

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Основи поузданости машинских конструкција

Број индекса: 70/2005

Марко М. Беговић

**Анализа стабла отказа
система за резање дрвета**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Добривоје Ћатић, ред. проф. - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

Представи и опише функционисање система за резање дрвета, објасни метод анализе стабла отказа, да примени ту методу на реалном машинском систему, да изведе закључке о поузданости тог система и да да предлоге како побољшати конструкцију како би се добио поузданији систем.

Препоручена литература:

- [1] Добривоје Ћатић, Поузданост у развоју машинских система, Крагујевац, 2010.
- [2] Добривоје Ћатић, Методе поузданости машинских система, Крагујевац, 2009
- [3] Вујошевић М., Анализа стабла неисправности, Техника 1983.

Крагујевац, септембар, 2013.

ментор:
Др Добривоје Ћатић, ред. проф.

Резиме:

У раду је кроз анализу стабла отказа испитана поузданост машинског система за резање дрвета. Систем на коме је вршено испитивање је сопствене израде и кроз разматрање његових саставних делова и радног искуства, изведени су закључци о могућим отказима и како их избећи или смањити вероватноћу да до њих дође. Пре самог представљања машине, направљен је историјски пресек развоја машина за резање дрвета.

Кључне речи: израда, истраживање, анализа отказа, поузданост.

Abstract:

In this work, through fault tree analysis, it's been done examination of a mechanical system for wood processing. System that's been examined, it's from personal production and through investigation of his structural elements and with working experience, conclusions were drawn about possible failure and how to avoid them or how to reduce probability of achieving them. Before the representation of a machine, an a historical section has been made about development of a wood cutting machines.

Key words: workmanship, research, failure analysis, reliability.

САДРЖАЈ

1. Увод	1
2. Историјски развој машина за резање дрвета и основне карактеристике	3
3. Представљање објекта истраживања	8
3.1 Избор типа конструкције	9
3.2 Делови конструкције	9
3.2.1 Главни стуб	10
3.2.2 Решеткасти носачи	11
3.2.3 Радни столови	11
3.2.4 Хидраулични систем за стезање	12
3.2.5 Точкови	13
3.2.6 Вешање точкова	14
3.2.7 Стабилизатор	15
3.2.8 Тестера	15
3.2.9 Погон са електромотором	16
3.2.10 Управљачка кутија са електро прекидачима	17
3.2.11 Заштитни лимови	17
4. Анализа стабла отказа	19
4.1 Методологија анализе стабла отказа	23
4.2 Анализа отказа система за резање дрвета, методом анализе стабла отказа	27
4.3 Квалитативна анализа стабла отказа система за резање дрвета	33
5. Закључак	37
6. Литература	39

1. УВОД

У време када се живот све више ослања на технологију и производе исте, сам све више зависи од ње, за безбедност људи је неопходно да машински системи и уређаји функционишу безбедно и беспрекорно. При конструисању машинских система потребно је добро изанализирати и предвидети могуће отказе при раду, за анализу губитка радне способности система. Једна од основних метода је анализа стабла отказа, где се шематски приказује шта и како у систему доводи до отказа.

Са сазнањем о могућим отказима у систему, конструктор релативно лако може да унапреди конструкцију и повећа поузданост. Трошкови пројектовања улазе у финалну цену производа са процентом од 4 до 11%, међутим грешке које се ту направе могу значајно да повећају цену израде производа и угрозе његов положај на тржишту. Добрим анализирањем производа у току конструисања, могу се предупредити пропусти, повећати квалитет самог производа и сама употребна вредност. Уколико је на првом месту економски фактор, може се на основу свкупне исплативости и потребне поузданости, направити конкурентнији производ. У данашње време се поузданост у одређеним гранама индустрије и намерно злоупотребљава на начин, на који се производ може тако дизајнирати да има планирано застаревање, односно да би био замењен новим у приближно одређеном тренутку у будућности, због жељеног обрта у економији, односно одржавање тржишта живим на рачун стварног могућег квалитета и трајности производа. Ово се углавном примењује на производима широке потрошње, који немају директан утицај на безбедност корисника.

Поред тренутне анализе, пројекта или готовог производа, у фази развоја могу се користити и претходне анализе производа и система, које умногоме могу олакшати развој производа и указати на могуће пропусте које конструктор може да направи у току пројектовања одређеног типа производа. Крајњи циљ је избалансираност техничких, безбедоносних и економских параметара, у складу са првобитним циљем који је зацртан у функцијама производа.

Крај 20. века је донео глобализацију светског тржишта, што се одразило на постављање нових односа међу произвођачима и на другачију тржишну утакмицу. Услед мањка и поскупљења енергената, велике конкуренције и масовне производње, пред конструкторима је велики изазов да пројектују квалитетан и јефтин производ. Од почетка пројектовања преко производње, експлоатације и завршетка радног века, сваки корак је превасходно условљен тренутном и будућом економском "сликом" производа на тржишту. Та слика се креира и маркетингом, па се понекад постављају нереални услови, како за произвођаче тако и за купце. Поред свега тога, на конструктору је да са свим задатим условима максимално искористи дате могућности и ту велику улогу игра анализа функционалности свих параметара производа кроз његову реалну поузданост.

За испитивање и предвиђање реалне поузданости се користи анализа начина и последица отказа (*Failure Models and Effects Analysis - FMEA*). Ову методу карактеришу

варирајући нивои анализе и модификације како би се задовољила сврха анализе.

Са становишта предмета анализе у фази развоја производа постоје три врсте ФМЕА: концептна, пројектна и процесна ФМЕА. За све три врсте ФМЕА методе користи се иста методологија рада и исти образац за документовање поступка. Међусобне разлике су у предмету анализе, времену спровођења, функцији предузећа која је носилац активности [1].

Концептна ФМЕА се користи за откривање и превенцију отказа система и подсистема у раној фази конципирања пројекта .

Пројектна ФМЕА се користи као помоћно средство за идентификацију и спречавање појаве отказа, чији су узроци у непосредној вези са пројектовањем производа.

Процесна ФМЕА служи за идентификацију узрока потенцијалних начина отказа, који се могу јавити приликом производње или монтаже делова или склопова, и за дефинисање мера за отклањање уочених недостатака [1].

2. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ МАШИНА ЗА РЕЗАЊЕ ДРВЕТА И ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

Према историјским подацима прва идеја о машини за резање дрвета са савитљивом тестером потиче из француске. Међутим, први конкретни податак односно патент, припада енглезу по имену Вилијам Њубери (William Newberry), он је поднео патент на ову идеју 1808. године (слика 1) [2].

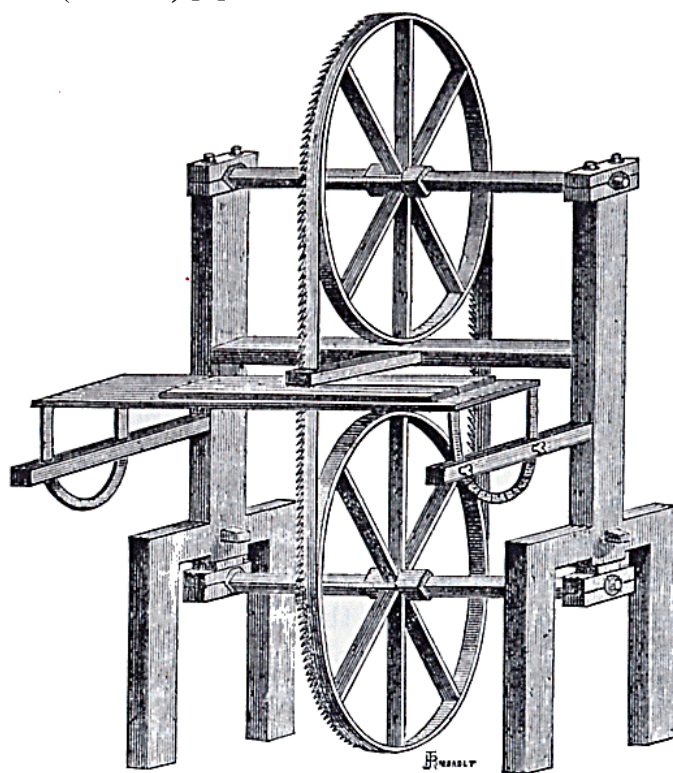
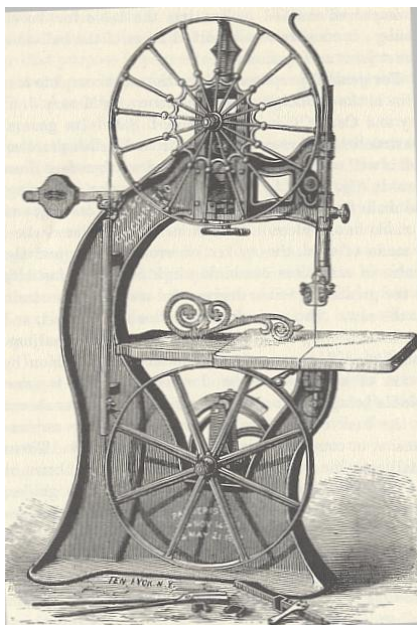


FIG. 20.—NEWBERRY'S BAND SAWING MACHINE, PATENTED 1808.

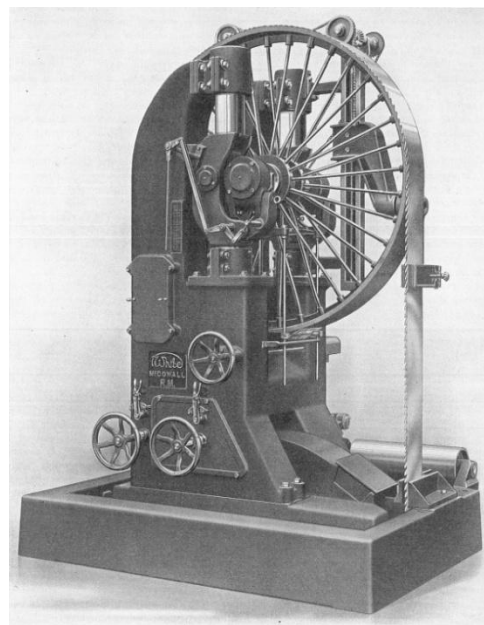
Слика 1. Цртеж патента

Основна одлика овог принципа резања је висока продуктивност. Највећи проблем при првим реализацијама ове конструкције је био издржљивост тестере, јер је потребно да материјал буде еластичан и да трпи изузетна динамичка оптерећења, а опет да има тврдоћу са којом може да задржи оштрину и дуготрајност у раду, до наредног оштрења. Било је потребно да прође преко пола века, да би почетком шездесетих година 19. века, али овог пута са француске стране, буде направљена адекватна тестера која може да испуни захтеве експлоатације. Практично, од тог периода почиње и шира примена ове конструкције, односно бансека (изведено од немачке речи *bandsäge* - тестера).

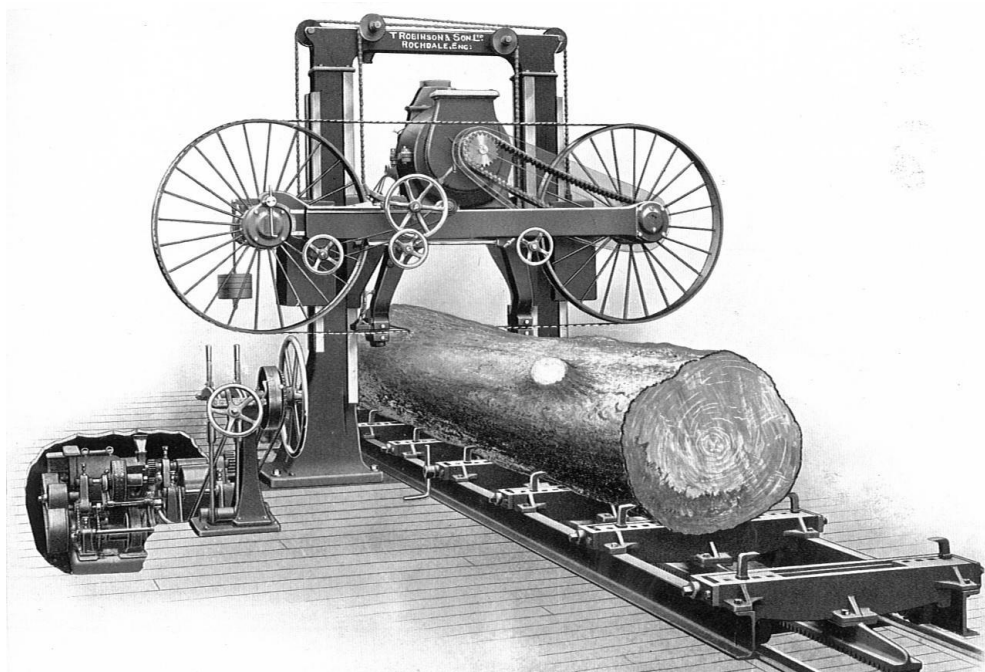
У америци је овакав систем за резање дрвета први пут представљен 1865. године (слика 2) [2], примери раних конструкција за обраду дрвета већих димензија, су дати на сликама 3. и 4 [3, 4].



Слика 2. Модел из 1865. године



Слика 3. Вертикални систем



Слика 4. Хоризонтална конструкција са покретним столом

На слици 5 [5], дат је пример једне од данашњих конструкција, са покретним бансеком. Кретање бансека обезбеђује радник.



Слика 5. Систем са покретним бансеком

Избор типа конструкције се врши на основу цене израде, намене, потребе, обима производње и процента физичког учествовања радника у току рада.

Типови конструкција се свode на вертикално или хоризонтално постављен систем, и на то да ли се креће радно тело или пак сам систем, и да ли кретање система/радног тела обезбеђује радник или се користи механизован систем са електромоторима.

На основу мобилности се бира погон на електричну енергију или се ставља мотор са унутрашњим сагоревањем за потребе рада на терену, односно тамо где није доступна електрична енергија.

Бансек има примену у резању:

- дрвета,
- камена (гранита, мермера и других сличних материјала),
- метала (углавном се користи за одсецање великих профила на меру),
- примена у месној индустрији на производним линијама и
- свеукупно где се овај начин обраде може примени зарад веће продуктивности и лакше обраде.

Основни принципи израде тела бансека су ливење главног стуба или заваривање плоча и профила у целовиту носећу конструкцију. Точкови бансека се данас лију од алуминијума, због мање тежине. У почетку су израђивани из више делова - обруча,

шипки и главчине. Јако је битна избалансираност точкова, јер се ради о великим оптерећењима и брзинама рада машине. Увећане вибрације неминовно доводе до раније појаве заморног лома у критичним деловима у конструкцији.

Стезање тестере се врши механички преко навоја, или хидраулично уз помоћ хидрауличне пумпе и цилиндра. Ширина тестере се бира у односу на тип и величину конструкције. Битна ставка су и заштитни лимови на конструкцији који треба да обезбеде радника од евентуалних повреда услед пуцања тестере, а такође да буду тако конструисани да дозвољавају лако и брзо скидање и намештање тестере.

Слика 6 [6] представља најновији модел фирме Вуд Мајзер (Wood-Mizer) за 2013. годину. Ознака модела је WM 4000. Ради се о систему где се сав рад изводи преко електро-хидрауличних система. Потребно је само поставити дрво на постоље, и сва даља манипулација њиме и резање, се обавља преко џојстика из контролног кабинета.



Слика 6. Wood-Mizer WM-4000

Радник је потпуно заштићен од повреда од било каквих отказа у целом систему. Такође је заштићен од удисања ситних делова пиљевине, ово је посебно изражено уколико се реже просушено дрво. Систем такође поседује сензоре на кључним местима,

тако да радник у реалном времену прати оптерећење система, и да ли систем функционише у оквиру пројектованих норми.

На слици 7 [6], дат је приказ читаве конструкције машине WM-4000.



Слика 7. Wood-Mizer WM-4000

Једна од основних одлика овако конструисаних система, је мањи пречник точкова и ужа тестера, са видиа зубима. Разлог зашто се користе мањи точкови је смањење габарита конструкције, као и смањивање инерционих сила. Мана је веће савијање тестере због смањеног радијуса. Још једна мера за смањивање габарита је и ужа тестера, јер је за постизање њене прописане затегнутости потребна мања сила у систему за стезање. Са смањеним оптерећењем, пројектује се мањи и лакши систем за ношење точкова, са којим је лакше манипулише при раду.

По величини и радним могућностима овај модел је намењен да буде на почетку производне линије за обраду дрвета.

3. ПРЕДСТАВЉАЊЕ ОБЈЕКТА ИСТРАЖИВАЊА

У овом поглављу биће представљен бансек сопствене израде (слика 8), на којем ће након приказа бити извршена анализа стабла отказа, како би се добили релевантни подаци о поузданости, на основу које се може унапредити радна способност и сигурност при раду са овим машинским ситемом.



Слика 8. Објекат истраживања

Основни подаци:

- димензије пруге: дужина - $L = 1320$ cm, ширина - $D = 76$ cm,
- погон преко електромотора - 7,5 kW,
- точкови - $R = 80$ cm, $D = 7,5$ cm,
- тестера - $L = 565$ cm ÷ 600 cm, $D = 4$ cm ÷ 8 cm,
- димензије дрвета - $L_{\max} = 800$ cm, $D_{\max} = 78$ cm, масе до 800 kg и
- два покретна радна стола - $L_1 = 300$ cm и $L_2 = 100$ cm.

3.1 Избор типа конструкције

У овом случају примарни параметри за одабир конструкције су били: цена, релативна једноставност конструкције (првенствено се мисли на изостављање електро-аутоматизације при раду, јер се ради о мањем обиму производње, али је могуће надоградити систем и олакшати рад), доступност технологија израде делова, као и доступност самих делова.

На основу наведених параметара изабран је вертикални систем са покретним столовима, погоном преко електромотора и хидрауличним стезањем тестере. Читава конструкција (сем ливених точкова), је израђена спајањем (рел-заваривањем) профилних елемената и плоча у радну целину.

Велику пажњу треба посветити редоследу и начину заваривања елемената, да не би дошло до нарушавања геометрије система. За овај тип конструкције је од пресудног значаја да све буде у зацртаним оквирима. Ако је геометрија пруга ван толеранција, систем ће у старту лоше функционисати, без обзира на то колико је квалитетно и прецизно одрађен сам резни систем. Заваривање треба изводити постепено и са паузама. Ово се нарочито односи на решеткасте носаче, због њихове велике дужине. Код статичних система, много је лакше поставити пруге јер се оне ослањају на појединачне непокретне стубиће, па је лакше довести их на правац и у исту раван. Са друге стране, код система са покретним резним системом (слика 5), пруге носе сам резни систем и то у дупло краћој дужини, јер се систем креће само за дужину дрвета, па је још лакше поставити пруге у прави положај.

3.2 Делови конструкције

Саставни делови конструкције су:

- главни стуб - носи сам резни систем,
- пар решеткастих носача - носе пруге,
- радни столови,
- хидраулични систем за стезање тестере,
- точкови,
- два система за вешање точкова о стуб (статични и покретни),
- стабилизатор за тестеру,
- тестера,
- погон са електромотором,
- управљачка кутија са електро прекидачима и
- заштитни лимови.

Комплетна конструкција је тако растављива-склопива, да се може склопити и транспортовати (као приколица) на жељено место, стим сто је потребно да постоји извор електричне енергије, јер се бансек погони искључиво електромотором.

3.2.1 Главни стуб

Главни стуб (слика 9), или носач резног система је израђен од U профила димензија 8,14 и 18 cm. Носећи део главног стуба је димензије 18 cm, где су заварена два профила, са унутрашњим решеткастим ојачањима која спречавају веће увијање носећег дела стуба око вертикалне осе, при стегању тестере а и самом раду. Мало увијање мора да постоји због габарита конструкције и силе стегања, тако да се геометрија точкова подешава и мери при затегнутој тестери.



Слика 9. Главни стуб

При пројектовању стуба треба обратити пажњу на избегавање оштрих прелаза при спајању профила, и тамо где је потребно ојачати конструкцију, тако да се избегне концентрација напона, односно да се он равномерно расподели.

За ублажавање вибрација, стуб треба поставити на еластичну подлогу, односно гуму или сличан материјал.

3.2.2 Решеткасти носачи

При премештавању већих дужина, уместо стандардних профила бира се решеткаста конструкција (слика 10) због својих предности. То су већа носивост и значајно смањена сопствена тежина, што уједно значи мањи утрошак материјала и лакши рад са самом конструкцијом, било да је то активан рад (код дизалица), или само тренутно премештање конструкције.



Слика 10. Решеткасти носач

Сам решеткасти носач представља систем спојених лаких крутих штапова, међусобно спојених у чворне тачке. Основни елемент сваке равanske решетке представља троугао.

Носач се једним крајем ослања на главни стуб, а на другом му потпору дају два пара склопивих стопа. На површини носача су заварене пруге, које се постављају на крају израде бансека, да би се добила равна и права путања за кретање радних столова.

3.2.3 Радни столови

Радни столови (слике 11 и 12) омогућавају кретање дрвета, и на себи носе мерне угаонике са ручним подешавањем мере резања дрвета. Направљени су од машински савијених металних плоча, на које су заварена ојачања, носеће осовине са хоризонталним лежајевима и вертикалне осовине са лежајевима који држе правац.

Треба уградити квалитетне и добро заштићене лежајеве, јер раде у средини са доста прашине. Уколико лежај ипак зарива, и ако тип лежаја дозвољава, треба га отворити, испрати, разградити и подмазати, и тако продужити радни век.



Слика 11. Мањи радни сто

Мањи радни сто (слика 11) за резање краћих комада, олакшава рад и повећава продуктивност. Израђен је од плоче мање дебљине, односно 4 mm, због смањења тежине. Сто се састоји од два раздвојива дела, али са ограниченим кретањем једног, због система спајања који треба да заобиђе тестеру.



Слика 12. Већи радни сто

Већи радни сто (слика 12) је направљен од плоче дебљине 5 mm, за рад са дрветом већих димензија и тежина. Нема ограничења у кретању, јер су два дела стола спојена у две тачке са покретним шипкама које независно једна од друге заобилазе тестеру при кретању стола, тако да увек једна шипка држи делове стола спојеним. Могуће је и кроз раздвојити оба дела и померати их независно по потреби.

3.2.4 Хидраулични систем за стезање

Систем за стезање (слика 13) тестере се састоји из хидрауличне дизалице, која је преправљена тако да се користи као хидраулична пумпа. Избачен је клип који излази из дизалице, и на његово место завијен чеп, са два извода за манометар и црево које води уље до једносмерног хидрауличног клипа. Максимални притисак који остварује пумпа износи 250 бара. Радни притисак износи 150 бара.

Како се оштрењем тестере временом смањује њена ширина, пропорционално томе треба смањити и силу стезања, односно радни притисак, да не би дошло до превременог отказа.

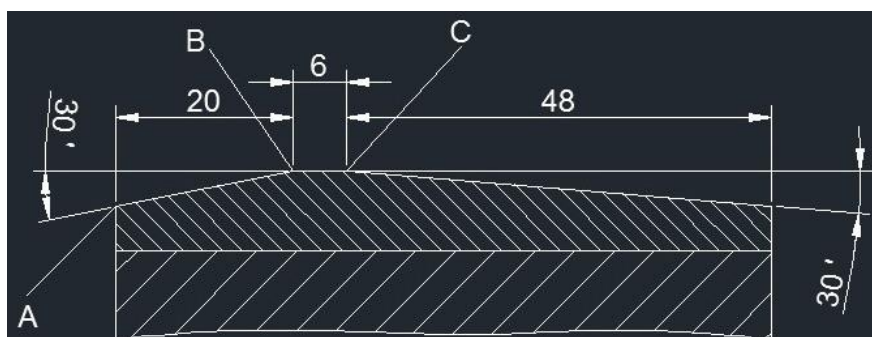


Слика 13. Систем за стезање тестере

3.2.5 Точкови

Точкови су израђени ливењем од алуминијума, са главчинама од челика. Газећи део по ком иде тестера се облаже лепљењем плуте, гуме или се ставља челични обруч. Предности плуте су мања бука при раду и мање хабање тестере, али се зато она сама током времена троши и после одређеног времена потребно ју је заменити, или услед пуцања тестере може доћи до већих оштећења плуте па је потребно поправити или заменити исту. Са точковима већег пречника мање се ломи тестера и продужава се њен радни век.

На слици 14 је приказана скица са мерама и угловима обраде површине налегања тестере на точак.



Слика 14. Цртеж са мерама за обраду површине налегања тестере на точак

Додатна мера за држање тестере на месту је стављање лежајева са задње стране тестере, који спречавају кретање тестере уназад, услед самог процеса резања. Површина налегања се обрађује тако што се по мерама са скице, од тачака В и С под углом од 30' скида плута ка њеним крајевима. Зуби тестере су усмерени од тачке А. У

тачки А се након обраде оставља ивица, без обарања радијуса, јер ће се са радијусом додатно оптерећивати тестера у области зуба.

3.2.6 Вешање точкова

Горњи точак (слика 15) уједно има и улогу при стезању тестере па је његова веза са стубом изведена преко ластиног репа (слика 16), а сам ластин реп је везан преко шарке за стуб (слика 17) коју је могуће подешавати у свим правцима (слика 18). Велика слобода при подешавању је неопходна, јер при рел-заваривању може доћи до нежељених деформација, како самих елемената који се варе, тако и саме геометрије положаја између спајаних елемената.



Слика 15. Конзолно ојачање осовине



Слика 16. Горње вешање



Слика 17. Горње вешање



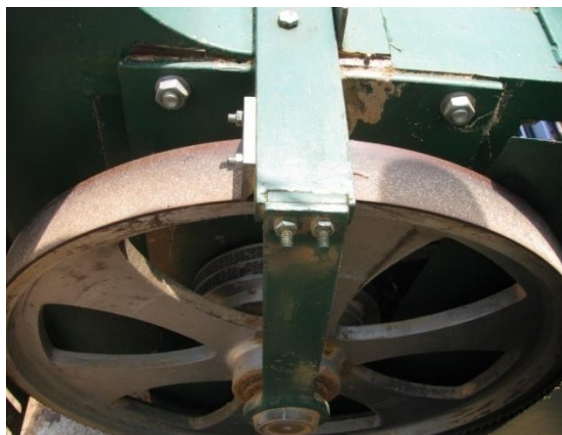
Слика 18. Подешавање угла

Доњи точак има улогу погонског точка и фиксиран је везан за стуб. Његову везу представља плоча са завареном главчином која носи осовину (слика 19). Плоча има могућност хоризонталног померања., У вертикалној равни положај се подешава

подбацивањем танких лимова између плоче и стуба, за који је везана завртњима. Доња оsovина такође има конзолно ојачање (слика 20). Обе оsovине су израђене од челика 5430, пречника у области лежајева 60 mm.



Слика 19. Доње вешање



Слика 20. Доње вешање

3.2.7 Стабилизатор



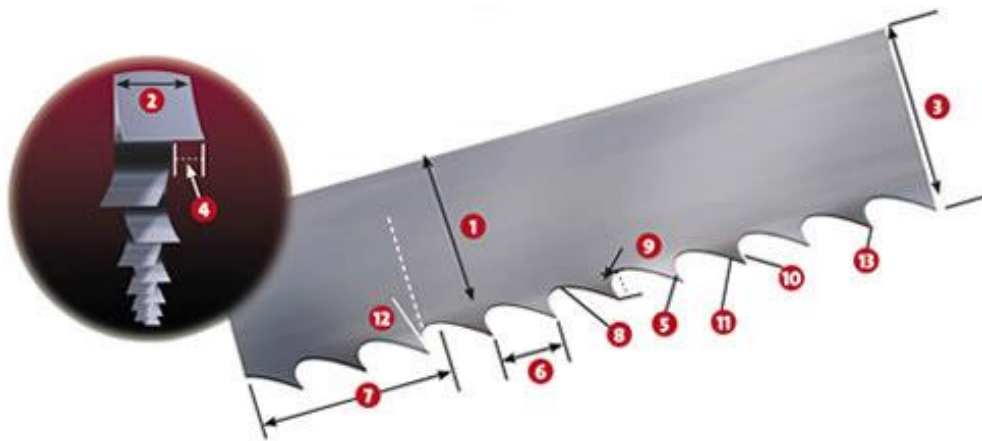
Слика 21. Стабилизатор

Стабилизатор (слика 21) има улогу у држању правца резања дрвета. Иако су сви параметри подешени како треба, само дрво својом структуром и саставом може да изазове губитак правца резања. Сам стабилизатор чине доњи непокретни део и горњи покретни (слика 21), који се помера уз помоћ електромотора, који преко ланчаника и ланца везаног за покретни део остварује кретање. Покретни део чине две спојене хромиране дебелозидне цеви које се крећу кроз вођице. Положај горњег стабилизатора треба да је увек што ближе дрвету, како због држања правца, тако још више због безбедности при раду.

3.2.8 Тестера

Тестера (слика 22) [7] је највиталнији део бансека. Најпознатија фирма која их прави је Бохлер-Удехолм (Bohler-Uddeholm) из Шведске. Метал од ког се прави је легура са угљеником и никлом. Тачан састав и назив метала је пословна тајна произвођача.

Купцима се испоручује у виду котурова, са којих се сече на жељену меру, заварује и онда се урежу зуби. У зависности од намене и услова рада, бира се одређен облик и корак зуба. Уз мањи корак постиже се финији рез (користи се код столарских бансека), али је и веће оптерећење за мотор, јер је више зуба у дрвету одједном. За резање тврђих предмета, или за дуготрајну оштрину, користе се тестере са залемљним видиа зубима.



Слика 22. Тестера, 1. леђа тестере, 2. дебљина тестере, 3. ширина тестере, 4. мера разметања, 5. зуб, 6. корак зуба, 7. број зуба по инчу, 8. урезани део између зуба, 9. дубина урезаног дела, 10. лице зуба, 11. леђа зуба, 12. угао лица зуба, 13. врх зуба

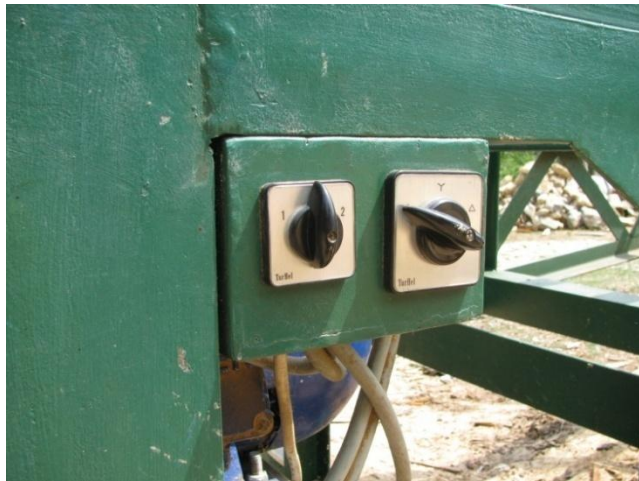
3.2.9 Погон са електромотором



Слика 23. Погон бансека

Бансек се погони електромотором марке `Север` (слика 23), јачине 7,5 kW и 1400 o/min. Снага се преноси преко двоструког каишног преносника, пречник каишника на мотору је 160 mm а на точку 280 mm, тако да се са тим односом добија оптималних 800 o/min на точковима, при чему брзина саме тестере износи 115 km/h. Стезање каишева се врши преко самог мотора, односно његовим померањем по урезаним жлебовима у делу који носи мотор. За безбедност и дуготрајност у раду, битно је да осовина доњег точка буде статична, а да се точак са све погонским каишником окреће око осовине. У супротном, ако је покретна осовина и ако се и најмање искриви, доћи ће веома брзо до лома услед великих динамичких оптерећења.

3.2.10 Управљачка кутија са електро прекидачима



Слика 24. Управљачка кутија

Управљање рада бансека се врши преко два прекидача (слика 24). Главни прекидач контролише погон и ради по принципу `звезда-троугао`. Први степен лагано убрзава до максималног броја обртаја, а други потом пушта пуну снагу електромотора. Мањи прекидач служи за контролу положаја стабилизатора. Пре самих прекидача, на доводу струје постављена је и заштитна склопка, која прекида напајање услед преоптерећења погонског електро мотора.

3.2.11 Заштитни лимови



Слика 25. Заштитни лимови

ваздух и избацује га заједно са пиљевином поред бансека. За озбиљнију производњу и рад у затвореним халама, оба точка су потпуно затворена лимовима, а вакуум извлачи пиљевину до складишта.



Слика 26. Отпрашивач

Заштитни лимови (слика 25) треба да обезбеде сигурност радника при самом раду и од евентуалног пуцања тестере. Заштитни лим на доњем точку (слика 26) уједно има и улогу отпрашивача. Пројектован је тако да точак попут турбине увлачи

Уколико се реже сирово дрво, пиљевина се суши и даље обрађује. Пиљевина се може користи као огревно средство (пресује се у брикете, или сагорева у растуреном стању у пећима специјално намењеним за тај начин сагоревања), као градивни материјал у пресованим плочастим материјалима, или се може користити и као изолационо средство у изградњи објеката итд.

Радник би обавезно требало да носи заштитину маску преко лица, да спречи удисање честица дрвета. Ово је посебно изражено код крајње обраде дрвета у столарској индустрији, јер се ради о финој обради дрвета сушеног у сушари.

4. АНАЛИЗА СТАБЛА ОТКАЗА

За испитивање сигурности и поузданости техничких система постоји више метода. Једна од основних је анализа стабла отказа (Fault Tree Analysis - FTA). Принцип анализирања са овом методом је да се полази од постављеног крајњег догађаја, односно отказа система. Потом се кроз сагледавање структуре система поставља шема, како, шта, на који начин и којем случају доводи до отказа система.

Ова метода је данас у широкој примени. Први пут се појављује почетком шездесетих година 20. Века у САД-у. Њу је развио Вотсон (H.A. Watson) и применио први пут 1962. године на анализу поузданости система лансирања ракета Минутмен (Minuteman) за америчко ваздухопловство.

Ефективност методе анализе стабала 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, последиочно 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 примени 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.

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 [8].

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.

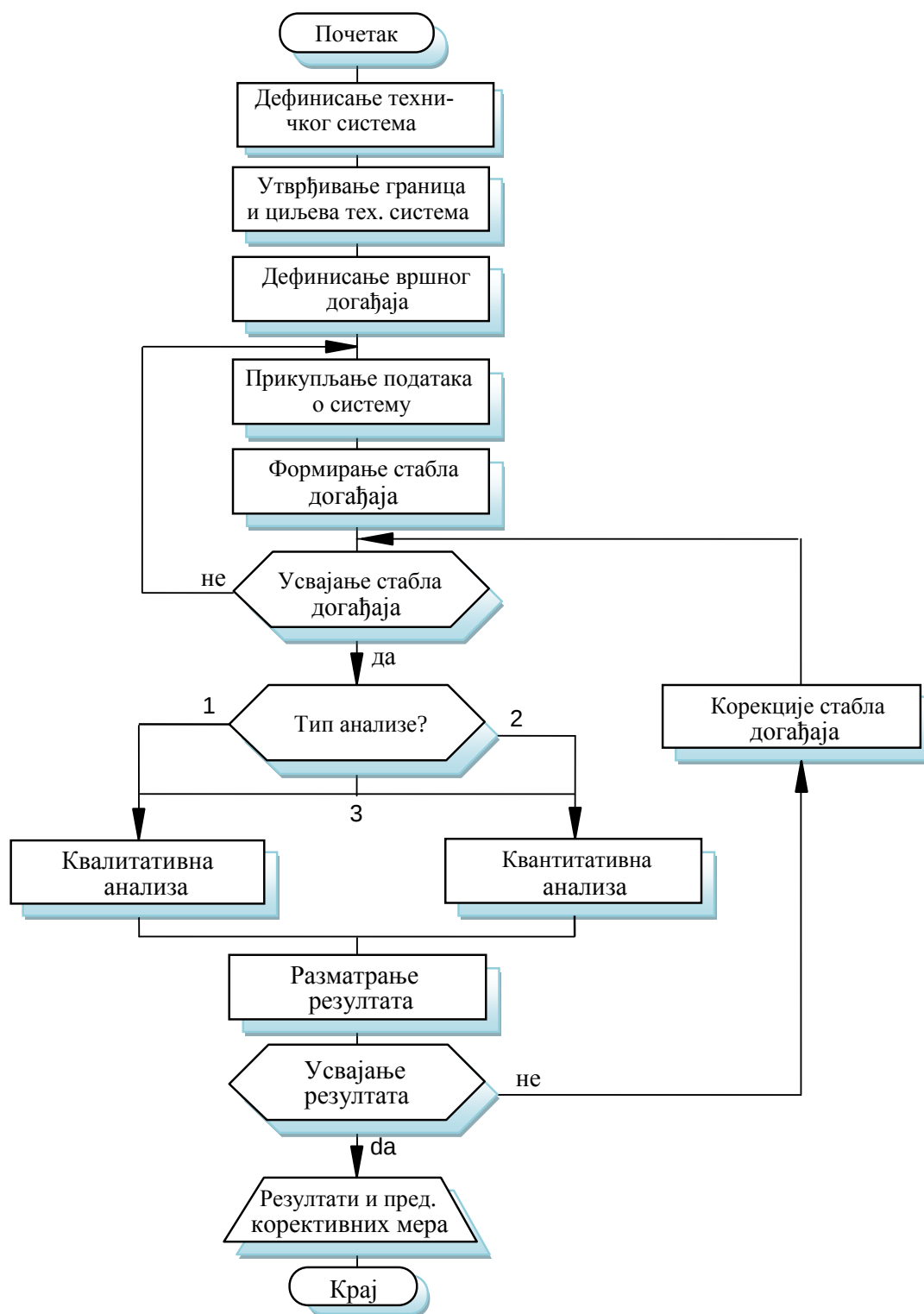
4.1 Методологија анализе стабла отказа

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. Методологија је посебно важна у случају да више тимова врши различита истраживања у оквиру анализе. FTA методологија је описана у неколико индустријских стандарда, укључујући NRC NUREG-0492, који користи NASA, SAE ARP4761, коришћен од стране цивилног ваздухопловства, MIL-HDBK-338, за војне системе итд. Пошто анализа целог система може да буде напоран и гломазан посао, препоручује се да више тимова врши анализу подсистема. Предност оваквог начина рада је у томе што је сваки тим специјализован за одређени подсистем и познаје га до детаља. Након тога, добијени резултати се интегришу у анализу читавог система [8].

Метода FTA се базира на графичком приказивању међузависности елемената машинских система.

Методологија анализе стабла отказа обухвата следеће кораке (слика 27) [1]:

1. дефинисање машинског система;
2. утврђивање граница машинског система;
3. дефинисање вршног догађаја;
4. систематско прикупљање података о систему и њихову анализу;
5. формирање стабла отказа за утврђени вршни догађај;
6. проверу и усвајање стабла отказа;
7. квалитативну и/или квантитативну анализу;



Слика 27. Графички приказ методологије анализе стабла отказа

8. разматрање резултата и проверу њихове комплетности и подударности са захтеваним;
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 [1].

За успех анализе стабла отказа, потребно је пажљиво одабрати вршни догађај. Он може бити општи (отказ система), или нешто везано за део система или неке његове одређене компоненте. Уколико се вршни догађај постави као превише општи, анализа може да постане преобимна и непрецизна и неће дати поуздане резултате. Са друге стране уколико је догађај превише превише специфичан, биће направљен пропуст у свеобухватности система и неће се добити адекватна анализа система.

Пре него што се крене у формирање шеме стабла отказа, потребно је добро проучити структуру система, принцип рада и међусобни однос саставних делова машинског система. За информације треба користити конструкциону документацију произвођача, прорачуне, извештаје са испитивања, каталоге, приручнике за одржавање, извештаје у вези рекламације корисника итд.

Формирање стабла отказа се врши уз помоћ симбола за догађаје, логичке капије и пренос (табела 1) [1]. Велика предност симболике стабла отказа се огледа у томе што се симболи за догађаје повезани логичким капијама, лако могу превести у алгебарске изразе.

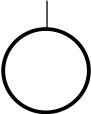
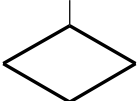
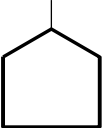
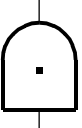
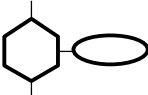
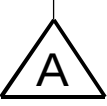
За догађаје се користи већи број различитих симбола, који показују да ли се ради о сложеним или о базичним иницирајућим догађајима. За сложене догађаје користи се правоугаоник. Од симбола за базичне догађаје најчешће се користи круг, који означава стање елемента система условљено његовим карактеристикама, 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.

У зависности од начина груписања основних узрока вршног догађаја, односно од начина дефинисања подвршних догађаја, постоје три могућности формирања стабла отказа. У првом случају, посредни догађаји у стаблу отказа су стања одговарајућих структурних целина (хардверски-структурни приступ), у другом догађаји који описују у ком смислу је дошло до отказа и који су заједнички за више елемената без обзира на

Табела 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 "." и "И".
Блокирајућа капија		Улазни догађај у блокирајућу логичку капију доводи до реализације излазног догађаја само у случају ако је задовољен условни догађај.
Пренос "у"		Ознађава 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.

структурну припадност (функционални приступ). Трећа могућност представља комбинацију претходне две. У свим случајевима базични догађаји у стаблу отказа су идентични.

Када је стабло отказа комплетирано, оно се систематски анализира ради разумевања логике повезаности догађаја и бољег увида у различита стања система. При томе, процес анализе требало би да се фокусира на отказе чија је вероватноћа појаве највећа. Уколико стабло отказа 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 отказа. Ради елиминисања субјективности, у оцењивању формираног стабла отказа учествују људи који добро познају коришћену методу и објекат истраживања и који нису били непосредно укључени у изради стабла.

По усвајању стабла отказа, у зависности од крајњег циља примена анализе, може се вршити квалитативна и/или квантитативна анализа.

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

Од поступака квантитативне анализе стабла отказа, 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.

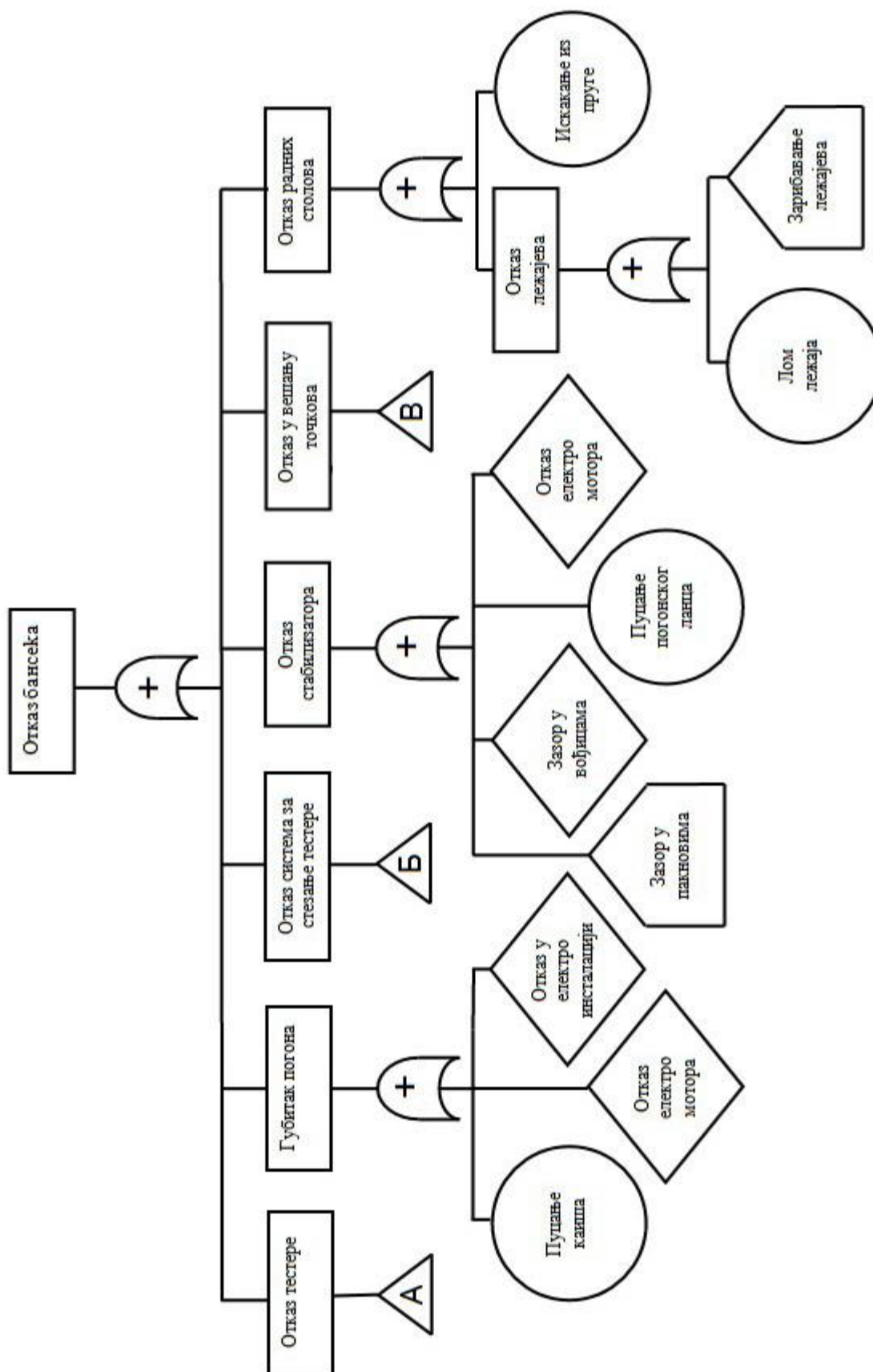
Уколико добијени резултати квалитативне и/или квантитативне анализе нису потпуни или настају услед постојања принципских грешака, врше се корекције стабла отказа у циљу отклањања уочених недостатка.

На основу добијених и усвојених резултата посредством стабла отказа, дају се предлози корективних мера са циљем отклањања уочених недостатака или предлози алтернативних решења. Такође, могу се донети одлуке о контроли производног процеса или о преузимању ризика. Применом одговарајућих образаца документују се резултати анализе, чиме се обезбеђује да предложене мере буду и спроведене.

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

4.2 Анализа отказа система за резање дрвета, методом анализе стабла отказа

За формирање стабла отказа бансека (слика 28), коришћен је функционални приступ. Као крајњи догађај у стаблу отказа усвојен је "Отказ бансека". У том контексту је обухваћен потпун или делимичан губитак радне способности разматраног објекта. Посредни догађаји су дефинисани по принципу обележја отказа, односно на начин који се они испољавају, односно региструју.



Слика 28. Стабло отказа бансека

Све информације и сазнања о структури, начину функционисања и испољавању одређених карактеристика при раду су из личног искуства, како у току саме израде система, тако и у току рада са машинским системом.

По начину отказа појединих делова склопова система, сви догађаји који доводе до отказа су расподељени у шест подвршних догађаја:

- отказ тестере,
- губитак погона,
- отказ система за стезање тестере,
- отказ стабилизатора,
- отказ у вешању точкова и
- отказ радних столова.

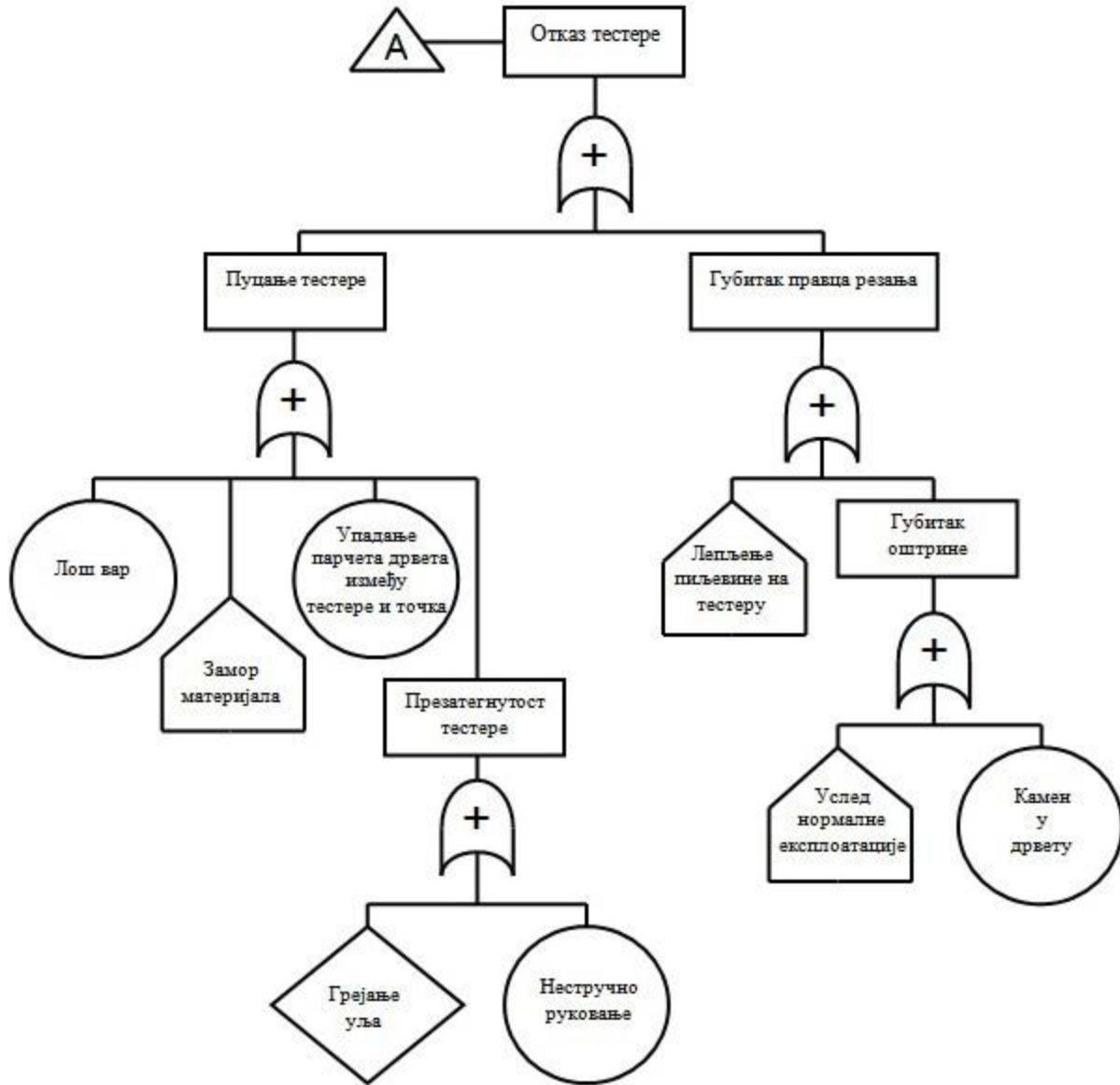
Дедуктивном анализом наведених догађаја извршено је допуњавање структуре стабла тока за узроцима који доводе до њих у виду грана стабла отказа. На тај начин, поред идентификовања и евидентирања потенцијалних начина отказа бансека, успостављена је узрочно-последична веза између базичних, посредних и вршних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

"Отказ тестере" (слика 29) доводи до потпуног или делимичног губитка радне способности разматраног система. Потпуни губитак радне способности се огледа у пуцању тестере, а делимичан представља нарушавање правца резања у којем је главни фактор сама тестера. Руковаоц треба да прати правац резања током рада и да процени да ли је дошло до кривљења, и у том случају да преконтролише одређене параметре.

До прекида тестере може доћи услед промена карактеристика материјала тестере током рада, или услед спољашњег физичког деловања на тестеру. Да ли ће спољашњи фактор довести до отказа, зависи од његовог интензитета и структурног стања тестере.

Узроци кидања тестере услед самог материјала су лоше заваривање тестере и замор материјала. Заваривање треба вршити у за то специјално намењеној машини, јер треба испоштовати квалитет вара и правац тестере, уколико је тестера на месту вара крива по својој дужини, имаће осцилације при кретању и неравномерно ће стругати дрво. Да би се што више искористио радни век тестере (јер ће због замора материјала неминовно доћи до пуцања тестере), при раду треба правити минималне паузе између резања, односно избегавати дужи празан ход. Још један фактор продужетка трајања и сигурности рада је чешће оштрење тестере. Поред тога што систем лакше ради и мање се оптерећује тестера, благовременим оштрењем се елиминишу микропукотине на површини материјала, тако да поред оштрења површине где се зуби налазе, треба при окретању тестере на бансеку шмирглом или сличним абразивним материјалом мало обрадити и задњи део тестере, како би се елиминисале микропукотине које могу да се временом прошире и доведу до потпуног кидања тестере.

Утицај спољашњих фактора се огледа у презатегнутости, нестручном руковању и упадању парчета дрвета између тестере и погонског точка. Да не би дошло до упадања дрвета у пут тестере и доњег точка, треба уградити заштитни одбојник који неће дозволити да дође до тога. Уколико је систем за стезање изложен већим променама температуре, или уколико је директно изложен сунцу, током рада ће доћи до повећања температуре уља, уједно и повећања притиска у систему, који одређује силу стезања, и тако преоптеретити тестеру. Презатегнутост може да изазове и нестручно руковање, јер за одређену ширину и дебљину тестере, мора се испоштовати и адекватно стезање исте.



Слика 29. Независно подстабло отказа за крајњи догађај "Отказ тестере"

Делимичан губитак радне способности је везан за нарушавање правца резања, њега изазивају губитак оштрине зуба тестере и лепљење пиљевине на тестеру. Да ли ће доћи до лепљења пиљевине, зависи од врсте дрвета и процента влаге у њему, уколико је дрво са већим процентом влаге доћи ће до хватања пиљевине на тестеру, тако да је потребно проверавати тестеру и по потреби састругати пиљевину. На точковима се налазе профилисани чистачи који чисте путању тестере од пиљевине.

Губитак оштрине се односи на нормално хабање услед рада (колико ће дуго моћи да се ради са једним оштрењем зависи од квалитета оштрења и од тврдоће дрвета), и на наилажење тестере на тврђи предмет у дрвету. У 90% је то камен у кори дрвета, тако да пре него сто се крене са резањем треба преконтролисати дрво, или по потреби и обиму рада може се скинути кора или пак испрати са водом под великим притиском. Још једна мера за заштиту тестере од примеса у дрвету је уградња самоподешавајућег

циркуларног чистача који иде испред тестере, и прати облик дрвета. У зависности од његове подешености реже пут за тестеру на одређеној дубини, опет у зависности од тога о ком дрвету се ради, односно колико му је дебела кора.

Следећи посредни догађај у матичном стаблу отказа које је приказано на слици 28 је "Губитак погона". Губитак погона се односи на пуцање каишног преносника, отказ електромотора и отказ у електро инсталацијам, односно губитак напајања.

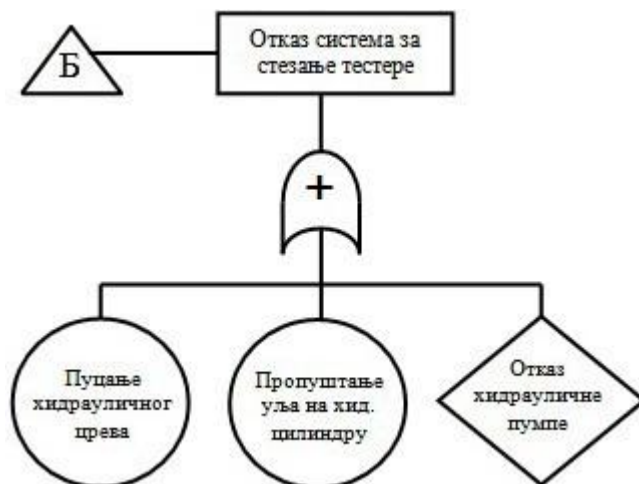
За дуготрајност каиша је потребно да буде затегнут по препорукама произвођача и по мерама самог преноса. То се односи на осно растојање између осовина мотора и доњег точка, и на пречнике каишника. За бансек пројектоване снаге је адекватно да се стави двоструки каишни преносник.

За благовремено откривање отказа или могућег отказа електромотора, треба пратити сваку звучну промену у раду електромотора. Уколико дође до отказа унутар електромотора, и уколико се региструје у раду, било звучно или по томе како електромотор погони бансек, треба одмах искључити мотор, јер је могуће да дође до прегоривања намотаја унутар електромотора.

Отказ у електро инсталацији може бити сигурносни, јер услед преоптерећења сигурносна склопка прекида напајање, или губитак контакта у водовима од извора напајања преко склопке, прекидача и на крају електромотора.

На слици 30 је дат приказ стабла отказа посредног догађаја "Отказ система за стезање тестере". Њега дефинишу три догађаја.

Први је пуцање хидрауличног црева. До оваквог отказа долази услед старости црева или грешке у производњи. За дужи радни век треба избегавати директно излагање црева сунчевој светлости, јер тако брже пропада.



Слика 30. Независно подстабло отказа за крајњи догађај отказ система за стезање тестере

Наредни догађај је пропуштање уља на хидроцилиндру. До овог догађаја долази услед старости, истрошености или кидања заптивних гумица унутар цилиндра. Такође, ако постоје превелика оштећења на самом клипу (избразданост цилиндра), доћи ће до цурења уља.

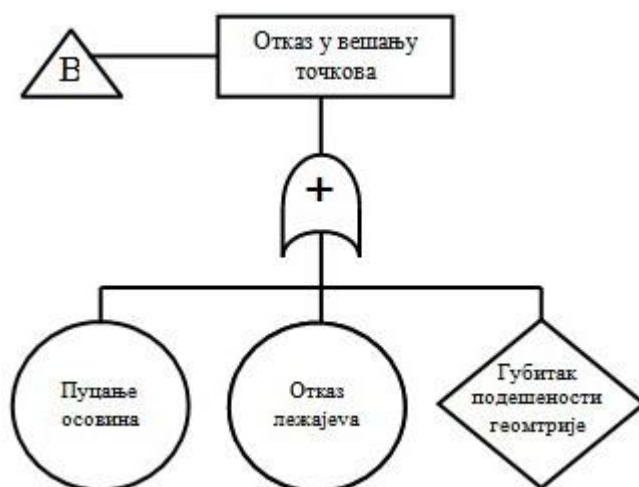
До отказа хидрауличне пумпе доводи истрошеност унутрашњих елемената за пумпање уља, лоше заптивање вентила за испуштање уља из цилиндра, који уједно и држи притисак при стежању, и недовољна количина уља у пумпи. Уколико нема довољно уља, немогуће је постићи радни притисак. У том случају прво треба долити уље, па ако се проблем понови, проверити да ли је вентил на пумпи довољно стегнут.

Наредни подвршни догађај је "Отказ стабилизатора" (слика 28). Стабилизатор има улогу у држању правца резања и носи заштитни лим. Пуцањем погонског ланца и отказом електромотора, долази до потпуног губитка радне способности. До пуцања ланца може доћи нестручним руковањем. Недостатак у садашњој конструкцији је што нема аутоматског искључивања погона односно електромотора, у крајњим положајима стабилизатора, па ако се благовремено не искључи може доћи до дефекта.

Уколико се стабилизатор редовно не подмазује долази до трошења вођица, стварањем и малог зазора у њима, он се пројектује вишеструко на положај стабилизатора, пошто се исти у доњем положају налази на великом препусту. У току рада се троше и пакнови (направљени од пертинса) кроз које клизи тестера. При намештању пакнова, треба их поставити са малим зазором, јер ако су превише близу тестере доћи ће до стварања превеликог отпора трења и кочиће тестеру. Ако се након експлоатације створи зазор у пакновима, треба их скинути и поравњати и правилно наместити. Појава зазора у поменутих елементима доводи до делимичног губитка радне способности.

Пошто у систему вешања има много елемената, и да не би анализа отказа постала преопширна и са мање успеха, при формирању стабла отказа узети су само најконкретнији откази у том систему (слика 31). Ломови попут пуцања једне од осовина точкова, и отказа лежачева у њима, доводе до потпуног губитка радне способности. Лежачеве треба редовно подмазивати, а као сигурност од повређивања радника услед лома осовина, и спречавање самог лома, на свакој осовини се налази конзолно ојачање, које иако дође до лома осовине, спречава да точак повреди радника.

Делимичан отказ настаје услед нарушавања геометрије положаја точкова. Померање носећих елемената настаје услед попуштања завртњева који везују носеће делове вешања за главни стуб, па је пожељно после одређеног временског периода преконтролисати затегнутост завртњева.



Слика 31. Независно подстабло отказа за крајњи догађај "Отказ у вешању точкова"

Последњи посредни догађај на слици 28, који доводи до отказа система је "Отказ радних столова". Под њим се подразумева искакање из пруге (до овакве појаве доводи нестручно руковање, ово је посебно односи на мањи радни сто, због мање сопствене тежине), лом и зарибавање лежајева. Лом лежаја изазива нестручно руковање, а то се односи на манипулацију дрветом на радном столу. Уколико се дрво нагло спусти на сто може довести и до много тежих последица по конструкцију, него што је само пуцање лежајева. На отказ лежајева се још односи и зарибавање истих, због отежаних услова рада. Према томе треба уградити добро заштићене лежајеве, да не би долазило до честих отказа.

4.3 Квалитативна анализа стабла отказа система за резање дрвета

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. [8].

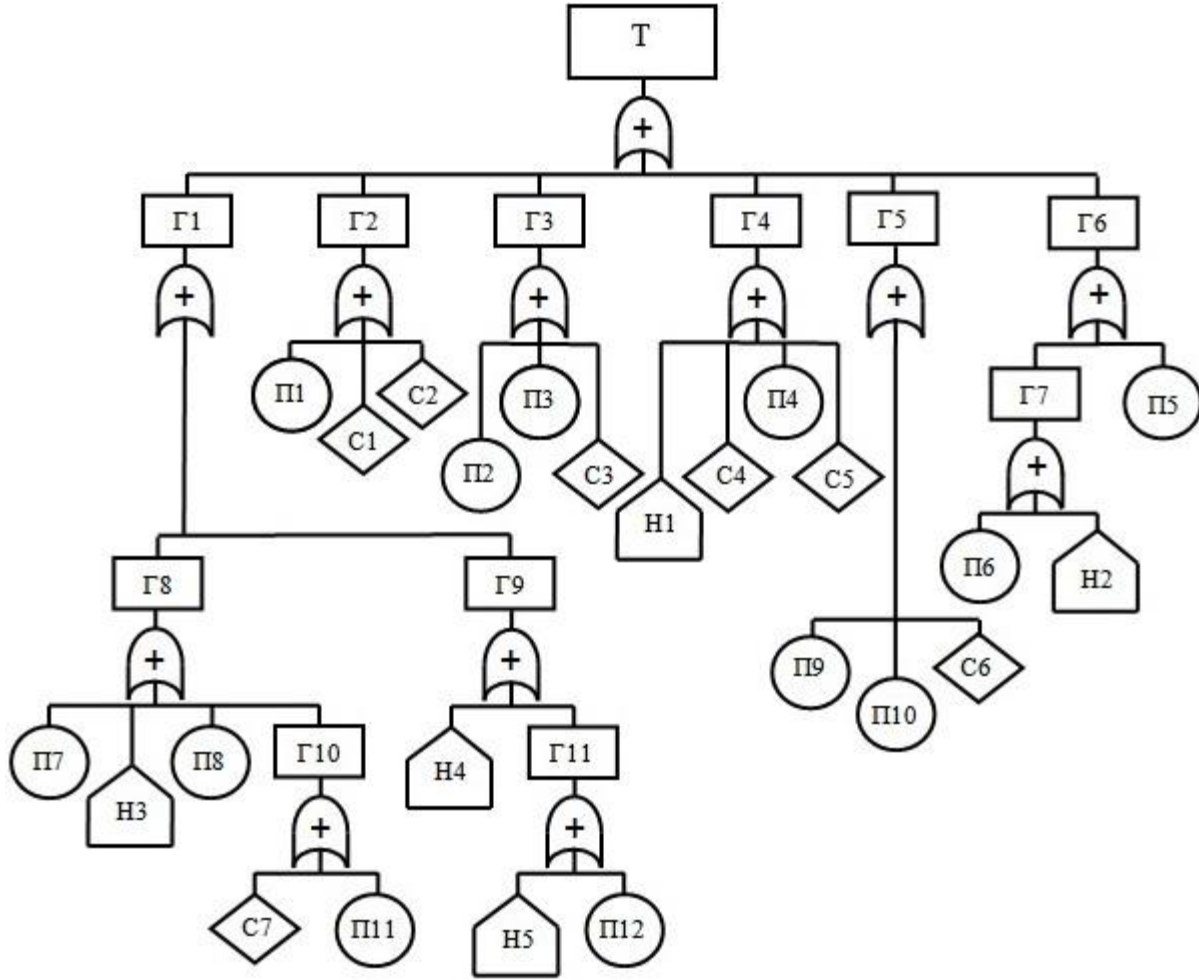
За одређивање скупа минималних пресека догађаја потребно је да се сви догађаји у стаблу означе Буловим променљивама. Уобичајено је да се вршни догађај означава са T ("top event"), посредни са G_i , $i = 1, 2, \dots$ ("gates"), базични догађај са Π_n , $n = 1, 2, \dots C_m$, $m = 1, 2, \dots$ ("primary" и "secondary" events), и нормално очекивани догађај са H_x , $x = 1, 2, \dots$.

У циљу вршења квалитативне анализе стабла отказа система за резање дрвета - "Бансек", сви догађаји у стаблу отказа означени су Буловим променљивама и представљени на слици 32. На слици је приказано стабло са крајњим догађајем "Отказ бансека", има 11 посредних и 24 базична догађаја (12 примарних, 7 секундарних и 5 нормално очекиваних догађаја).

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

1. Формирање логичких једначина за свако логичко коло у стаблу отказа. Сваком логичком колу одговара једна једначина. За стабло отказа приказано на слици 28. добија се:

$$\begin{aligned} T &= G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6, \\ G_1 &= G_8 + G_9, \\ G_8 &= \Pi_7 + \Pi_8 + H_3 + G_{10}, \\ G_{10} &= C_7 + \Pi_{11}, \\ G_9 &= H_4 + G_{11}, \\ G_{11} &= H_5 + \Pi_{12}, \\ G_2 &= \Pi_1 + C_1 + C_2, \\ G_3 &= \Pi_2 + \Pi_3 + C_3, \\ G_4 &= \Pi_4 + C_4 + C_5 + H_1, \\ G_5 &= \Pi_9 + \Pi_{10} + C_6, \\ G_6 &= G_7 + \Pi_5, \\ G_7 &= \Pi_6 + H_2 \end{aligned}$$



Слика 32. Развијање крајњег догађаја "Отказ бансека" преко посредних до базичних догађаја

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

$$\Gamma_8 = \Pi_7 + \Pi_8 + \Pi_{11} + H_3 + C_7,$$

$$\Gamma_9 = H_4 + H_5 + \Pi_{12},$$

$$\Gamma_1 = \Pi_7 + \Pi_8 + \Pi_{11} + \Pi_{12} + H_3 + H_4 + H_5 + C_7,$$

$$\Gamma_2 = \Pi_1 + C_1 + C_2,$$

$$\Gamma_3 = \Pi_2 + \Pi_3 + C_3,$$

$$\Gamma_4 = \Pi_4 + C_4 + C_5 + H_1,$$

$$\Gamma_5 = \Pi_9 + \Pi_{10} + C_6,$$

$$\Gamma_6 = \Pi_5 + \Pi_6 + H_2$$

$$T = \Pi_7 + \Pi_8 + \Pi_{11} + \Pi_{12} + H_3 + H_4 + H_5 + C_7 + \Pi_1 + C_1 + C_2 + \Pi_2 + \Pi_3 + C_3 + \Pi_4 + C_4 + C_5 + H_1 + \Pi_9 + \Pi_{10} + C_6 + \Pi_5 + \Pi_6 + H_2$$

$$T = \sum_{n=1}^{12} \Pi_n + \sum_{m=1}^7 C_m + \sum_{x=1}^5 H_x$$

3. Редукција добијеног израза коришћењем правила Булове алгебре. За наведени пример израз добијен у другом кораку не може даље да се редукује.

Значајан део квалитативне анализе стабла догађаја, представља анализа заједничког узорка. У оквиру ње се анализира понашање система који је подвргнут специјалним условима и секундарним узроцима и рангира се њихов утицај на појаву вршног догађаја [8].

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 система за резање дрвета бансек, сви секундарни узроци који доводе до базичних догађаја могу да се сврстају у четири категорије:

A - неблаговремено одржавање,

B - дефектна израда,

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

Г - преоптерећење.

Скуп догађаја који доводи до вршног догађаја може се написати у облику:

$T : \{10 \text{ дог. категорије } A, 2 \text{ дог. категорије } B, 48 \text{ дог. категорије } B, 31 \text{ дог. категорије } Г\}$

Анализа заједничког узрока догађаја врши се тако што се рангира утицај појединих секундарних узрока (*A*, *B*, *B*, *Г*) на крајњи догађај *T*, на тај начин се добија релативни удео (*PU*) сваког од три узрока:

1. $PU A = 0,10989$,

2. $PU B = 0,02197$,

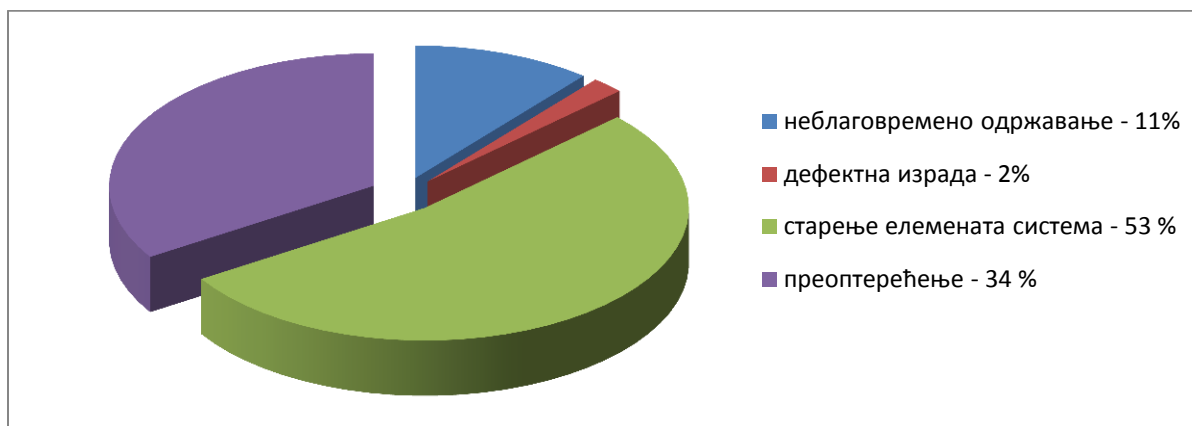
3. $PU B = 0,52747$,

4. $PU Г = 0,34065$,

при чему је :

$$\sum_{i=A}^D PU_i = 1.$$

"Тежине" сваког од четири секундарна узрока базичних догађаја приказане су на слици 33.



Слика 33. Процентуално учешће секундарних узрока базичних догађаја

На основу добијених података приказаних на слици 33, види се да су најчешћи узроци отказа елемената система за резање дрвета - бансек, старење са 53 %, и преоптерећење са 34%.

Када су у питању откази услед старења, на њих може да се утиче на начин да буду потпуно елиминисани (повећањем трајне динамичке чврстоће материјала код заморног лома), или да буду одложени на краћи или дужи период (на пример повећањем отпорности на хабање додирних површина делова који се налазе у релативном кретању и сл.).

Сви машински ситеми у току експлоатације захтевају одговарајуће одржавање. Периодичним контролним прегледима и одговарајућим превентивним и корективним активностима, удео отказа који настају услед неблагоприятног одржавања може да се сведе на минимум.

Пошто се при раду са бансеком наилази на разноврзне димензије и типова дрвета, и манипулације са истим, да би се избегли откази услед преоптерећења, треба посветити велику пажњу при раду и руковању са овим машинским системом.

Елементи који су најбројнији у старењу и преоптерећењу као узрока отказа, су лежајеви радних столова, тако да са уградњом јачих и квалитетнијих лежајева се доста смањује вероватноћа отказа система.

За боље функционисање и лакши рад система, потребно је повремено подмазивати тестеру у току рада. Може се повремено наносити нафта са четком, или пак помешано уље за подмазивање ланца моторне тестере са нафтом у односу 50 / 50%. Наношење може бити и аутоматизовано, влажење тестере водом никако не треба радити, јер ће тестера кородирати од воде, и на месту корозије може настати иницијална заморна пукотина.

Оно што би на првом месту највише допринело ефикаснијем раду овог система, јесте уграђивање електро погона за покретање радних столова. Затим уградња дизалице с којом би се манупулисало дрветом на радном столу и уградња електро механичких граничника за подешавање и држање мере резања дрвета.

Најефтинија варијанта за електро механичко покретање столова је извођење преко сајли и погонских добоша, који се погоне електромотором. Други начин је везивање назубљене летве за радни сто, која се погони зупчаником везаним за електромотор. Јефтинија алтернатива зупчастој летви је равна вертикална летва, везана за радни сто, која пролази кроз два гумена ваљка, од којих је један погонски и везан за мотор. Овакав вид погона би захтевао контролу, односно избор брзине кретања, као и неки вид сигурносног система у оквиру погона, који би прекинуо кретање услед неког преоптерећења у току рада. Ово би најлакше било извести уградњом мале ламеле између погонског елемента и електромотора.

Додатна дорада, која би олакшала услове рада, је уградња аутоматског искључивања погона стабилизатора у његовим крајњим положајима, као и граничних лежајева на задњој страни тестере.

5. ЗАКЉУЧАК

Живот човека се мењао и напредовао пре свега захваљујући науци и реалним научним идејама. Иако се оквир живота мењао кроз векове, у центру тих оквира је и даље сам живот. Парадоксално је да што се наизглед лакше живи, системи и уређаји који то омогућавају су све бројнији и сложенији, и сама популација која их користи је све бројнија. Па пошто су људи који раде са уређајима и даље главни фактор грешака, то ставља још једну додатну тежину на безбедност. Многобројни су случајеви у историји индустрије у којима су исхитрени и непромишљени потези људи доводили до еколошких катастрофа и многобројног страдања.

Кроз повећање производње и сложености уређаја, јавила се потреба за детаљнијом контролом поузданости, па је у другој половини 20. века уведена анализа отказа система кроз стабло отказа, после које су се појавиле и додатне анализе безбедности и процене ризика.

Благовремена анализа у току пројектовања, скраћује време конструисања, смањује појављивање могућих грешака у конструкцији и повећава безбедност.

Дрво је један од најстаријих и најосновнијих материјала у употреби човека. Представља обновљив извор како енергије, тако и у употреби као конструкциони материјал. Проблем је нерационална и прекомерна експлоатација, која нарушава његову обновљивост и ремети екосистем. Нагло повећање експлоатације дрвета је дошло са индустријализацијом у 19. веку.

Прва и основна ствар која је потребна за израду машине за резање дрвета, је савитљива тестера, док се остали делови конструкције, у зависности од озбиљности и обима рада, могу у широкој мери импровизовати. За точкове се могу користити и аутомобилски или камионски точкови, као и њихово само вешање. Мана је што ће зуби тестере нагризати гуму. Такође, што се више смањује физичко учествовање радника у раду, систем постаје све сложенији и скупљи за израду.

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.

Редовно одржавање бансека се највише огледа у благовременом и правилном оштрењу тестере. За даље добро функционисање тестере је битна и правилна разметнутост зуба. Уколико обе стране нису подједнако разметнуте, доћи ће до кривљења и додатног оптерећивања система. Редослед при одржавању тестере је да се прво разметну зуби, па се потом наостре. Друга битна ставка у оквиру редовног одржавања, је редовно подмазивање лежајева точкова.

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] Ћатић Д., *Поузданост у развоју машинских система*, Монографија, Машински факултет, Крагујевац, 2010.
- [2] Woodworkinghistory, http://www.woodworkinghistory.com/glossary_bandsaw.htm, преузето 6. 3. 2013.
- [3] Wikimedia Commons, [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Horizontal_log_band_mill_\(Carpentry_and_Joinery,_1925\).jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Horizontal_log_band_mill_(Carpentry_and_Joinery,_1925).jpg), преузето 6. 2. 2013.
- [4] Wikimedia Commons, [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vertical_bandsaw_mill_\(Carpentry_and_Joinery,_1925\).jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vertical_bandsaw_mill_(Carpentry_and_Joinery,_1925).jpg), преузето 6. 2. 2013.
- [5] Logosol, http://www.logosol.co.uk/images/products/bandsaw-mills/accessories/wire-kit-with-posts/large/logosol_bandsaw-mills_accessories_wire-kit-with-posts_1801.jpg, преузето 6. 3. 2013.
- [6] Woodmizer, <http://www.woodmizer.com/us/IndustrialEquipment/Headrigs/WM4000.aspx>, преузето 9. 15 2013.
- [7] Primemover, <http://primemover.ibtinc.com/component/k2/item/447-mk-morse-bandsawblades>, преузето 9. 3. 2013.
- [8] Ћатић Д., *Методe поузданости машинских система*, Машински факултет, Крагујевац, 2006.