључени у изради стабла.

Табела 3.1 Символи за догађаје, логичке капије и пренос

Назив симбола	Графички приказ	Опис
Вршни или посредни догађај		Правоугаоник означава догађај на излазу из логичке капије (вршни или посредни), који се јавља као последица логичке комбинације улазних догађаја.
Примарни базични (изворни) догађај		Круг означава базични иницирајући догађај који не захтева даље развијање. Независан догађај који се користи само као улаз у логичку капију. Представља завршетак стабла отказа у тој тачки.
Секундарни базични (неразвијени) догађај		Ромб означава догађај који није развијен до сопствених узрока због недостатака потребних информација, или мале значајности последица, или избегавања паралелности анализе.
Нормално очекивани догађај		"Кућица" означава очекивани догађај, чије се појављивање природно очекује током нормалног функционисања техничког система у пројектованим условима рада и који може узроковати вршни догађај.
Условни догађај		"Овал" означава условни догађај дефинисан у облику специфицираних услова или ограничења. Обично се примењује у комбинацији са логичким капијама.
"ИЛИ" капија		Логичка капија која производи излаз ако се деси један или више улазних догађаја. (Излазни догађај капије "ИЛИ" дешава се ако се деси бар један улазни догађај.) Графички симбол садржи идентификациони знак "+" или "ИЛИ".
"И" капија		Логичка капија која производи излаз само ако се десе сви улазни догађаји. (Излазни догађај капије "И" дешава се тада и само тада када се десе сви улазни догађаји.) Графички симбол садржи идентификациони знак "." или "И".
Блокирајућа капија		Улазни догађај у блокирајућу логичку капију доводи до реализације излазног догађаја само у случају ако је задовољен условни догађај.
Пренос "у"		Означава да је стабло отказа даље развијено на догађај одговарајућег преноса "из" означен истим идентификационим великим словом (нпр. на другој страни).
Пренос "из"		Означава да се овај део стабла отказа мора припојити на одговарајући пренос "у" означен истим идентификационим великим словом.

У зависности од начина груписања основних узрока вршног догађаја, односно од начина дефинисања подвршних догађаја, постоје три могућности формирања стабла догађаја. У првом случају, посредни догађаји у стаблу догађаја су стања одговарајућих структурних целина (хардверски-структурни приступ), у другом, догађаји који описују у ком смислу је дошло до догађаја на излазу из логичке капије и који су заједнички за више елемената без обзира на структурну припадност (функционални приступ). Трећа могућност представља комбинацију претходне две. Први начин формирања стабла догађаја прикладан је за добијање блок-дијаграма поузданости разматраног система и за анализу начина и последица отказа (ФМЕА) његових елемената. Други начин може да се користи код анализе заједничког узрока базичних догађаја. У свим случајевима базични догађаји у стаблу догађаја су идентични.

Описи догађаја у одговарајућим симболима стабла могу одговарати отказном или исправном стању (успешном раду) структурних целина разматраног техничког система. Уколико је вршни догађај у стаблу догађаја отказ објекта, онда се такво стабло догађаја назива стабло отказа. У супротном, уколико је вршни догађај у стаблу догађаја исправно стање објекта, онда се такво стабло догађаја назива стабло исправног рада.

У претходно наведеном приступу, формирање стабла догађаја, анализа и евентуални предлози у вези корективних мера, представљени су као засебни кораци. У практичној примени присутна је велика интеракција између тих корака. Као резултат тога, стабло догађаја се у току читавог поступка спровођења ове анализе мења и прилагођава новим захтевима, насталим у смислу бољег разумевања различитих догађаја и њихових међусобних веза.

Квалитативна анализа стабла догађаја је широк појам који, поред формирања и логичке анализе стабла догађаја, подразумева одређивање скупа минималних пресека догађаја, анализу заједничког узрока и друге анализе.

Од поступака квантитативне анализе стабла догађаја, у пракси се најчешће користи рангирање (поређење) базичних догађаја према структурној важности, рангирање базичних догађаја према важности у погледу вероватноће појаве и одређивање вероватноће појаве вршног догађаја у зависности од вероватноћа појаве базичних догађаја.

Структурна важност базичног догађаја у стаблу отказа одређује се у зависности од броја његовог појављивања у минималним пресецима догађаја и од броја чланова у тим пресецима. Важно је нагласити да ова мера не зависи од вероватноће појаве догађаја.

Важност базичног догађаја, са аспекта вероватноће појаве, одређује се тако што се мери утицај промене вероватноће његове појаве на вероватноћу појаве вршног догађаја.

И поред свега наведеног, анализа стабла отказа има озбиљна ограничења:

- Подсистем је погодан за пропусте који не доводе до несреће. Праћење свих ових програма безбедности система (SSP) је скуп и неефикасан процес. Ако се овај приступ користи комбинујући га са FMEA (или FMECA) обављајући програм поузданости може уштедети неке трошкове.

- Овај приступ се концентрише обично на отказима у раду хардвера у мањој мери на отказима софтвера, и често је неадекватан, пажња је посвећена људским факторима. На пример, склопка са изузетно нископ стопом отказа може бити искључена из разматрања, али погрешно постављање прекидача може довести до незгоде. Суседно постављање прекидача за напајање и прекидач светла, посебно слични пројекти ће довести до грешке оператера.

- Радни услови се обично узимају у обзир, али је вероватноћа појаве ових услова ретко размотрена. То може довести до примене контроле за нереалне догађаје.

- Вероватноћа отказа који води ка опасности у вези хардвера игнорише латентне недостатке уведене кроз подстандардне производне процесе. Тако неке опасности могу бити пропуштене.

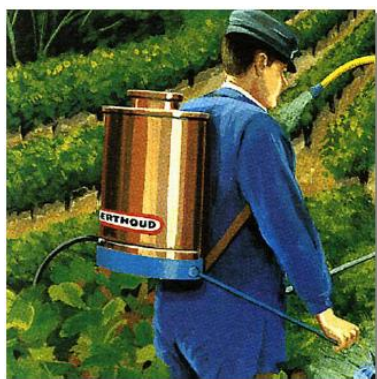
- Једна од највећих замки у анализи стабла отказа (и у другим техникама) је преко прецизна математичка анализа. Пречесто, аналитичари покушавају да добију „тачан“ број из „нетачних“ података, превише времена може бити потрошено на побољшање прецизности анализе, а не на елиминисање опасности.

4. РАТАРСКЕ ПРСКАЛИЦЕ И СТАБЛО ОТКАЗА

За апликацију пестицида у ратарству се најчешће користе прскалице. Прскалице су најзаступљеније машине, од свих машина, опреме и уређаја за апликацију пестицида, у пољопривредној пракси наше земље. Слична ситуација је и у осталим европским земљама, с изузетком Шпаније у којој су орошивачи најзаступљеније машине за апликацију пестицида. Према подацима из 2009. године сакупљеним из 25 европских земаља укупан број прскалица и орошивача у Европи је преко 2.000.000,00. Према пољопривредном попису из 2012, број тракторских прскалица у Србије је 138.084,00 [8].

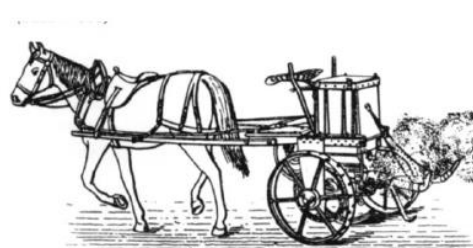
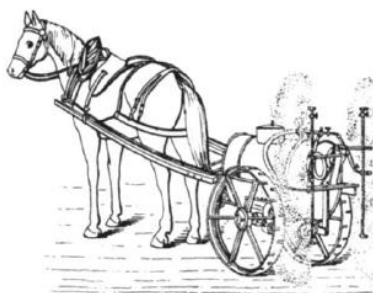
4.1. Историјски развој ратарских прскалица

У Европи је прва леђна прскалица направљена у Француској од Вермола и Бертхоуда 1895. године, а фирма „Холдер“ у Немачкој 1898. године прави прву леђну прскалицу која је радила под притиском, слика 4.1 [9].



Слика 4.1 Прве леђне прскалице

Међу првим запрежним прскалицама у Европи су прскалице направљене од 1909. до 1910. године од Карл плаца (Carl Platz) у Немачкој, слика 4.2 [9].



Слика 4.2 Запрежне прскалице са почетка 20. века

Након запрежних прскалица са појавом трактора је уследила појава тракторских прскалица, почев од прскалице приказане на слици 4.3 а), направљене средином прошлог века у фирми „Холдер“, па до савремених прскалица са почетка 21. века, слика 4.3 б).



Слика 4.3 Развој ратарских прскалица

У тексту су већ поменуте леђне, запрежне и тракторске прскалице. Запрежне прскалице данас више нису у употреби, а све остале могу да се поделе према начину ношења на: ручне, леђне, ручно превозне и тракторске ношене и вучене прскалице. Постоје и прскалице које није потребно носити, то су стационарне прскалице.

Ношене ратарске прскалице су идеалне за мале и средње пољопривредне парцеле. Шасија је пластифицирана, а израђена је од металних цеви. Уређај се монтира на клизној шини која омогућава лакшу регулацију висине. Систем затварања је Х. Цеве носача дизни су од челика високе издржљивости, а носачи дизни садрже по једну дизну и против капајући систем. Филтер са додатком усисног испусног вентила даје могућност и прикључка црева за додатно напајање. Ношена ратарска прскалица је приказана на слици 4.4.



Слика 4.4 Ношена ратарска прскалица

Вучене ратарске прскалице се препоручују за велике пољопривредне парцеле. Шасија је пластифицирана, а израђена је од савијених профила. Точкови су одговарајуће висине и ширине, чиме се спречава гажење пољопривредних култура. Резервоар се састоји из три дела: главног резервоара, резервоара за прање руку и резервоара за испирање система. Уређај се монтира на клизној шини која омогућава лакшу регулацију висине. Систем затварања је преклопни. Цеве носача дизни су од

резине високе издржљивости, а носачи дизни садрже по једну дизну и против капајући систем. Филтер са додатним усисно испусним вентилом даје могућност прикључка црева за додатно напајање. Хомогенизација препарата се остварује хидромешачем. Вучена ратарска прскалица је приказана на слици 4.5.



Слика 4.5 Вучена ратарска прскалица

Група стационарних прскалица намењена је за заштиту малих воћњака и винограда од биљних болести и инсеката, а поред тога даје изврсне резултате у борби против штетних инсеката у домаћинствима и индустријским објектима, магацинима, силосима итд (дезинсекција). Погодне су за смештај у пикапове, мале камионе, приколице или могу да буду стационариране на самом терену, слика 4.6.



Слика 4.6 Стационарна прскалица

Ручне прскалице (колица) су идеална за прскање винограда, воћњака, стакленика, и других парцела где није могућ приступ са већим машинама, слика 4.7.



Слика 4.7 Колица

Поред наведених, прскалице могу бити и самоходне машине, слика 4.8, али у нашој земљи је број таквих прскалица мали.

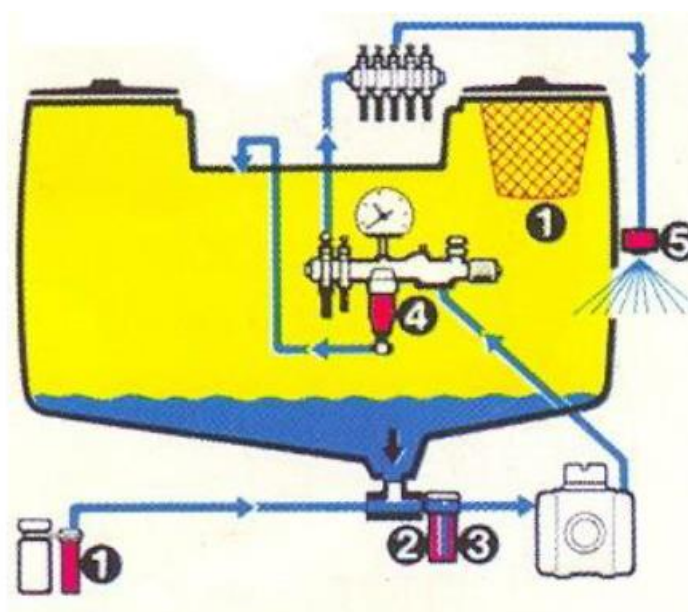


Слика 4.8 Самоходна прскалица

Без обзира на различитости које постоје међу прскалицама, по њиховој грађи, начину ношења и осталом, радни делови свих прскалица су мање или више слични.

4.2. Радни делови ратарских прскалица

Ратарска прскалица се састоји од резервоара, пумпе, система за мешање, спроводних цеви, регулатора притиска, прскајућих крила и распрскивача, слика 4.9 [8].

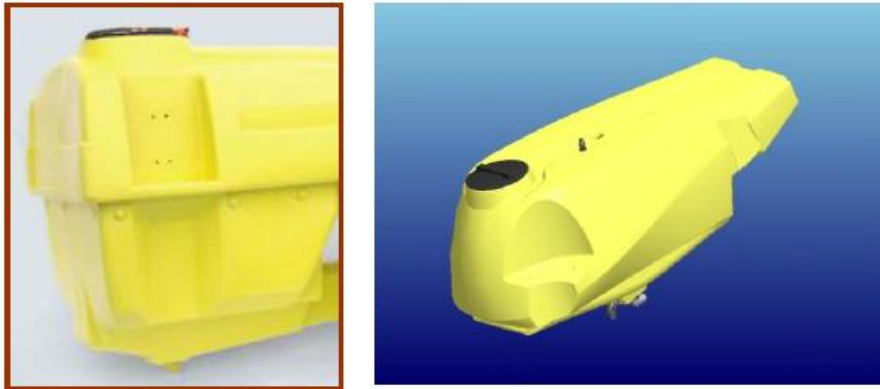


Слика 4.9 Шематски приказ рада и делова прскалице
1. уливни филтер; 2. филтер испред пумпе; 3. пумпа;
4. мерно-регулациона јединица; 5. распрскивач

Већина компоненти прскалице јесу интегралне компоненте које се мењају само у случају главног прегледа. Да би заштита била што успешнија, ваља добро упознати радне делове, функционисање, регулисање и одржавање машина и уређаја који се користе за апликацију.

4.2.1. Резервоар

Резервоар за течност, слика 4.10, код машине за третирање има улогу да складишти и чува суспензију или препарат за третирање и у неким случајевима воду потребну за прављење ових суспензија или емулзија.



Слика 4.10 Резервоар прскалице

Облик резервоара је различит у зависности од типа машине (ношена или вучена) и одређен је простором који чини рам машине. У садашње време се најчешће користе резервоари цилиндричног облика или паралелепипедног са заобљеним ћошковима и обрнуто пирамидалним дном да би се сва течност сливала.

За прављење резервоара се користе материјали отпорни на механичко хабање и на корозију. Данас се користе различити метали као што су нерђајући челик (инокс), у ређим случајевима легура бакра или пластичне масе као полиетилен или полиуретанске смоле армиране стакленим влакнима (фиберглас).

Резервоари који су прављени од нерђајућег челика имају глатку унутрашњу површину, што омогућава лако одржавање и прање од пестицида. Такође, и резервоари од полиетилена имају глатку унутрашњу површину, док резервоари од полиуретанске смоле, армиране стакленим влакнима нису толико глатки и имају доста висок степен храпавости на унутрашњој површини и теже се одржавају [8].

Капацитет резервоара зависи од величине уређаја за прскање. Тако да леђне прскалице и прскалице које се вуку мануелно имају резервоаре запремине од 10 – 100 l. Резервоари машина и уређаја за прскање који су ношени, вучени или самоходни имају резервоаре много већег капацитета између 100 и 4.000 l.

Код машина за прскање које имају капацитет резервоара преко 200 l, вредност номиналне запремине се заокружује у стотине литара. Стварна вредност запремине резервоара треба да износи 5 – 10% више од декларисане. Тако се осигурава резерва течности, која чине сливање или пенушање суспензије из резервоара.

Због избегавања несрећа и чувања природне средине резервоари су опремљени отвором за вентилацију (обично на поклопцу), који омогућава улаз ваздуха у резервоар у току рада, без сливања течности из резервоара.

За пуњење и прање резервоара, резервоари машина за прскање имају један отвор на горњем делу одговарајућег пречника који омогућава приступ у резервоар [10].

На отвору за пуњење резервоара поставља се један пречистач у облику сита, слика 4.11, који има улогу да задржи нечистоће које могу негативно утицати на рад прскалице или орошивача.



Слика 4.11 Пречистач у облику сита

За пражњење у експлоатацију, резервоари на дну имају једну славину која може бити са шибером, клапном или куглицом, слика 4.12, која треба да омогућава брзо затварање резервоара у случају хаварије инсталације за прскање. Препоручљиве славине су оне које имају три отвора, који омогућавају улаз ваздуха у инсталацију за прскање, тачније пражњење инсталације без пражњења резервоара.



Слика 4.12 Врсте славина за пражњење главног резервоара:

а) славина са шибером, б) славина са клапном, c) славина са куглицом, три отвора

Осим главног резервоара, на савременим машинама су присутни и резервоар за пестицид и резервоар за прање руку, слика 4.13. Запремина резервоара за прање руку износи минимум 15 литара или 10% од запремине главног резервоара.



а) Резервоар за прање руку

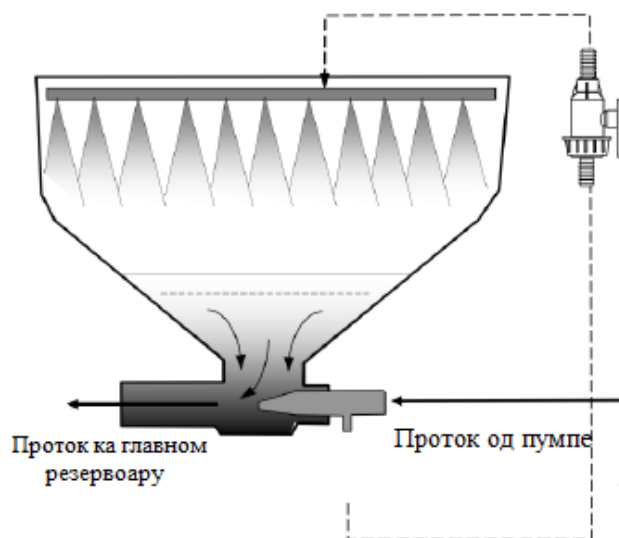


б) Резервоар за пестицид



Слика 4.13 Резервоари

Резервоар за пестицид обезбеђује прецизније и еколошки безбедније дозирање и рад са пестицидима. Пестицид се сипа у резервоар, где се на дну истог меша са течностју која доспева из пумпе, слика 4.14 [10].



Слика 4.14 Принципијски дозирања пестицида преко посебног резервоара

Тако захваћен пестицид одлази у главни резервоар, а одатле се преко мерно-регулационе јединице дистрибуира током третирања.

4.2.2. Мешалице

Унутар главних резервоара налазе се уређаји за мешање суспензије у току рада и пре почетка рада.

Доста експеримената је урађено ради конструкције решења мешалице, као што су механичке, пнеуматске и хидрауличне мешалице, али не одговарају сви функционалним потребама. На прскалицама и орошивачима се најчешће примењује хидраулична мешалица. Хидраулична мешалица ради на принципу повратка течности под притиском од пумпе преко преливне цеви до мешалице, са више отвора. Што је притисак већи мешање је боље.

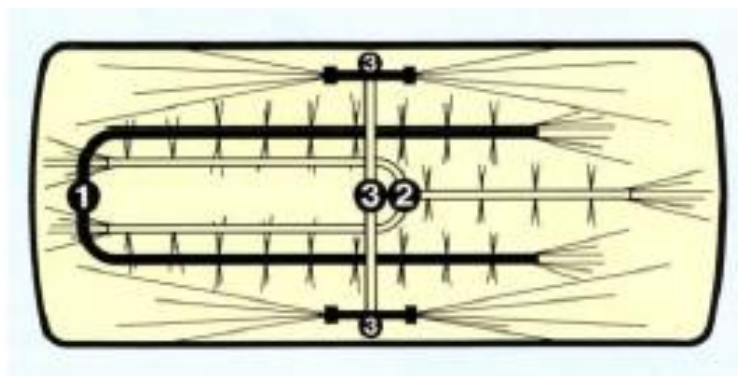
Мешалицу чине цеви од нерђајућег челика или пластике које су монтиране на око 100 mm висине од дна резервоара. Ове цеви у горњем делу имају отворе за излаз течности у облику млаза, са брзином која може да помеша осталу течност из резервоара са пестицидом.

Друга варијанта мешалице користи ејектор, слика 4.15. Предност коришћења оваквих мешалица је у томе што се мешање течности обавља енергичније и могуће је користити сав проток пумпе.



Слика 4.15 Мешалица с ејектором за хидраулично мешање

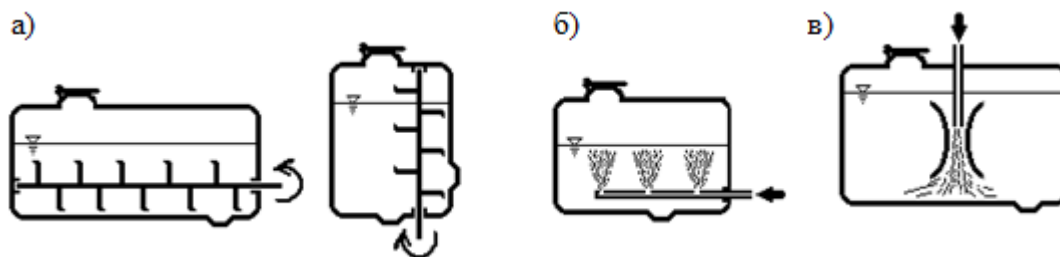
Мешање течности код нових прскалица, слика 4.16, обавља се често на три начина: повратни вод, вод под притиском и ињекторско мешање са четири млазнице. Не сме доћи до таложења препарата, односно до различитих концентрација раствора.



Слика 4.16 Мешалица течности са три извода

Механичке мешалице се такође доста користе, али најчешће у комбинацији са хидрауличним. Механичка мешалица, слика 4.17 а), се састоји од лопатица или елиса постављених на осовину која се налази близу дна, а пролази читавом ширином или дужином резервоара. Погон добија преко ланца или каиша. Окретањем лопатица омогућује се интензивно мешање.

Пнеуматске мешалице, слика 4.17 б), се ређе користе и оне као енергију за мешање користе брзину и притисак ваздушне струје, који добијају од спољнег извора ваздуха (нпр. компресор). Најчешће се користе поменуте хидрауличне мешалице, слика 4.17 в). Код машина које поседују пнеуматске мешалице треба користити пестициде који нису склони пенушању, што је информација назначена у упутству за коришћење пестицида.



Слика 4.17 Типови мешалица
а) механичка, б) пнеуматска, в) хидраулична

Тестирање система за мешање се обавља помоћу оксида бакра у концентрацији од 1%. Према FAO резервоар се напуни до номиналног капацитета, укључи се мешалица машине за прскање, и узимају се три једнака узорка. Први узорак извлачи течност са 50 mm дубине од горњег нивоа течности, други из средине резервоара а трећи са 50 mm размака од дна резервоара. Узорци се остављају да се таложе 16 часова после којих се узимају поново три иста узорка. Разлике мерења добијају се мерењем сувих узорака на температури од 105 – 110°C. Разлике се, код доброг мешања течности, морају да крећу у границама $\pm 10\%$ од почетне вредности.

Неке од нових генерација машина за прскање унутар резервоара имају један или више распрскивача са више дизни за испирање резервоара, слика 4.18.



Слика 4.18 Испирање резервоара помоћу ротационих распрскивача

Распрскивачи су ротационог типа и слични онима који се користе у прехранбеној индустрији за прање стаклене амбалаже. Ови распрскивачи добијају течност преко једног вентила од пумпе. Прање (испирање) се обавља водом. Ова течност са врло малом концентрацијом пестицида се испразни једнако на део третиране површине. Нипошто не сме да се испушта у систем за канализацију или у близини водотокова и површина, које би могла да загади.

4.2.3. Системи за пречишћавање течности

Ради обезбеђења доброг функционисања прскалица и орошивача, ове машине имају систем за пречишћавање течности који се састоји из више филтера и то:

- на отвору резервоара,
- на уисној цеви која одводи течност од резервоара до пумпе,
- у систему разводних цеви, пре или после регулатора притиска и
- у сваком распрскивачу.

Прво пречишћавање се ради на улазу у резервоар, на горњем отвору где се налази један пречистач у облику сита, већ поменут у претходном поглављу. Овај пречистач је доста груб и честице као што је песак, могу проћи кроз филтер и стижу до пумпе коју могу прерано да исхабају. Да се ово не би десило, машине су опремљене једним главним филтером, који се налази на уисној цеви пумпе, слика 4.19 [8].



Слика 4.19 Филтер на уисној цеви

Главни филтер се састоји од кућишта унутар којег је постављен елемент (филтера) цилиндричног облика. Величина главног филтера, односно површина филтрације елемента треба да буде усклађена са протоком пумпе. Што је већи проток пумпе и површина филтера треба да је већа. У неким случајевима када је проток пумпе велики, паралелно се монтирају два филтера, који пречишћавају течност и одржавају проток пумпе. Величина отвора главног филтера се препоручује да не прелази 0,5 mm.

Код савремених прскалица, после пумпе, а пре или иза регулатора притиска налази се самочистећи пречистач који ради на принципу натпритиска, слика 4.20.

Из пумпе течност долази до регулатора притиска, а одатле у филтер који има централну цев и сито. Чиста течност одлази ка распрскивачима, а прљава преко преливне цеви назад у резервоар. На тај начин су распрскивачи заштићени од зачепљивања. То је нарочито важно за суспензије и распрскиваче са малим отворима.



Слика 4.20 Самочистећи филтер

Да би се спречило запушавање и претерано хабање распрскивача, увек треба користити филтере, који се постављају у носач распрскивача на прскајућем крилу. Правилна величина филтера коју треба користити одређује величина отвора распрскивача. Филтере треба редовно чистити, нарочито када се обавља прскање прашковима који се квасе, текућим пестицидима, или гранулама које се растварају у води.

Услед све већих захтева у попречној расподели пестицида по третираној површини и очувању животне средине, филтери који се постављају испред распрскивача су од посебног значаја, слика 4.21.



*Слика 4.21 Филтери испод распрскивача
(обичан лево, противкапајући десно)*

Противкапајући филтер, слика 4.21, има у себи опругу са куглицом која спречава капање. Наиласком течности, куглица сабија опругу и течност излази кроз отвор распрскивача, али по престанку дејства притиска течности опруга потискује куглицу која затвара отвор за пролаз течности и тако спречава нежељено капање. Посебну пажњу треба посветити “густоћи филтера”, односно величини отвора на њима. Величина отвора на свим филтерима треба да је прилагођена њиховој позицији.

Њу одређује “mesh” број који означава густину ткања по дужном инчу и самим тим величину отвора. „Mesh”, број је преузет из англоамеричке литературе и одговара броју ниту по дужном инчу. Филтере са мањим “mesh” бројем треба постављати испред и иза пумпе. Обично ови филтери имају 50 – 80 „mesh“ број, што значи да на филтеру има 50 до 80 нити на 25,4 mm дужине мрежице.

Нису препоручљиви филтерски елементи који су финији од ових, зато што у неким случајевима може доћи и до брзог зачепљења филтера. Испред распрскивача треба постављати филтере који имају „mesh“ број 80 или 100, а то су филтери црвене или зелене колор кодације, слика 4.22. Избор филтера испред распрскивача зависи од величине отвора распрскивача и увек треба да буде мањи од отвора истог.



Слика 4.22 Филтери различитог меш броја (100, 80, 50, 40, 30, 20)

Филтери морају увек бити читави и чисти. Због тога их треба што чешће чистити и контролисати, а оштећене одмах заменити.

4.2.4. Еластична црева, спојнице и спроводници за транспорт течности

Транспрот течности (од резервоара, пумпе, регулатора притиска) је обезбеђен помоћу еластичних црева или спроводника. Веза између ових компонената је урађена помоћу вентила или спојница.

Еластична црева која се користе код прскалица и орошивача су подељена према притиску на којем могу да раде:

- усисна црева, која се користе за везу резервоара, главног филтера и пумпе,
- црева високог притиска, која се користе од пумпе преко мерно-регулационе јединице до распрскивача (20 – 100 bar),
- црева ниског притиска, која се најчешће користе за повратни вод у резервоар (1 – 10 bar).

Усисна црева су црева у којима влада потпритисак (вакум) од 0 – 0,99 bar. Због тога се ова еластична црева армирају или се за њихову израду користе пластичне масе, које се не деформишу под вакумом, слика 4.23 [11].



Слика 2.23 Усисно црево израђено од армиране ПВЦ пластике

Унутрашњи пречник ових црева је обично већи од пречника црева високог притиска. Тренутно се користе црева са пречницима од 25,4 – 76,2 mm, у зависности од протока пумпе и вентила који се налазе на овом току. Материјали који се користе за израду ових црева су пластична и гумирана црева са челичном арматуром (жицом).

Црева високог притиска, која се користе су израђена од вишеслојних композитних материјала, слика 4.24. Унутрашњи слој је израђен од пластичне масе, која може да издржи хемијске реакције пестицида. Овај унутрашњи слој је пресвучен у један или два армирана слоја од пластичних или челичних нити. Преко овог слоја има још један који има улогу да заштити црево и од радијације сунца и од хемијског дејства пестицида.



Слика 4.24 Састав еластичног црева високог притиска

Унутрашњи пречник ових црева зависи од места где се користе. Код потисног вода пумпе, за пумпе протока 100 – 250 l/min, се користе црева пречника 25 до 36 mm. Док еластична црева која се користе за допремање течности до крила за прскање, су мањег пречника и између 12 – 20 mm.

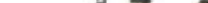
Црева ниског притиска имају исте карактеристике и састав као црева високог притиска само што је дебљина зида тања за исти пречник. Да би препознали тип црева, произвођачи су дужни да стављају ознаке према (EN 907) за главне карактеристике тог црева.

Поред наведених еластичних црева, постоје и специјална црева која се користе код повезивања манометра на потисну цев пумпе. Ова црева су израђена од специјалног материјала чија је унутрашњост глатка и не ствара отпор течности. Ова црева су пречника од 4,0 – 6,0 mm (у неким случајевима и већег пречника), провидна

Поред механичких оштећења која настају услед високог притиска, на црева утиче и пестицид хемијским оштећењем. Као последица утицаја ових дејстава, црева постају изузетно порозна и могу лако да пукну, а то доводи до неконтролисаног изливања средства и контаминирања земљишта. Због избегавања оваквих ситуација еластична црева се испитују на утицај хемијских средстава по FAO.

Овај тест може да се препоручи и за друге делове израђене од пластике или гуме, које чине саставни део прскалице и у контакту су са средством органског порекла.

У изради ових делова данас се користе и пластичне и металне цеви (нерђајући челик, месинг). Један пример ових делова јесте главна цев код ратарских прскалица и код орошивача на којој се налазе распрскивачи. Веза између еластичних и крутих спроводника се остварује помоћу спојница.





Слика 4.26 Брзе спојнице

Други тип брзе спојнице је приказан на слици 4.27. са назубљеним прстеном израђен од еластичне пластике. Он аутоматски услед стезања упада у један жлеб, дубине око 0,3 mm и тако заптива цев. Овакве везе с оваквим Џон Гест (John Guest) спојницама могу да издрже притисак до 15 bar.



Слика 4.27 Брзе спојнице типа Џон Гест

4.2.5. Пумпе

Правилан избор и коришћење пумпи подразумева познавање њихових карактеристика, односно показатеља рада. Основне карактеристике пумпи су: проток, напор, веза напора и цевовода, снага за погон, степен корисног дејства и уисна висина.

Проток представља количину течности коју пумпа даје у јединици времена. Проток пумпе се изражава у l/s, l/min, m³/s и m³/h. Проток пумпе се одређује мерењем или прорачуном на основу техничких карактеристика и режима рада.

Напор пумпе представља енергију коју сваки литар течности прими при проласку кроз пумпу и изражава се разликом енергије на излазу и улазу у пумпу.

Спрегнута пумпа са цевоводом назива се пумпно постројење. Пумпно постројење ће добро радити, ако пумпа има добар напор Н [8].

Пумпе које се примењују на прскалицама и орошивачима, с изузетком леђних орошивача који су најчешће без пумпе, могу да се поделе према начину потискивања течности на:

- пумпе са прекидним деловањем и
- пумпе са непрекидним деловањем.

Пумпе са прекидним деловањем су такве радне машине, код којих се кућиште наизменично пуни из усисног простора и празни у простор у којем се течност налази под притиском. У ову групу спадају: клипне, клипно-мембранске и мембранске пумпе. Ове пумпе се због протока и радног притиска који остварују користе код прскалица и орошивача.

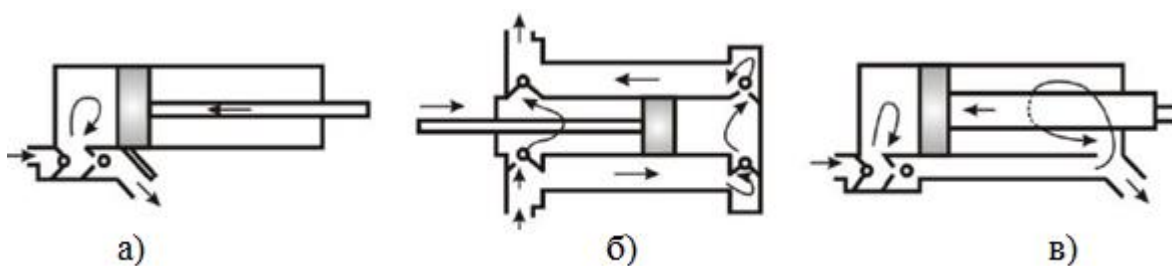
Пумпе са непрекидним деловањем су такве радне машине, кроз чије кућиште течност непрекидно протиче из усисне цеви у потисну цев. У ову групу спадају оклопљене, центрифугалне и млазне пумпе. Ове пумпе се, с изузетком центрифугалне, веома ретко користе. Центрифугална пумпа може да се види код орошивача и прскалица.

4.2.5.1. Клипне пумпе

Пумпе које усисавају и потискују течност клипом могу да буду простог дејства, двојног дејства и диференцијалне.

Принцип рада пумпе простог дејства или једнорадне пумпе слика 4.28 а), састоји се у томе да се кретањем клипа из крајњег положаја ка унутрашњости цилиндра, обавља усисавање течности, при чему је усисни вентил отворен, а потисни затворен. Кретањем клипа у супротном смеру, од унутрашњости цилиндра ка спољном крајњем положају, потискује се течност из цилиндра преко потисног вентила у потисну цев. Код потискивања потисни вентил је отворен а усисни затворен да се течност не би враћала назад у резервоар.

На тај начин, код овог типа пумпе радни процес одвија се само са једне стране клипа, а свако друго кретање клипа представља радно кретање, односно остварује потискивање течности.



Слика 4.28 Клипне пумпе
(једноредна, дворедна и диференцијална)

Код пумпи дворадног деловања или дворадне пумпе слика 4.28 б), сваким кретањем клипа остварује се потискивање течности.

Код дворадне пумпе радни процес одвија се с обе стране клипа, и с обе стране клипа налазе се заптивни склопови било на клипу или на цилиндру. У цилиндру са сваке стране има по један усисни и један потисни вентил. У простору према којем се клип креће настаје притисак, тако да је усисни вентил затворен, а потисни отворен, а у простору на супротној страни створен је потпритисак (вакуум), при чему је отворен

усисни а затворен потисни вентил. Према томе код овог типа пумпе на једном крају цилиндра обавља се усисавање течности, док се на другом крају у исто време обавља потискивање и обрнуто.

Диференцијална пумпа, слика 4.28 в), такође је израђена, да код једног хода клипа усисава и потискује а код повратног само потискује течност.

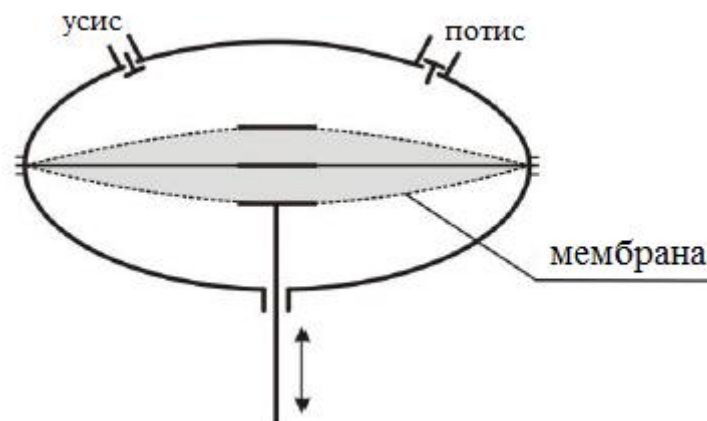
Ова пумпа ради тако, што клип код кретања с лева на десно усисава одређену количину течности у леву страну цилиндра и у исто време потискује из десног дела цилиндра количину течности. Код повратног хода клип потискује из левог дела цилиндра количину али истовремено ослободи у десном делу простор, тако да у потисну цев оде само одређена количина.

Ако је површина пресека клипњаче половина пресека клипа, тада је потискивање течности при сваком кретању клипа једнако, односно износи половину од усисане течности.

Према томе, код диференцијалне пумпе део цилиндра мање радне површине (због клипњаче), користи се да при потисном ходу клипа прима део потиснуте течности и при усисном ходу потискује тај део течности у ваздушну комору, односно цев. Број импулса пумпе се удвостручује уз исти капацитет, а избацивање је једноличније.

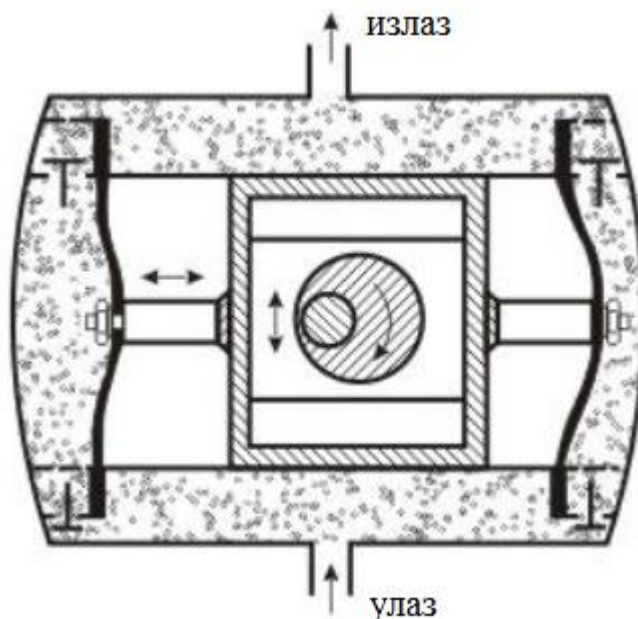
4.2.5.2. Мембранске пумпе

Рад мембранских пумпи заснива се на принципу угибања (деформисања) мембране, која обавља функцију клипа. Полуга са доње стране слике 4.29, се креће периодично навише и наниже. При кретању мембране наниже обавља се усисавање из усисног вода, а при кретању мембране навише, течност се потискује у потисни вод. Радна запремина зависи од деформације мембране.



Слика 4.29 Мембранска пумпа, принцип рада

Поред оваквих једноставних мембранских пумпи постоје и сложеније које се састоје из две или више комора и мембрана и добијају погон од прикључног вратила трактора. Двомембранска пумпа, слика 4.30, с ексцентарским механизмом састоји се из две мембране, које усисавају и потискују течност наизменично.



Слика 4.30 Двокоморна мембранска пумпа

Када лева страна усисава течност, десна страна потискује течност преко усисних, односно потисних вентила. Усисавање течности је преко заједничког улаза, а потискивање преко заједничког излаза. Вентили на пумпама прекидног дејства су по грађи различити. По облику и грађи могу бити: мембрански, заклопни, кугласти, тањирасти, конусни и др. У свом саставу могу да поседују опругу. Вентили с опругам затварају се деловањем опруге, а они без опруге притиском, односно потпритиском који ствара пумпа.

Све мембранске пумпе одликују се једноставном конструкцијом. Немају делове који се тару, а агресивна течност не долази у директан додир са покретним металним деловима, те су ове пумпе отпорне на корозивно и абразивно деловање хемијских материја под притиском.

Мембранске пумпе се због отпорности на пестициде најчешће у пољопривреди користе код машина за заштиту биља, код мотора, пумпи ниског притиска и као помоћне пумпе за пуњење већих пумпи, код система за наводњавање (вештачка киша).

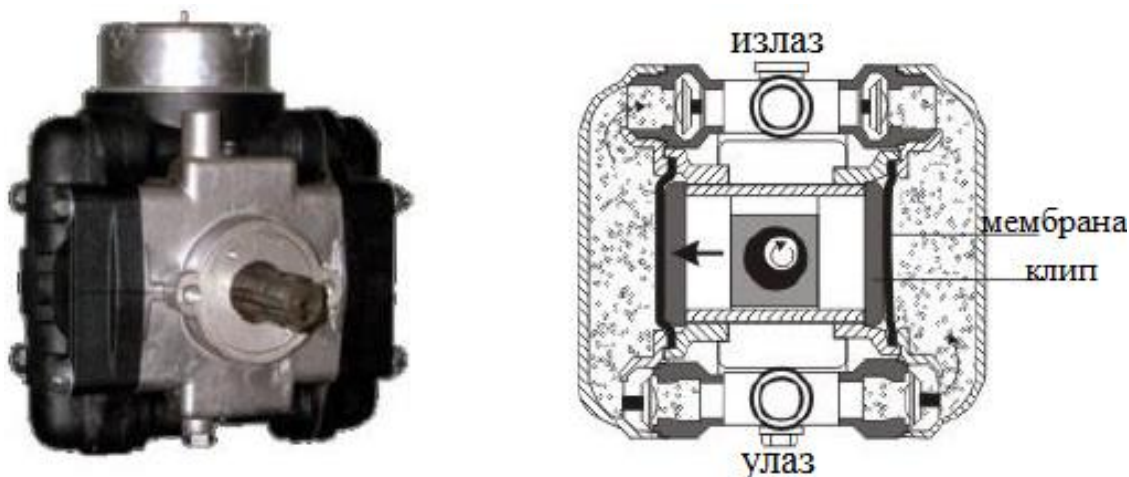
4.2.5.3. Клипно – мембранске пумпе

Да би се отклонили недостаци клипне пумпе, због додира клипа с агресивним течностима и мембранске пумпе због великог оптерећења мембране, користе се клипно – мембранске пумпе.

Клипно – мембранске пумпе имају клипове, који се налазе у уљаном купатилу, те су стално подмазивани без било какве опасности од заривавања. Мембрански систем је отпоран на хабање и корозију. Овакве пумпе обезбеђују велики проток, чак до 200 l/min, уз притисак до 40 bar. Могу да буду дво или четвороклипне, односно коморне. Мале су тежине и заузимају мало простора, те су погодне за директно спајање на прикључно вратило трактора или за постављање на постојеће постоље прскалице.

Грађа ове пумпе, слика 4.31, је таква да у једном лежећем цилиндру ради двоструки клип, односно два клипа у уљаном купатилу. Ови клипови на свакој страни потискују по једну мембрану. Један клинасти прстен између клипа и мембране

подупире мембрану, чиме је појачава и омогућује већи ход клипа, не дозвољавајући да се брзо смањује трајност мембране. Слично је грађена и четворокоморна пумпа са два пута по два клипа. Код неких клипно–мембранских пумпи налази се опруга, између мембране и зида кућишта пумпе, да обезбеди брже враћање мембране у моменту усисавања течности.



Слика 4.31 Клинно – мембранска пумпа

4.2.5.4. Обртно – клипне пумпе

Обртно – клипне пумпе, или под другим називом “оклопљене пумпе”, теоретски су пумпе са прекидним дејством, међутим, услед већег броја обртаја та прекидност је мала и сматрају се непрекидним. Код оклопљених пумпи у затвореном кућишту крећу се један или више потискивача. При том кретању захватају течност и потискују је у потисну цев или одређени простор. Потискивањем се у усисном простору ствара потпритисак, који повлачи нову количину течности.

Ове пумпе се често зову и пумпе с окретним клиповима, или запреминске пумпе. Компактне су и лаке. Обично се директно причвршћују на прикључно вратило трактора од којег добијају погон. Остварују непрекидно дејство те немају вентиле.

Недостатак им је да се успешно примењују само за течности које не садрже састојке који у већој мери утичу на трошење метала као што је, на пример, случај са течностима у којима је растворен креч.

Према конструкцији обртно - клипне пумпе се израђују и користе као:

- зупчасте,
- крилне,
- ваљкасте,
- брегасте,
- завојне,
- клипно – радијалне,
- клипно – аксијалне,
- импелер.

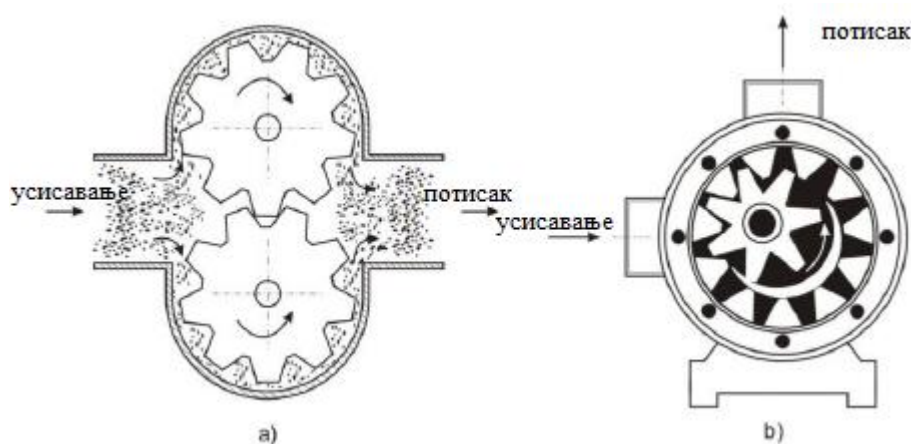
Зупчасте пумпе

Зупчасте пумпе су данас најпростије и најјефтиније уљно–хидрауличне пумпе. Одликују се малом тежином, једноставном конструкцијом, ниском ценом, великим степеном искоришћења и дугим веком трајања. По конструкцији могу бити пумпе са спољашњим или унутрашњим зупчањем. Зупчасте пумпе се израђују са капацитетом до 80 l/min. Број обртаја је до 3000 o/min, а могу да обезбеде велики притисак, чак и до 160 bar.

Зупчаста пумпа са спољашњим зупчањем, слика 4.32 а), састоји се од дводелног кућишта у којем су смештена два зупчаника у захвату. Код обртања зупчаника у смеру стрелице, празна међузубља се пуне течношћу из усисног вода, која се потискује (транспортује) у потисни вод.

Приликом узубљивања зупчаника, део течности која је заостала у међузубном простору се сабија уз висок притисак, што изазива допунска оптерећења на лежиштима, повећава се загревање и пумпа ради са већим шумом.

Зупчаста пумпа с унутрашњим зупчањем, слика 4.32 б), састоји се из већег зупчаника у облику чауре с унутрашњим зупцима и мањег ексцентрично постављеног зупчаника са спољашњим зупцима. Између зупчаника на ексцентричном делу, налази се преграда у облику полумесеца (лука) која омогућује да се течност транспортује ка излазу, попуњавањем међузубних простора зупчаника.



Слика 4.32 Зупчаста пумпа

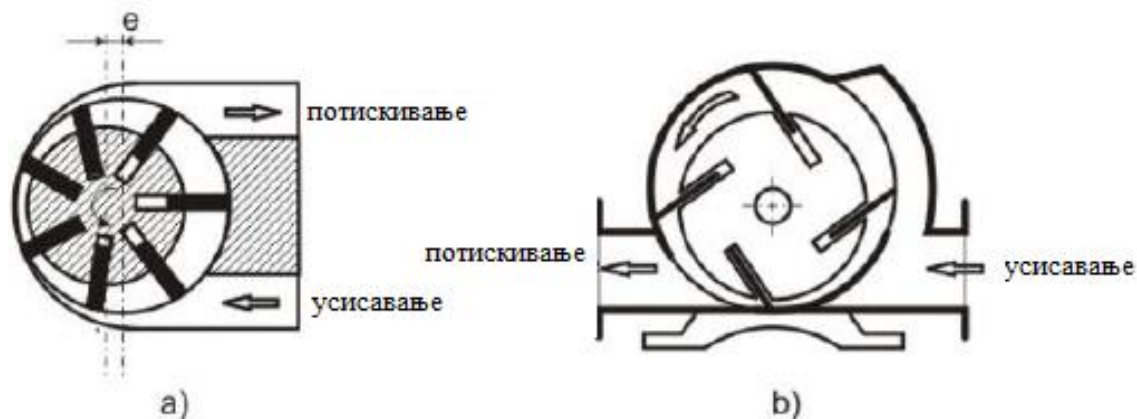
Крилне пумпе

Према конструкцији то су најстарије пумпе од свих постојећих које су се користиле за уљну хидраулику. То су ротационе пумпе у којима су елементи за потискивање радне течности израђени у облику крилаца (плоча), која су смештена у ротор. Течност која се потискује затворена је између два суседна потискујућа елемента и површине статора и ротора.

Према броју радних циклуса, у току једног обртаја вратила крилне пумпе могу бити: једноструког и вишеструког деловања.

Крилна пумпа једноструког деловања, слика 4.33, ради на принципу промене запремине у коморама које образује крилца пумпе, увлачећи се и извлачећи се у току једног обртаја ротора. То се остварује захваљујући ексцентрицитету између ротора и статора.

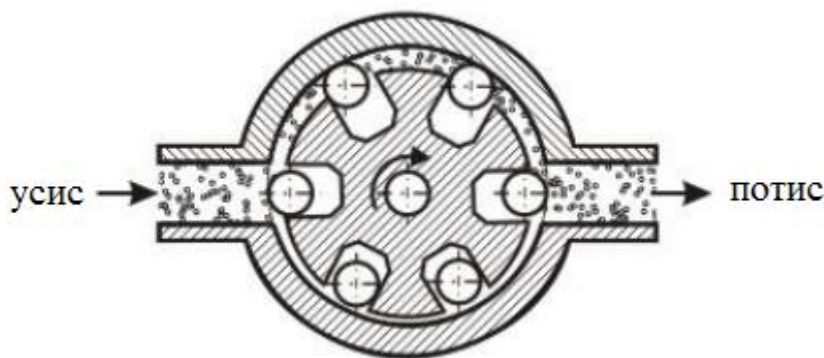
Крилне пумпе се израђују са 8 – 12 крилаца, а код пумпи вишеструког деловања и до 16 крилаца. Код већег броја крилаца проток је равномернији, а смањује се и њихово оптерећење. Добре особине крилних пумпи је да имају миран и бешуман рад, као и могућност регулације протока променом ексцентритета ротора. Недостатак им је што су осетљиве на велике притиске када лако долази до лома крилаца (лопатица пумпе).



Слика 4.33 Крилна пумпа
а) са правим крилицима, б) са косим крилицима

Ваљкасте пумпе

Ваљкасте пумпе, слика 4.34, уписавају и потискују течност помоћу ваљка (ролни) који се налазе у жлебовима по периферији. У жлебовима ротора који је смештен ексцентрично у кућишту налазе се ваљчићи, који при обртању ротора, услед центрифугалне силе, већ према положају у кућишту улазе или излазе из жлебова, те потискују течност од улазног према потисном отвору.

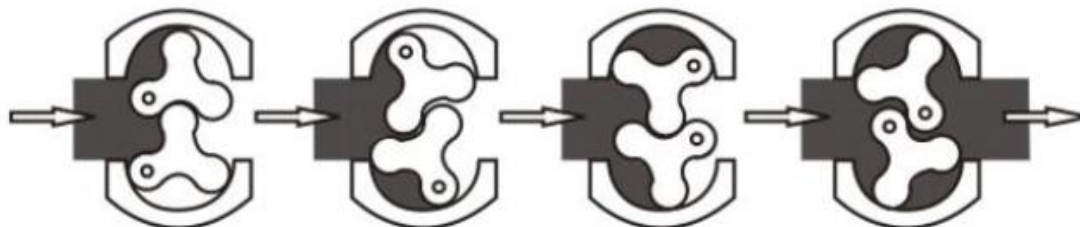


Слика 4.34 Ваљкаста пумпа

Ова пумпа се одликује једноставним поступком код монтаже за одржавање. Директно се монтира на прикључно вратило трактора. Израђују се од ливеног гвожђа. Осовина је од нерђајућег челика. По потреби и други делови се граде од специјалног материјала. Проток пумпе се рачуна слично као код зупчастих и крилних пумпи.

Брегасте пумпе

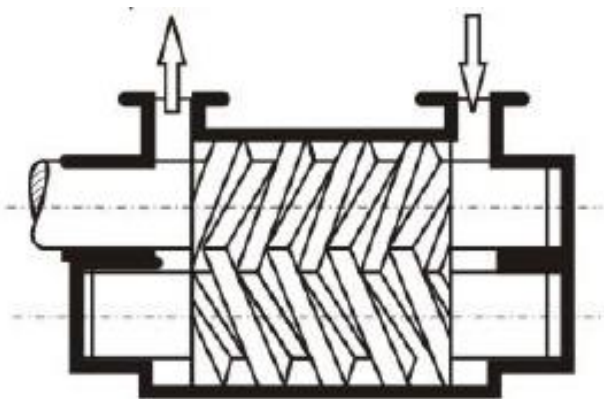
Услед равномерног обртања пари ротора, слика 4.35, настаје вакуум на уписној страни, која је одређена путем смера обртања погона. На тај начин увуче се флуид у пумпни простор. Услед даљег обртања доспева флуид даље потискиван са два истоветна ротора, који се синхронно okreћу. Поред наведених пумпи са три брега израђују се и пумпе са два брега, које се још називају бубрежасте.



Слика 4.35 Брегаста пумпа, принцип потискивања течности

Завојне пумпе

Ове пумпе раде на принципу потискивања радне течности кроз коморе које се образују уздужно између кућишта пумпе и завојног вретена. Завојне пумпе по конструкцији могу бити са два, три и више вретена – завојница. Пумпа са два вретена, слика 4.36, потискује течност без ротације, чиме се постиже константан проток, миран и бешуман рад.



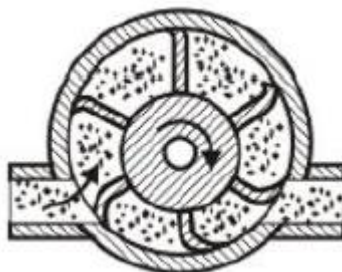
Слика 4.36 Завојна пумпа

Наведена пумпа има два обртна вратила са завојним профилима, која су смештена у кућишту тако да при обртању завојне површине делују као клипови који се равномерно аксијално померају.

Импелер пумпа

Импелер пумпа, слика 4.37, има ексцентрично постављен ротор са гуменим лопатицама.

Окретањем ротора лопатице захватају течност и избацују је на потисни вод. Део те течности се враћа (кружи), што има за последицу остварење мањих притисака. Имелер пумпе служе за избацивање течности из резервоара или пребацивања течности из једног суда у други.



Слика 4.37 Имелер пумпа

4.2.5.5. Центрифугалне пумпе

Центрифугалне пумпе су нашле широку примену у пољопривреди, а посебно у области наводњавања. Погон ових пумпи може бити остварен помоћу електромотора, помоћу мотора с унутрашњим сагоревањем, или пумпа може бити погоњена од прикључног вратила трактора.

Центрифугалне пумпе обезбеђују континуалан проток течности. Центрифугална пумпа је приказана на слици 4.38.

Кућиште код центрифугалних пумпи је изведено у облику спирале (пужа) која омогућује да се кинетичка енергија одбацивања течности претвара у енергију притиска. Центрифугалне пумпе по конструкцији, односно броју радних кола могу бити :

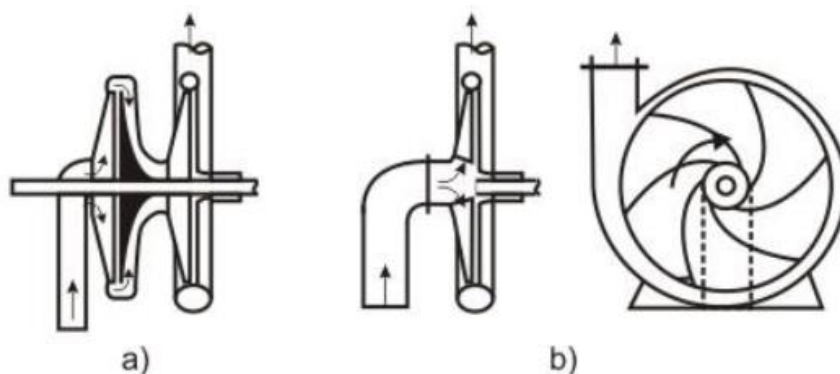
- једностепене, (једно радно коло),
- двостепене и
- вишестепене.



4.38 Центрифугална пумпа

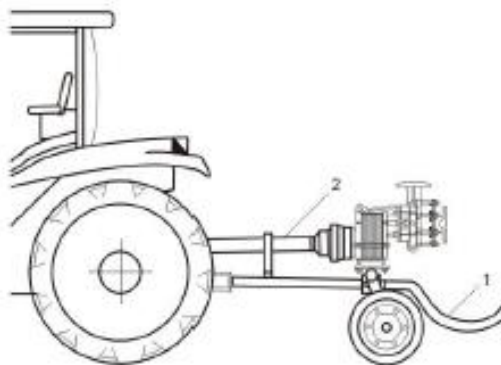
Вишестепене пумпе се примењују тамо где је потребан већи притисак (напор) а проток остаје приближно исти као код једноступене пумпе.

Осим коришћења вишестепених пумпи, слика 4.39 а), притисак се може повећати редним везивањем две или више једноступених пумпи, слика 4.39 б). У случају када су потребне веће количине, једноступене пумпе се паралелно повезују. Све пумпе потискују течност у један заједнички цевовод. Проток центрифугалне пумпе може да се регулише на више начина: притварањем вентила, променом броја обртаја или постављањем обилазног вода.



Слика 4.39 Центрифугалне пумпе
а) двоступене, б) једноступене

Међутим, пумпа треба да ради по препорученом (називном) броју обртаја, када је највећи степен искоришћења погонског мотора, слика 4.40.



Слика 4.40 Погон центрифугалне пумпе

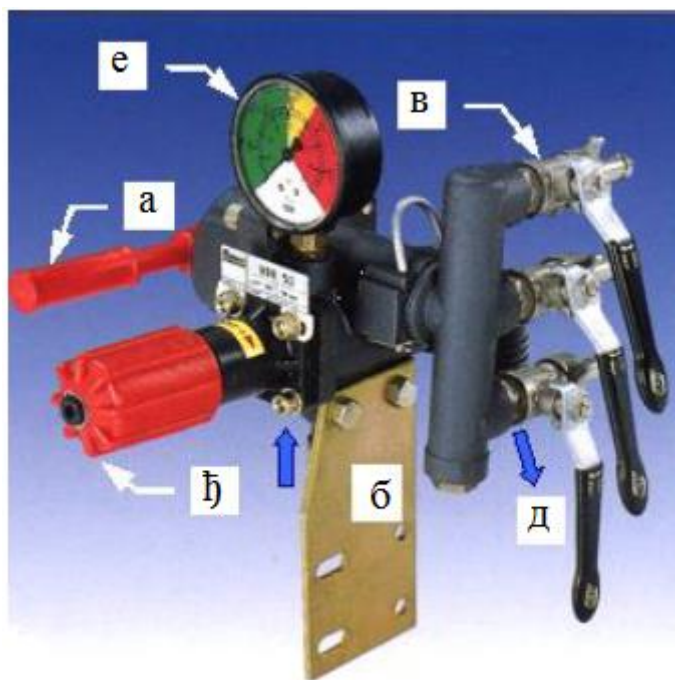
4.2.5.6. Млазне пумпе

Млазне пумпе називају се још и струјне хидрауличне машине, које су специфичне по конструкцији и намени. Оне се карактеришу по томе што се за повећање количине енергије флуида користи енергија неког другог флуида. У случају када се енергија преноси са течности на течност, уређаји се називају ејектори, а када се енергија преноси са ваздуха (гаса) на течност или обрнуто онда се уређаји називају ињектори.

4.2.6. Мерно – регулациона јединица – разводник

Одређивање норме третирања, односно количине радне течности на јединици површине (l/ha), зависи од три параметара: брзине кретања агрегата, радног захвата прскалице и протока-капацитета течности на крилима за прскање.

Први параметар, брзина кретања агрегата трактор-прскалица се регулише променом степена преноса мењача или редуктора трактора. Други параметар је дефинисан фабричком конструкцијом саме прскалице или се одређује у односу на врсту културе која се третира. Проток течности ка распрскивачима се одређује прорачуном, одабиром величине распрскивача и радног притиска. Између радног притиска распрскивача и протока распрскивача постоји стриктна корелација. Повећањем притиска, расте и проток распрскивача, али за двоструко повећање протока потребно је четири пута повећати притисак. Регулисање протока течности ка крилима за прскање и мешалици, као и одређивање радног притиска обавља се помоћу мерно-регулационе јединице, слика 4.41 [11].



Слика 4.41 Мерно – регулациона јединица

а) главни вентил (централни усмеривач), б) носач, в) манометар, г) вентили секција,
д) сигурносни вентили, ђ) регулатор притиска

Главни вентил (а) омогућава да сва течност иде, преко вентила секција, на прскајућа крила или да се повратним водом враћа у резервоар. Одабиром положаја главног вентила (закретањем ручке) обезбеђује се постављање прскалице у радни положај (прскање и мешање) или се сва течност враћа кроз повратни вод у резервоар (самомешање).

Манометар (е), слика 4.42 је мерни уређај који показује вредност притиска. Аналогни манометри, се најчешће користе и код машина за заштиту биља.

Принцип рада ових манометара са мерном иглом је базиран на дилатацији једне цевчице овалног облика, код које је један крај затворен. Течност под притиком улази у ту цев и у зависности од притиска цев овалног облика мења пречник овалности. Ова

деформација се преко кулисног механизма преноси на један зупчasti диск на који је причвршћена крутом везом игла (осовиница) казaљке манометра.

Манометри су израђени од материјала отпорног на корозивно дејство препарата. Углавном се користе манометри од месинга, који су добре еластичности али су осетљиви на корозију или манометри од нерђајућег челика. Ради амортизације варијабилне вредности коју пумпа ствара пулсацијом, кућиште манометра се пуни глицерином.



Слика 4.42 Манометри са глицерином за мерење

Вентили секција служи за отварање и пуштање појединих секција прскајућих крила у рад.

На прскалицама чији радни захват прскајућих крила не прелази 10 метара, обично постоје два вентила за леву и десну страну. Међутим, на прскалицама радног захвата већег од 10 метара, а поготово већег од 18 метара, прскајућа крила су подељена на секције дужине 2-4 метра, које се укључују преко својих вентила. Вентили могу бити и електромагнетни, када је прскалица опремљена уређајем за електронску регулацију нормe третирања, слика 4.43.



Слика 4.43 Прекидачи за укључење и искључење електромагнетних вентила – секција прскајућих крила

Регулатор притиска (ћ на слици 4.41) је посебан тип подесивог вентила који служи за одржавање притиска течности у одређеним границама. Савремене прскалице опремљене су регулаторима који затезањем опруге треба да омогуће регулисање различитих притисака, према захтевима појединих мера заштите биља. Регулатори притиска раде на принципу регулисања повратка течности у резервоар преко повратне цеви, чиме се истовремено обавља и мешање.

Према начину рада уређаји за регулацију могу бити:

- са пропорционалним протоком у зависности од радне брзине (DPS – distribution proportional to speed)

- са константним притиском (CPD – constant pressure distribution).

Код регулатора са пропорционалним протоком у зависности од радне брзине, повећање или смањење протока се обавља променом попречног пресека код повратног вода и то преко једног конусног вентила са навојем, који омогућава повећање или смањење попречног простора. У случају повећања или смањења броја обртаја мотора трактора, мења се брзина кретања агрегата, као и проток пумпе. Кад се промени проток пумпе, мења се проток према распрскивачима и проток у повратном току к резервоару.

Код регулатора са константним притиском, и проток и радни притисак код распрскивача остају непромењени, без обзира на варијабилност броја обртаја мотора или број обртаја погона пумпе. То се остварује помоћу аутоматског отварања или затварања повратног тока који иде у резервоар. Аутоматско подешавање или одржање константног притиска у повратном воду се ради помоћу игличастог вентила (механички) или вентилом са ваздушним јастуком (пнеуматски). Код игличастог вентила, кад притисак у систему расте, течност потискује горњи део игле и помера иглу према горњем положају, за то време игла у доњем делу отвара повратни ток, док се силе не изједначе. Кад притисак опада онда ради супротно, игла на коју делује опруга спусти се и полако затвори повратни ток све док се силе не изједначе. За регулацију радног притиска, треба само завијати или одвијати завртањ опруге.

Сигурносни вентил, има улогу да спречи евентуалне хаварије у току рада, када радни притисак прелази одређену вредност. Сигурносни вентил се састоји из: затварача тока флуида што је обично једна куглица, изнад које је игла која под дејством силе (опруге или компримирани ваздух) притиска куглицу која затвара ток течности ка повратном воду. Када радни притисак прелази максимално дозвољену вредност онда под дејством силе флуида куглица притискује иглу и течност иде у резервоар до изједначавања силе флуида и силе опруге. Код неких модела, сигурносни вентил је у саставу завртања са конусом за регулацију притиска, који је монтиран слободном везом на завртањ. Код неких система сигурносни вентил се налази на потисном делу пумпе, који се услед високог притиска отвара и течност се враћа на уписном делу пумпе.

4.2.7. Уређај (арматура) за прскање

Уређај (арматура) за прскање има функцију да заједно са излазним елементима (распрскивачима) равномерно распореди и усмери радну течност на објект хемијске заштите. Расподела радне течности знатно зависи од типа, односно конструкције уређаја за прскање, а нарочито од правилне употребе истог. Уређаји за прскање могу да се поделе у две групе: ручни уређаји и аутоматски уређаји. У даљем раду ће бити опусани аутоматски уређаји [8, 10].

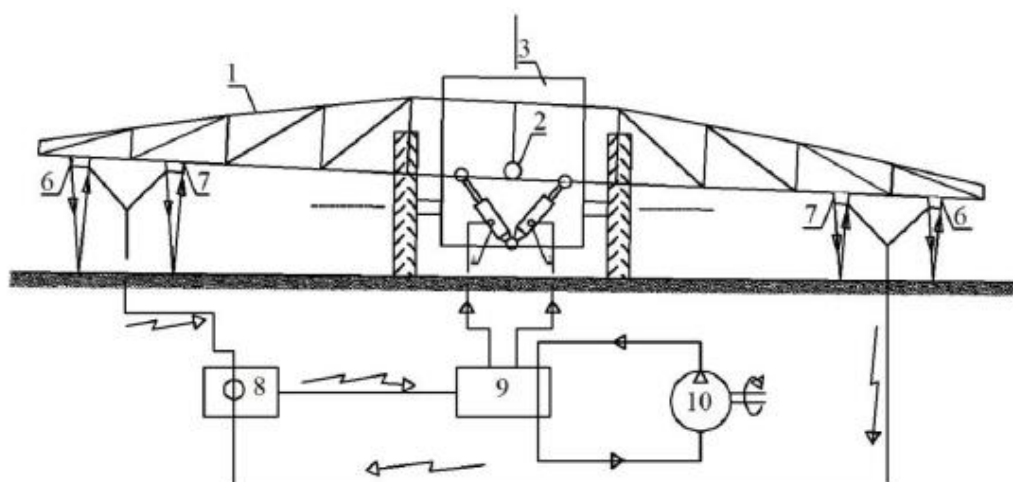
Аутоматски уређај (прскајућа крила) се налази на самој прскалице и млаз течности се усмерава аутоматски, без ручног усмеравања. Тип прскајућих крила зависи од намене машине. Код прскалица се најчешће користи тзв. уређај за површинско третирање израђен у облику хоризонталних цеви на којима су постављени распрскивачи, слика 4.44.



Слика 4.44 Прскајућа крила

Распрскивачи су најчешће постављени на размаку од 50 cm. Висина крила са распрскивачима се може подешавати да би се добило адекватно прекривање млазева распрскивача, а самим тим и добар квалитет и ефикасност заштите. Прскајућа крила су металне конструкције, направљена од лакших материјала и различите дужине, односно радног захвата. Ношене прскалице запремине резервоара од 300 до 800 литара, најчешће прате прскајућа крила од 8 до 12 метара. Склапање и расклапање тих крила је најчешће мануелно. Међутим, за прскалице веће запремине, потребан је и већи радни захват, па тако вучене прскалице запремине резервоара од 1000 до 3000 литара, прате радни захвати од 12 до 28, па и до 32 метра. Таква, широкозахватна прскајућа крила захтевају хидраулично склапање и расклапање.

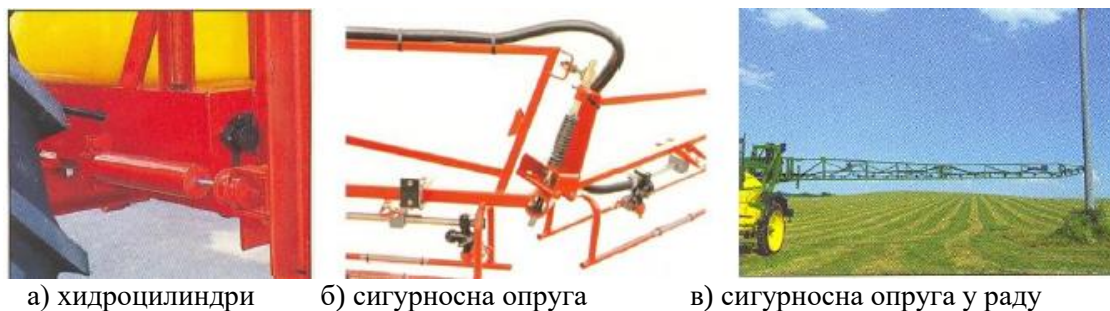
Висина прскајућих крила мора да се одржава константном при раду прскалице. Савременије решење за нивелацију крила по вертикали представља примена сензора, слика 4.45.



Слика 4.45 Аутоматска регулација висине крила

1. крила прскалице; 2. зглобна веза; 3. носач крила; 4,5. хидроцилиндри;
6,7. сензори; 8. микропроцесор; 9. сервоуређај; 10. хидропумпа

Аутоматска регулација висине крила се одвија на сигнал који шаљу сензори (6) и (7), а који реагују на сваку промену висине крила. Сигнал од сензора се допрема до микропроцесора (8), који добијене информације шаље у хидропумпу (10), коју погони прикључно вратило трактора. Хидропумпа потискује уље у хидроцилиндре (4) и (5) у којима се померају клипови и на тај начин се обавља нивелација прскајућих крила. Нивелација крила у хоризонталној равни, се такође, спроводи уз помоћ хидроцилиндара, који повезују прскајућа крила са подвозом или рамом прскалице, слика 4.46 а). Посебан додатак представљају сигурносне опруге, које су честе испред задње секције крила, слика 4.46 б), а чија намена је заштита прскалице од лома.



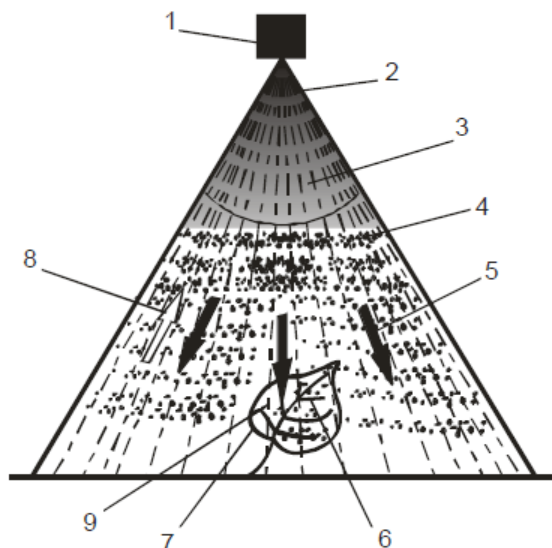
Слика 4.46. Уређаји намењени хоризонталној нивелацији крила и сигурносне опруге

4.2.8. Распрскивачи

Распрскивачи су завршни елементи прскалице и они одређују величину капљица, облик и угао излазног млаза, количину течности и квалитет покривања третиране површине. Структура и спектар капљица у млазу су веома важни параметри распрскивача и од њих зависи прецизност депозиције, тј. количина заштитног средства која се наноси на објект заштите. Структуру и спектар капљица у млазу приказује величина капи у млазу, а она највише зависи од облика излазног отвора распрскивача и радног притиска. Може се рећи да су најважније карактеристике распрскивача [11]:

- капацитет распрскивача,
- дезинтеграција радне течности – величина капљица,
- радни притисак,
- млаз,
- домет млаза.

Слика 4.47 шематски приказује принцип рада распрскивача са силама које обезбеђују пентарацију течности, али и отпор истој.



Слика 4.47 Шематски приказ рада распрскивача

1. распрскивач, 2. угао млаза, 3. стални филм млаза, 4. стварање капљица, 5. продирање (пенетрација), 6. сакупљање, 7. сливање, 8. отпор ваздуха, 9. Распршивање

Осим наведених параметара, на квалитет рада распрскивача утичу још и други параметри као што су: висина распрскивача изнад објекта третирања, размак распрскивача на прскајућем крилу (код широкозахватних прскалица) и укошеност млаза.

Један од најважнијих захтева који се поставља за рад распрскивача је равномерна расподела заштитног средства по читавој површини која се третира (попречна дистрибуција). Није довољно само остварити задату количину по хектару (норму), него је потребно ту исту количину једнолико распоредити по површини, слика 4.48.



Слика 4.48 Расподела пестицидне течности по површини третирања

У циљу наведеног потребно је задовољити неколико предуслова:

- сви распрскивачи на прскајућем крилу прскалице морају да имају једнак појединачни проток при одређеном радном притиску и сви морају да обликују правилан млаз, а размак свих распрскивача на прскајућем крилу мора бити исти,

- крило прскалице мора бити потпуно паралелно с објектом прскања, како би сви распрскивачи били на истој висини од објекта прскања,

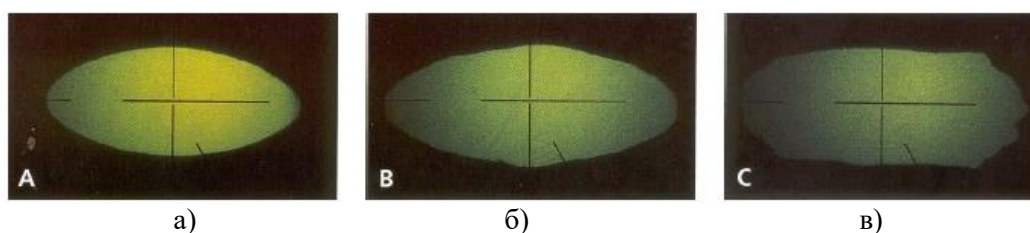
- млазеви морају бити укошени у односу на осу прскајућег крила, под једнаким углом да би се остварило њихово правилно преклапање што код данашњих прскалица и није проблем захваљујући “бајонет систему” постављања распрскивача, који обезбеђује правилан положај распрскивача самим његовим постављањем (на носачу распрскивача налазе се жлебови који одређују начин његовог постављања).

Као и сваки део, тако и уложак распрскивача има свој век трајања, након чега му предстоји замена. Век трајања распрскивача зависи од:

- материјала израде,
- висине коришћеног притиска,
- стања пречистача,
- начина одржавања.

Најбољи начин утврђивања истрошености (похабаности) распрскивача јесте упоређивање стопе протока - капацитета старог распрскивача са новим (истог типа и величине).

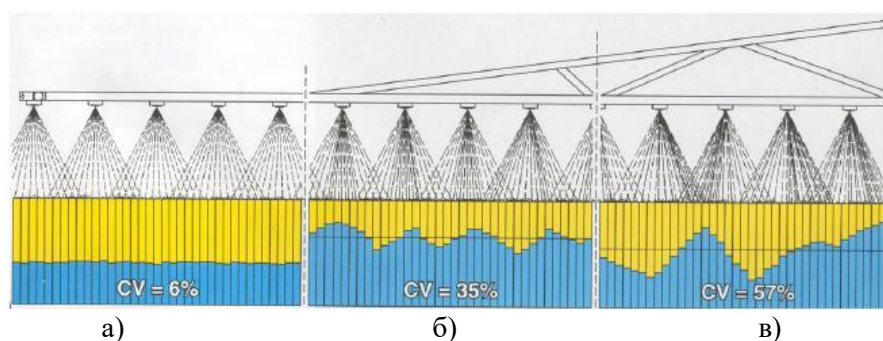
Истрошеност распрскивача, слика 4.49, је немогуће проверити визуелно, али се одлично види на оптичком компаратору. Ивице истрошеног распрскивача, слика 4.49 б), су заобљеније него код новог, слика 4.49 а). Код оштећеног распрскивача, слика 4.49 в), ивице страдају због неодговарајућег чишћења, најчешће неким чврстим предметом.



Слика 4.49 Изглед увећаног отвора распрскивача

На слици 4.50 приказана је попречна дистрибуција код новог, истрошеног и оштећеног распрскивача. На слици се јасно види да је код новог распрскивача остварена равномерна дистрибуција уз правилно преклапање млазева, слика 4.50 а), док је код оштећеног распрскивача, слика 4.50 в), попречна дистрибуција изузетно неуједначена. Код истрошеног распрскивача, слика 4.50 б), вишак течности се концентрише под сам распрскивач.

Све већ наведено указује на неопходност редовне контроле радне исправности распрскивача. Под контролом распрскивача подразумева се визуелна контрола облика млаза и провера капацитета распрскивача.



Слика 4.50 Приказ попречне дистрибуције

4.3. Стабло отказа ратарске прскалице

За формирање стабла отказа ратарске прскалице коришћен је функционални приступ. Вршни догађај у стаблу отказа дефинисан је као "Отказ ратарске прскалице", при чему се под тим подразумева потпуни или делимични губитак радне способности разматраног система. Посредни догађаји су дефинисани на начин како се запажа отказ ратарске прскалице, тј. преко обележја отказа. Треба нагласити да је један број посредних догађаја у стаблу отказа заједнички и за остале елементе пумпе и друге релевантне структурне целине ратарске прскалице.

За евидентирање потенцијалних отказа коришћена су упутства произвођача за руковање и одржавање, а разматрањем појединачних начина отказа елемената ратарске прскалице може се утврдити да се сви узрочни догађаји, који доводе до вршног догађаја, могу сврстати у 6 подвршних посредних догађаја (слика 4.51):

- отказ резервоара,
- отказ система за транспорт радне течности,
- отказ распрскивача,
- отказ пумпе,
- отказ арматуре и
- отказ мерно – регулационе јединице.

Дедуктивном анализом наведених догађаја извршено је допуњавање структуре стабла отказа узроцима који доводе до њих у виду грана стабла отказа. На тај начин, поред идентификовања и евидентирања потенцијалних начина отказа ратарске прскалице, успостављена је узрочно-последична веза између базичних, посредних и вршног догађаја.

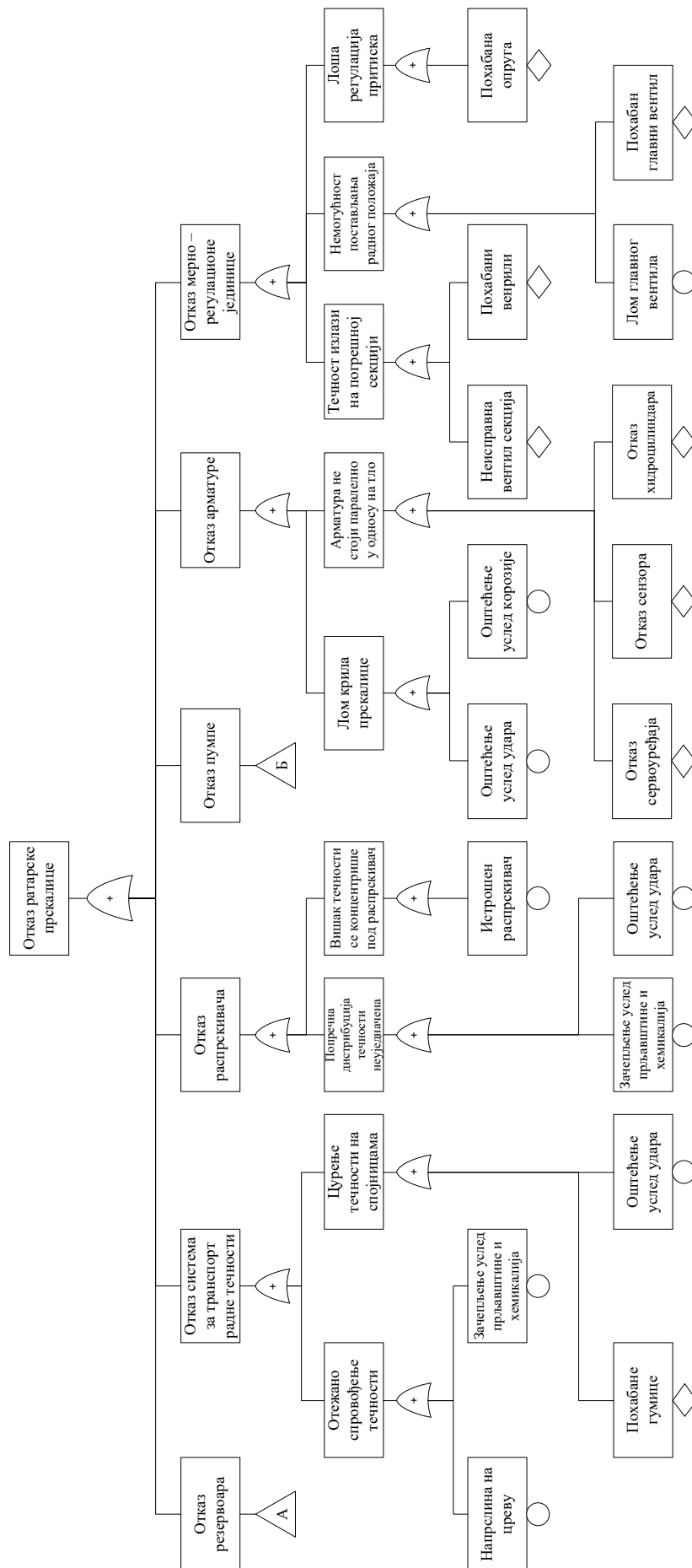
Посредни догађај "Отказ резервоара" развијен је од базичних догађаја у облику независног подстабла датог на слици 4.52

Отказ резервоара се јавља услед цурења течности из резервоара (похабана клапна славине или сломљена ручица славине), отказа поклопца (ако није затворен до краја или има напрслину услед удара), лошег мешања течности (услед лома лопатица или дотрајалих цеви) и отказа филтера (зачепљење услед прљавштине и хемикалија или самог оштећења филтера).

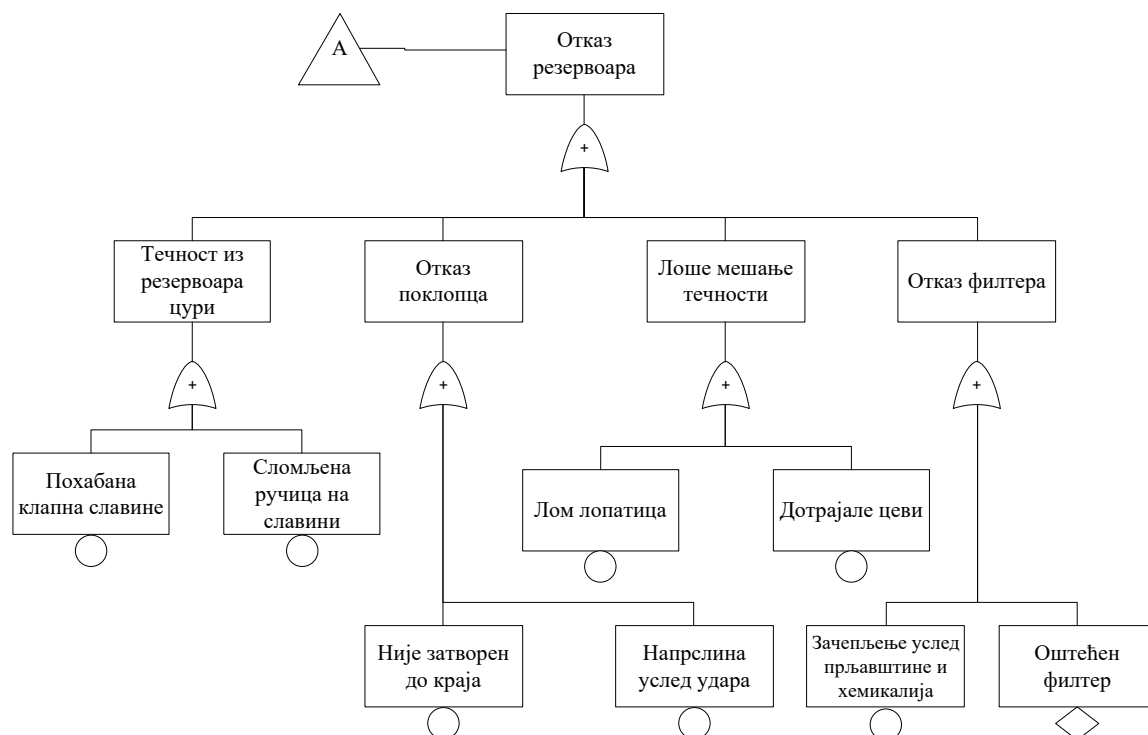
Отказ система за транспорт радне течности се јавља услед отежаног спровођења радне течности која настаје као последица напрслине на цреву или зачепљења услед прљавштине и хемикалија, као и услед цурења течности на спојницама уколико су саме спојнице оштећене приликом удара или уколико су се гумице на истим похабале.

Отказ распрскивача се јавља ако је попречна дистрибуција течности неуједначена (оштећен распрскивач или зачепљење услед прљавштине и хемикалија) или ако се вишак течности концентрише под сам распрскивач (истрошен распрскивач).

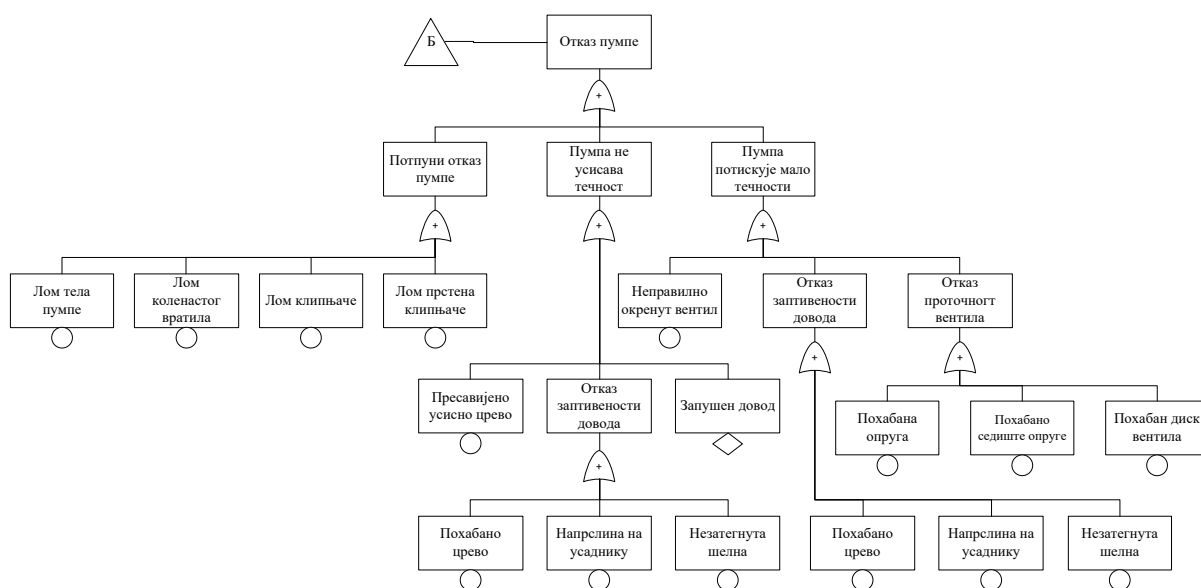
Посредни догађај „отказ пумпе“ је такође развијен у облику независног подстабла од базичних догађаја слика 5.53. Потпуни отказ пумпе услед отказа елемената пумпе доводи до потпуног губитка радне способности пумпе, а тиме и до прекида вршења функције целокупне ратарске прскалице. Узроци појаве овог догађаја најчешће су примарни откази (ломови) елемената: тела пумпе, коленастог вратила, клипа, клипњаче, прстена клипњаче, насталог услед зазора, преоптерећења или ударних оптерећења. Пумпа не усисава течност јавља се услед отказа заптивености довода: напрслина на усаднику, шелна није довољно притегнута, похабаност црева, и уколико је довод запушен: уколико не постоји филтер, или је дошло до похабаности сита филтера, па опилци, нечистоће и талог из резервоара несметано пролазе и затварају проточност усисног вода; пресавијеност усисног црева, такође и ако се на неком месту јавило пресавијање црева.



Слика 4.51 Стабло отказа ратарске прскалице



Слика 4.52 Подстабло отказа резервоара ратарске прскалице



Слика 4.53 Подстабло отказа пумпе ратарске прскалице

Отказ арматуре је јавља услед лома крила који настаје због корозије или услед удара, или ако арматура не стоји паралелно у односу на тло, што је последица отказа сервоуређаја или сензора или хидроцилиндара.

Отказ мерно – регулационе јединице се јавља услед излажења течности на погрешној секцији (неисправна вентил секција или похабани вентили) или немогућности постављања радног положаја (лом главног вентила или похабан главни вентил) или услед лоше регулације притиска (похабана опруга).

Развијено стабло отказа не треба сматрати комплетним. У конкретном случају оно се може допунити и другим догађајима са мањом вероватноћом дешавања. Груписање изворних догађаја, као и дефинисање посредних догађаја, може да се изврши и на други начин.

Дугорочно систематско прикупљање података о постојећој ратарској прскалице, резултати контроле производног процеса, резултати испитивања, рекламације корисника и слично, могу послужити као основа да се неразвијени догађаји у стаблу отказа развију до сопствених базичних догађаја [12].

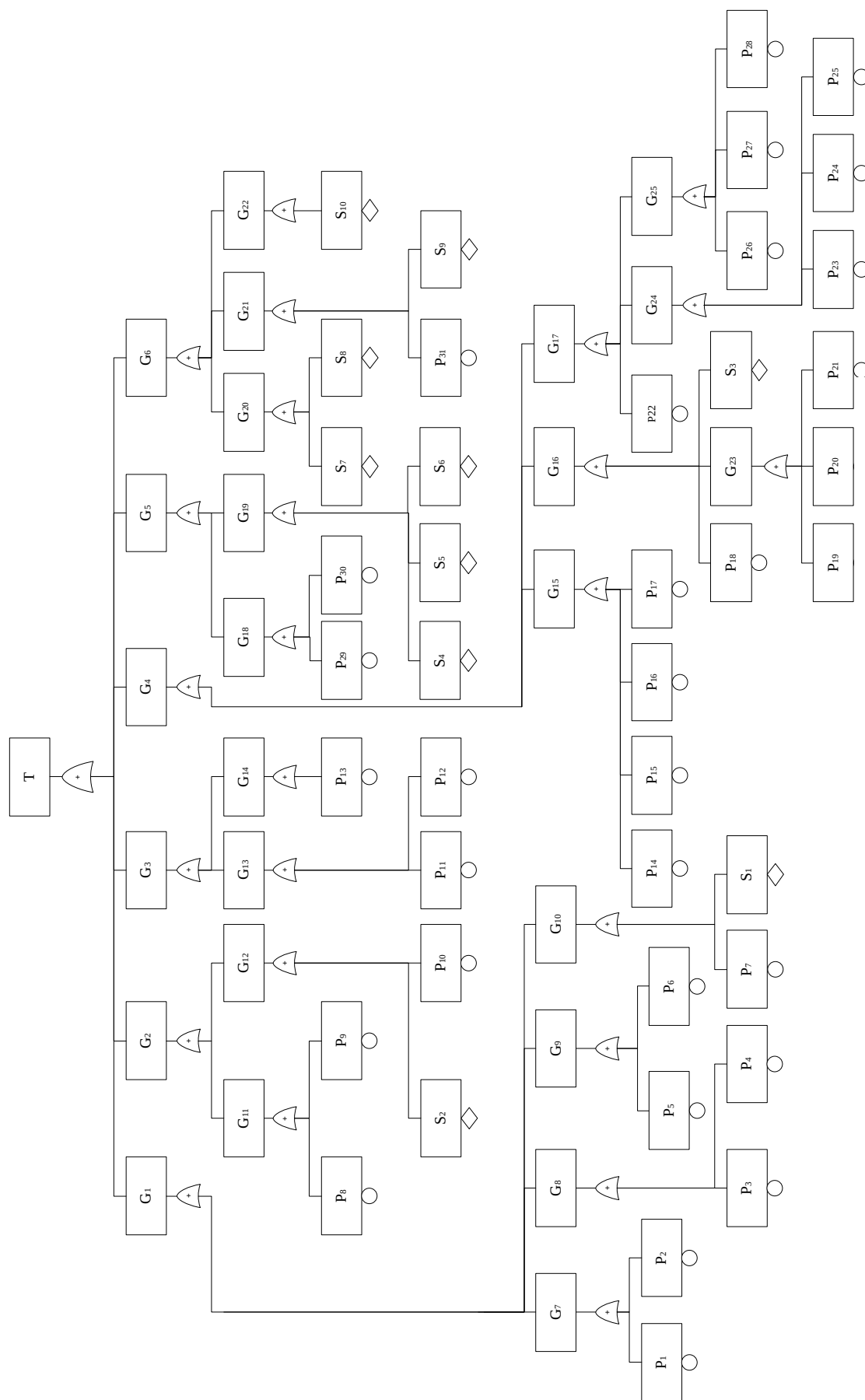
Усвајањем довољно општег вршног догађаја у стаблу отказа ратарске прскалице и његовим развојем до базичних догађаја, омогућено је евидентирање већине потенцијалних начина отказа саставних компоненти, што се може између осталог искористити као основа за анализу начина и последица отказа.

4.4. Квалитативна анализа стабла отказа

Под квалитативном анализом стабла догађаја подразумева се поступак формирања и логичке анализе стабла догађаја, одређивање скупа минималних пресека догађаја, рангирање елемената по значајности, анализа заједничког узрока итд. [5].

За одређивање скупа минималних пресека догађаја потребно је да се сви догађаји означе Буловим променљивама. Уобичајено је да се вршни догађај означава са T ("top event"), посредни догађај са G_i , $i=1,2,\dots$ ("gates"), базични догађај са E_j , $j=1,2,\dots$ ("events") или P_n , $n=1,2,\dots$ и S_m , $m=1,2,\dots$ ("primary" и "secondary" events) [5].

У циљу вршења квалитативне анализе стабла отказа ратарске прскалице (слика 4.51), сви догађаји у стаблу отказа означени су Буловим променљивама и представљени на слици 4.54. Са ове слике се види да стабло отказа са вршним догађајем "Отказ ратарске прскалице" има 25 посредних и 41 базичних догађаја (31 примарних и 10 секундарна).



Слика 4.54 Развијање вршног догађаја „Отказ ратарске прскалице“ Преко посредних, до базичних догађаја

Поступак одређивања скупа минималних пресека стабла догађаја спроводи се у три корака [5]:

1. Формирање логичких једначина за свако логичко коло у стаблу отказа. Сваком логичком колу одговара једна једначина. За стабло отказа приказано на слици 4.54 добија се:

$$\begin{aligned}
 T &= G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 \\
 G_1 &= G_7 + G_8 + G_9 + G_{10} \\
 G_7 &= P_1 + P_2 \\
 G_8 &= P_3 + P_4 \\
 G_9 &= P_5 + P_6 \\
 G_{10} &= P_7 + S_1 \\
 G_2 &= G_{11} + G_{12} \\
 G_{11} &= P_8 + P_9 \\
 G_{12} &= S_2 + P_{10} \\
 G_3 &= G_{13} + G_{14} \\
 G_{13} &= P_{11} + P_{12} \\
 G_{14} &= P_{13} \\
 G_4 &= G_{15} + G_{16} + G_{17} \\
 G_{15} &= P_{14} + P_{15} + P_{16} + P_{17} \\
 G_{16} &= P_{18} + G_{23} + S_3 \\
 G_{23} &= P_{19} + P_{20} + P_{21} \\
 G_{17} &= P_{22} + G_{24} + G_{25} \\
 G_{24} &= P_{23} + P_{24} + P_{25} \\
 G_{25} &= P_{26} + P_{27} + P_{28} \\
 G_5 &= G_{18} + G_{19} \\
 G_{18} &= P_{29} + P_{30} \\
 G_{19} &= S_4 + S_5 + S_6 \\
 G_6 &= G_{20} + G_{21} + G_{22} \\
 G_{20} &= S_7 + S_8 \\
 G_{21} &= P_{31} + S_9 \\
 G_{22} &= S_{10}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

2. Изражавањем вршног догађаја у функцији од базичних догађаја, заменом појединих посредних догађаја одговарајућим изразима:

$$T = \sum_{i=1}^{29} P_i + \sum_{j=1}^4 S_j, \tag{4.2}$$

3. Извршити редукцију добијеног израза користећи правила Булове алгебре. За кохерентна стабла отказа (стабла отказа која садрже само “И” и “ИЛИ” капије, као и базичне догађаје без њихових негација) довољно је користити само закон идемпотенције ($P \cdot P = P + P = P$) и закон апсорпције ($P + P \cdot Q = P \cdot (P + Q) = P$). За наведени пример израз добијен у другом кораку не може се даље редуктовати.

Врло значајан део квалитативне анализе стабла догађаја представља анализа заједничког узрока. У оквиру ње се анализира понашање система, који је подвргнут специјалним условима и секундарним узроцима и рангира се њихов утицај на појаву вршног догађаја.

Специјални услов је карактеристика која блиско повезује неколико примарних догађаја (на пример, елементи израђени од стране истог произвођача).

Секундарни узрок је догађај који може да допринесе појављивању неколико базичних догађаја у стаблу отказа. Код пумпи ратарских прскалица, сви секундарни узроци који доводе до базичних догађаја могу да се сврстају у 3 категорија:

А - неблаговремено одржавање,

В - старење елемената система (заморни лом, похабаност, губитак еластичности),

С - преоптерећење,

Базични догађаји могу да се групишу према секундарним узроцима на следећи начин:

- Услед неблаговременог одржавања јавља се скуп догађаја (P2, P3, P7, P9, S2, P11, P30, S4, S5, S6, S7, P18, S3, P21, P25),

- Услед старења (P1, P2 S1, P6, P8, P13, P19, P32, P26, P27, P28, S8, S9, S10),

- Услед преоптерећења (P4, P5, P10, P12, P14, P15, P16, P17, P20, P24, P29, P31).

На основу претходно дефинисаних скупова може се написати израз за скуп догађаја који доводе до вршног догађаја:

$T = (15 \text{ догађаја категорије А, } 13 \text{ догађаја категорије В, } 13 \text{ догађаја категорије С}).$

Релативни удео (RU) сва четири претходно наведених узорака (А, В, С) гласи:

$$RUA = \frac{15}{X} = \frac{15}{41} = 0,366,$$

$$RUB = \frac{14}{X} = \frac{14}{41} = 0,341, \quad (4.3)$$

$$RUC = \frac{12}{X} = \frac{12}{41} = 0,293,$$

где је:

$$X = A + B + C, \quad (4.4)$$

при чему је:

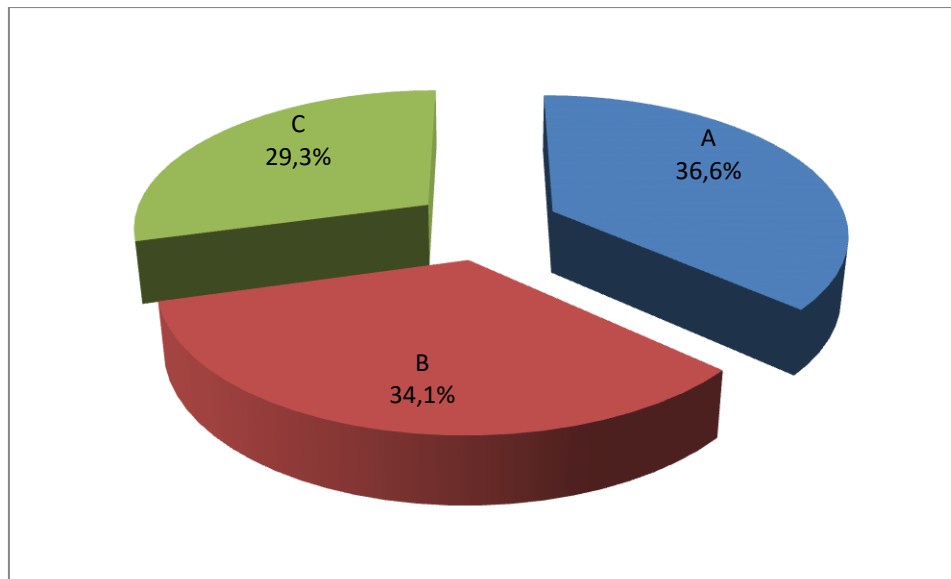
$$\sum_{i=A}^E RU_i = 1. \quad (4.5)$$

Графички приказ процентуланог учешћа секундарних узрока базичних догађаја дат је на слици 4.55.

На основу добијених података примећује се да највећи број елемената (36,6%) отказује услед неблаговременог одржавања, следећи узрок који највише доводи до отказа система је старење (34,1%), а затим преоптерећење (29,3%).

Редовним одржавањем које подразумева периодичне контроле целог система и спровођењем одговарајућих превентивних мера могуће је избећи отказе настале услед не благовременог одржавања.

Отказе који настају услед старења могуће је избећи добрим избором материјала, и то оних материјала од којих се израђују делови у спреси. Такође ови нежељени откази се могу избећи применом технолошких мера.



Слика 4.55 Процентуално учешће секундарних узорака базичних догађаја

Преоптерећење које углавном доводи до не тако малог броја отказа настаје услед непредвиђених режима рада система као и утицаја спољашњих фактора. Уколико се систем користи на начин на који је предвиђено и препоручено као и уз прописано одржавање, откази условљени преоптерећењем неће представљати велики проблем.

5. ЗАКЉУЧАК

Анализа поузданости техничких система заснива се на анализи отказа њихових елемената. Формирање стабла отказа ратарске прскалице омогућава детаљну анализу разматраног система са становишта појаве отказа, утврђивање узрочно-последичних веза између отказа структурних целина различитих нивоа припадности, евидентирање највећег броја потенцијалних начина отказа саставних елемената, формирање блок дијаграма поузданости итд.

Детаљном анализом, формирано стабло отказа ратарске прскалице може да се користи и за анализу отказа других варијанти конструкционог извођења пумпи за ратарске прскалице.

Трајност и поузданост ратарске прскалице у великој мери зависи од правилне експлоатације и одржавања. Праћење и мерење параметара функционисања од пресудног је значаја за благовремено откривање недостатака. Узрочно дефинисање стања система која доводе до отказа може да се користи за оцену погодности одржавања и за израду плана одржавања.

У фази експлоатације, стабло отказа може да послужи и као дијагностичко средство за утврђивање највероватнијих узрока насталог отказа.

Повећање сложености система повлачи за собом и већу вероватноћу отказа, јер је систем израђен од већег броја елемената који могу да доведу до потпуног или делимичног губитка радне способности. Са повећањем сложености система мора се смањити степен толеранције при конструисању и при изради делова конструкције, јер се тиме повећава степен поузданости читавог система.

Даље одржавање неког нивоа степена поузданости се огледа у редовном одржавању система и у правилном руковању.

Анализа стабла отказа (FTA) је један од основних и најчешће коришћених метода за анализу отказа техничких система. У раду је извршена конструкција стабла отказа за најопштији нежељени догађај проучаваног машинског система, “Отказ ратарске прскалице”. На основу формираног стабла отказа извршена је квалитативна FTA.

Добијање минималних скупова пресека омогућило би откривање комбинација више начина отказа које доводе до вршног догађаја, а потом и рангирање елемената по важности. Но, због редне везе елемената у систему ратарске прскалице, у формираном стаблу отказа су присутне само “И” капије, те су добијени скупови пресека истовремено и минимални скупови пресека са по једним чланом, што онемогућава и рангирање елемената по важности.

Анализа заједничког узрока базичних догађаја стабла отказа извршена је путем три секундарна узрока. Најчешћи узрок отказа разматраног система представља неблаговремено одржавање елемената система са релативним уделом од 36,6%. На другом месту са 34,1% је старење, а затим на трећем месту се налази преоптерећење са 29,3. На основу анализе намећу се неколико праваца за повећање поузданости система.

Могућност за повећање поузданости проучаваног система потребно је уочити најпре у фази пројектовања система као и у фази његове експлоатације.

За правилно руковање било ког система, потребно је познавати његове могућности, односно бити упознат са радним границама система и поштовати их у оквиру предвиђеног радног века конструкције.

За постизање жељене поузданости и безбедности неког система, потребно је затворити круг, који почиње са идејом, разрадом идеје, формирањем пројектне документације, испитивање конструкције, производњи и на крају се завршава правилном експлоатацијом и одржавањем. Када се испоштују сви зацртани параметри у сваком кораку, нема разлога да систем не функционише на жељеном нивоу.

Литература

- [1] Бекер И., Ивановић Г., Станивуковић Д.: *Поузданост техничких система*, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2010.
- [2] Bruce O. Barker: *Fault tree analysis: Its implication for use in education*, Utah State University, 1975.
- [3] Levy D., *Tools of Critical Thinking: Metathoughts for Psychology* Allyn and Bacon, 1997
- [4] Vesely W. E., Goldberg F. F.: *Fault tree Handbook*, U.S. Nuclear Regulatory Commission Washington, D.C., 1981.
- [5] Ћатић Д., *Методе поузданости машинских система*, Машински факултет, Крагујевац, 2009.
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Fault_tree_analysis, приступљено 20.05.2016.
- [7] Ћатић Д., *Поузданост у развоју машинских система*, Монографија, Машински факултет, Крагујевац, 2010.
- [8] Седлар А., Бугарин Р., Ђукић Н.: *Техника апликације пестицида*, Пољопривредни Факултет, Нови Сад, 2014.
- [9] Fox R. D., Derksen R. C., Zhu H., Brazee R. D., Svensson S. A.: *A HISTORY OF SPRAYER DEVELOPMENT AND FUTURE PROSPECTS*, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2008.
- [10] *Spray Equipment and Calibration*, North Dakota State University, 2014.
- [11] Norman L. Klocke, Wicks G. A., Fenster R.: *Ecofarming: Selection of Tracto Mounted or Pull-Type Sprayers*, University of Nebraska – Lincoln, 1980.
- [12] Упутство за употребу и одржавање ношене тракторске прскалице MT-350S/400S M-400/600 фабрике за производњу механизације за заштиту биљака МОРАВА А.Д. из Пожаревца.