

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: 420/2017

Бојан М. Павловић

Анализа стабла отказа транспортне траке

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Добривоје Ћатић -ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Задатак:

У оквиру овог рада размотрити основе и практично применити Анализу стабла отказа на систем транспортне траке. У уводном делу рада дати дефиницију методе Анализе стабла отказа, историјски развој, основне карактеристике и области примене. Затим детаљно описати кораке ове методе и симболе који се користе за формирање стабла отказа. За анализу стабла отказа неопходно ј детаљно упознавање разматраног објекта са аспекта структуре и начина функционисања. Због тога, у посебном поглављу на основу доступних информација, описати саставне елементе и функције које обављају у оквиру разматране машинске конструкције. У наредном поглављу, дедуктивном анализом за усвојени вршни догађај, формирати стабло отказа транспортне траке са описом сваког појединачног догађаја. У зависности од врсте и обима доступних података, извршити квантитативну анализу стабла отказа. У закључку рада навести крајње резултате примене анализе стабла отказа и мере превентивног или корективног карактера, којима би могли да се отклоне уочени недостаци.

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, 2020.

ментор:

Др Добривоје Ћатић, ред. проф.

РЕЗИМЕ

У оквиру рада, описани су циљеви ФТА, методологија анализе стабла отказа, дефинисање вршног догађаја као и конструисање стабла отказа. Представљени су саставни делови тракастог транспортера, описан је начин функционисања и урађено је расчлањавање тракастог транспортера. У даљем раду, конструисано је стабло отказа тракастог транспортера и урађена је његова анализа. На самом крају, извршена је процена стабла отказа, тумачење и презентовање резултата анализе.

Кључне речи: анализа стабла отказа, вршни догађај, поузданост, транспортна трака.

ABSTRACT

In the course of the paper, FTA goals, fault tree analysis methodology, top event definition, and fault tree construction were described. The components of the belt conveyor are presented, the way of functioning is described and the disassembly of the belt conveyor is done. In further work, the failure tree of the belt conveyor was constructed and its analysis was performed. At the very end, the failure tree was evaluated, the results of the analysis were interpreted and presented.

Key words: fault tree analysis, top event, reliability, belt conveyor.

Садржај

1. УВОД	6
2. Историјски развој FTA методе	8
2.1 Преглед догађаја.....	8
2.2 Развој FTA методе као последица великих хаварија	9
2.3 Хаварија на Аполу 1.....	9
2.4 Хаварија реактора 4 у нуклеарној електрани Лењин.....	11
3. Анализа стабла отказа FTA.....	13
3.1 Методологија анализе стабла отказа	13
3.2 Одређивање вршног догађаја	15
3.3 Формирање-конструкција стабла догађаја	15
3.3.1 Симболи примарних догађаја	17
3.3.2 Симболи логичких капија	17
3.3.3 Симболи за пренос.....	18
3.4 Усвајање стабла догађаја.....	18
3.4.1 Оцена стабла догађаја.....	18
3.4.2 Корекција стабла догађаја.....	19
4. Историјски развој и опште карактеристике тракастих транспортера	20
4.1 Историјски развој тракастих транспортера	20
4.2 Савремени тракасти транспортери	22
4.3 Опште карактеристике тракастих транспортера	24
4.4 Основни технички подаци тракастог транспортера	26
5. Саставни елементи и конструкција тракастих транспортера	28
5.1 Носећа конструкција тракастог транспортера.....	29
5.2 Вучни елемент транспортера-трака.....	30
5.2.1 Глатке гумене траке.....	31
5.2.2 Гумене траке са челичним ужетом.....	32
5.2.3 Гумене траке од армида	32
5.2.4 Гумене траке са рељефном површином.....	33
5.2.5 Челичне транспортне траке.....	34
5.3 Уређаји за ношење и центрирање траке	35
5.3.1 Носећи ваљци	35

5.3.2 Уређаји за центрирање траке	38
5.4 Погонски и затезни уређаји транспортне траке	39
5.4.1 Погонски уређаји	39
5.4.2 Погонски добош	40
5.4.3 Затезни уређај	41
6. Стабло отказа транспортне траке	43
6.1 Квалитативна анализа стабла отказа	51
6.2 Анализа заједничког узрока	55
Закључак	58
ЛИТЕРАТУРА	59

1. УВОД

Машински систем представља материјализовани производ људског ума, намењен извршавању одређене функције. Наука о поузданости машинских система, односи се на правилан и сигуран рад како саставних делова тако и система у целини. Поузданост машинског система представља вероватноћу на одређеном нивоу поверења, да ће систем исправно радити. Квалитет производа, као и његова способност за неометано обављање одређене функције, директно зависе од великог броја испитивања којима се бави наука о поузданости. Све већа потражња у погледу квалитета производа, као и њихове цене, данашњим произвођачима не нуди великог простора за појаву грешака или дефектне израде самих производа. С тим у вези, поузданост је незаобилазни фактор у свим фазама животног циклуса машинског система, почевши од пројектовања самог производа, технологије његове израде, и на крају производње [1].

Фаза пројектовања производа генерише његов квалитет. У овој фази се открива и отклања највећи број грешака које би у каснијим фазама развоја производа, имале за циљ прогресиван раст укупних трошкова квалитета производа. Трошкови за отклањање грешака откривених у фази пројектовања, далеко су мањи од трошкова који би уследили при откривању истих грешака у фази пројектовања технологије за израду самог производа. Међутим, уколико се грешке и недостаци на производу открију код корисника, трошкови у односу на почетни износ су и до хиљаду пута већи. Из тог разлога, наука о поузданости је развила већи број метода од којих се најчешће користе Анализа стабла отказа (Failure Tree Analysis-FTA) и Анализа начина и последица отказа (Failure Modes and Effects Analysis - FMEA) [1].

Анализа стабла отказа (Failure Tree Analysis - FTA) представља методу која се најчешће користи при анализи сигурности и поузданости машинских система. Метода се базира на дефинисању вршног догађаја који у стаблу отказа представља отказ система. Вршни догађај представљен као отказ система, мора бити тачно и прецизно дефинисан. Даљим радом и прикупљањем информација, формира се стабло отказа које се састоји од узрочних догађаја, који својим директним утицајем доводе до отказа система. За правилно формирано стабло отказа одређеног система, неопходно је његово добро познавање, као и извештаји или информације о евентуалним ранијим отказима појединих елемената система. Добијени резултати и изведени закључци користе се за потребе пројектовања производа и производних процеса, контролисања и испитивања, одржавања и слично.

Процес развоја једног машинског система почиње захтевом за новим производом а завршава се израдом и испитивањем. Основне фазе животног века једног производа у којима се примењује анализа отказа су [1, 5]:

- пројектовање,
- производња и
- експлоатација.

У пројектовању и развоју генерише се квалитет производа али и највећи број грешака које у даљем развоју, ако се не открију, имају за последицу прогресиван раст укупних трошкова квалитета производа. Грешке које се открију у раној фази пројектовања изазивају одређене трошкове за њихово отклањање. Међутим, уколико се настале грешке открију у каснијим фазама животног века производа, последице за њихово отклањање и санирање се удесетостручавају. Проценат грешака које настају у раној фази пројектовања и развоја производа износи 75%. Разлог томе је што се у раним фазама пројектовања производа теже откривају грешке.

У производњи и приликом контролисања и испитивања, открива се и отклања око 80% грешака на производу или одређеној конструкцији. Штетан утицај грешака на квалитет производа и на повећање трошкова производње са једне стране, и нарастајућа очекивања корисника у погледу квалитета и цене производа са друге стране, указују на потребу да се процесу развоја производа посвети велика пажња.

Циљ овог рада је да се на основу конструисаног стабла отказа, утврде узроци који ће директно довести до целокупног отказа система. Применом методе ФТА, добиће се приближније информације о поузданости појединих делова система. На основу добијених информација приступа се анализи и разматрању евентуалних измена ради повећања поузданости одређених елемената система.

2. Историјски развој FTA методе

Анализа стабла отказа представља основну методу за анализу поузданости и сигурности машинских система. Метода анализе стабла отказа развијена је раних шездесетих година 20. века у Сједињеним америчким државама чији је идејни творац био Вотсон (Н. А. Watson) из фирме Бел Лабораторије (Bell Laboratories) [1]. Вотсон је током 1961. и 1962. године, за потребе ратног ваздухопловства, ову методу применио при анализи сигурности система код лансирања ракета типа "Minuteman". Циљ истраживања је био да се утврде узрочници који доводе до нежељених појава при лансирању или управљању ракетом. Током каснијих година метода анализе стабла отказа се примењује у наоружању, нуклеарним електранама, у електричним и електронским системима. Метода анализе стабла отказа постаје метода са великим значајем код свих компликованијих техничких система.

2.1 Преглед догађаја

У овом поглављу приказана је примена FTA методе од њеног настанка крајем 20. века и њена даља примена у 21. веку [2].

- Почеци примене (1961 – 1970):

1. Х. Вотсон из Бел лабораторије, заједно са А. Марнсом (А. Mearns) развија технику за процену сигурности система за лансирање у ваздухопловству (1961);
2. Добијање признања од Дејв Хасла (Dave Haas) из Боинга као значајан алат за анализу система безбедности (1963);
3. Прво масовно коришћење ове методе од стране Боинга, на читав Minuteman ракетни систем за процену безбедности (1964 - 1967, 1968-1999);
4. Технички радови на анализи стабла отказа који су представљени на првој конференцији безбедности система која је одржана у Сијетлу (јун 1965);
5. Боинг почиње да користи анализу стабла отказа у конструкцији комерцијалних авиона (1966);
6. Боинг развија први софтвер за симулацију стабла отказа.

- Ране године (1971 – 1980):

1. Анализа стабла отказа је усвојена за примену у нуклеарној индустрији;
2. Развијају се многи нови алгоритми за ову методу;
3. Створени су нови софтвери за анализу стабла отказа (Prepp/Kitt, SETS, FTAP, Importance, COMCAN).

- Средње године (1981 – 1990):

1. Употреба ове методе постаје међународна, нарочито посредством нуклеарне индустрије;
 2. Велики број стручних радова на ову тему је објављен.
- Новије године (1991 - 2011):
 1. Наставак употребе на многим системима у многим земљама;
 2. Висок квалитет анализе стабла отказа и побољшање софтвера за персоналне рачунаре (PC);
 3. Употреба ове анализе у роботизи.
 - Битни догађаји и допринос појединаца у развоју анализе стабла отказа:
 1. Дејв Хасл осмишљава методологију и правила која бивају прихваћена у индустрији;
 2. Џери Фасл (Jerry Fussell) покреће аутоматско конструисање стабла отказа помоћу модела;
 3. Пауверс (Powers) и Томпикис (Tompkins) развијају аутоматско стабло отказа за хемијске системе;
 4. Лап (Lapp) и Пауверс (Powers) развијају програм Fault Tree Synthesis;
 5. 1970. године В. Визли (W. Vesely) развија теорију кинетичког стабла отказа (KITT) и компјутерски програм PREPP/KITT;
 6. Фасл и Визли развијају алгоритам MOCUS, методу добијања пресека догађаја;
 7. П. Пенд (P. Pande), М. Спектор (M. Spector) и П. Читарџи (P. Chatterjee) стварају алгоритам за минимални пресек догађаја MICSUP;
 8. Д. Расмунсон (D. Rasmuson) и Н. Маршал (N. Marshall) побољшавају MOCUS и развијају алгоритам FATRAM;
 9. Рендал Вили (Randall Willie) развија веома популаран софтвер FTAP;
 10. Дик Ворел (Dick Worrell) развија SETS компјутерски програм који је и данас у употреби;
 11. (Howard Lambert) развија програм под називом IMPORTANCE.

2.2 Развој ФТА методе као последица великих хаварија

Метода анализе стабла отказа добија први велики значај крајем шездесетих година прошлог века. Игром несрећних околности, и великих људских жртава, ФТА метода је морала бити развијена и дубоко утемељена у свим одговорним конструкцијама. Несреће које ће бити наведене у наредним поглављима, представљају резултат како узрочни догађаји могу довести до потпуне хаварије на неким од најсложенијих техничких система.

2.3 Хаварија на Аполу 1

Свемирска летелица 012 која је додељена мисији под ознаком АС-204 израђена је у компанији North American Aviation, у одељењу за информационе системе у Калифорнији. Израда је започета у августу 1964. године, а основна конструкција је завршена у септембру 1965. године. Како се наводи у званичном извештају [3], током израде конструкције свака компонента сваког подсистема подвргнута је тестовима, након чега су

се подсистеми састављали. Новембра 1964. и 1965. године одржан је низ прелиминарних прегледа пројекта. Провера свих подсистема као и критичне провере дизајна урађене су фебруара 1966. године. NASA је у августу 1966. године након прегледа коначно дала сертификат летачке исправности и отпремила брод у свемирски центар Џон Ф. Кенеди (John F. Kennedy). У сертификату се налазио попис свих отворених радова које је требало комплетирати у свемирском центру Џон Ф. Кенеди.

Први проблеми на модулу откривени су комбинованим тестовима који су се обављали у периоду од 14. септембра до 1. октобра 1966. године. Примећено је неколико недостатака, од којих су неки отклоњени, а неки одложени за каснији период [3]. Трочлана посада коју су чинили Гас Грисом (Gus Grissom), Едвард Вајт (Edward Higgins White) и Роџер Шафе (Roger B. Chaffee) је 27. Јануара 1967. године ушла у Аполо. У почетку самог теста пријављени су проблеми са снабдевањем кисеоником, али је тест настављен. У следећим фазама теста појавио се проблем у комуникацијама између посаде и командног торња. У даљем интервалу један од астронаута је пријавио да се кабином осећа дим, те се у наредним секундама огласио да је избио пожар. Пожар је избио у командном модулу и прогресивно се ширио. Сарадници на пројекту који су кренули ка запечаћеном Аполу у намери да спасу посаду нису стигли, јер се у том тренутку у командном модулу десила експлозија. Процес евакуације приликом лансирања претио је да разори целу носећу конструкцију летелице [3].

Извештаји које је након несреће објавила агенција NASA наводе да је један од пилота покушавао да отвори поклопац модула. Међутим, отварање поклопца командног модула је у тој ситуацији био немогућ због знатно већег притиска унутар модула него ли атмосферског који је деловао споља. Након детаљне анализе несреће, дошло се до сазнања да је модул имао доста мана у самој конструкцији. Положај отворених врата командног модула био је ка унутрашњости модула. У комбинацији са унутрашњим притиском кабине, који је је имао прогресиван раст због пожара, овако конструисана врата није било могуће отворити. Други битни пропуст је био немогућност система да висок притисак који је и даље имао тенденцију раста унутар модула, смањи. На крају, догађај који је био неизбежан је експлозија кабине командног модула на летелици Аполо 1. На слици 2.1 приказан је изглед модула након несреће [3].



Слика 2.1 Аполо 1 након несреће

Трочлана посада није преживела ову несрећу. Недуго након доласка ватрогасаца, пристигао је и тим од три лекара који није имао могућност да одмах приступи Белој соби због недостатка опреме која је подразумевала специјална одела и апарате за кисеоник. Утврђено је да се ништа није могло учинити моменталним уклањањем посаде, па је спроведен поступак детаљног проветравања модула након чега је тим лекара имао приступ Белој соби. Константована је смрт сва три члана посаде, као последица велике температуре и гушења. Тела настрадалих pilota уклоњена су пет часова након несреће због потреба истраге, а њихово уклањање трајало је 90 минута. На слици 2.2 приказани су астронаути који су изгубили животе у спровођењу теста на мисији Аполо 1 [3].



Слика 2.2 Астронаути Аполо 1

2.4 Хаварија реактора 4 у нуклеарној електрани Лењин

У доба хладног рата 26. априла 1986. године десила се највећа нуклеарна катастрофа у историји човечанства у близини града Припјат у Украјини. Електрану је чинило четири реактора који су производили десет процената укупно трошене електричне енергије у Украјини. До експлозије на реактору четири дошло је током спровођења теста. Сврха теста је била да се утврди да ли електрични генератор у случају гашења турбогенератора, може да издржи довољно времена и обезбеди довољно електричне енергије за систем хлађења, док се не укључе помоћни дизел агрегати. Тест је представљао ситуацију у којој нуклеарна електрана остаје без спољашњег напајања електричном енергијом. Хлађење реактора вршило се протоком воде за чије снабдевање су биле задужене водене пумпе. У случају нестанка електричне енергије, водене пумпе остају без напајања, за ту сврху, служила су три дизел агрегата која би надоместила случајан нестанак енергије. За покретање дизел агрегата био је потребан одређени интервал времена да би постигли своју пуну снагу, те да би се избегао тај прекид, тестом се утврђивало да ли се заостала енергија, односно ротационо кретање парне турбине, може искористити за производњу електричне енергије до тренутка укључења дизел мотора. На

тај начин, реактори би имали континуално хлађење, и тиме би се избегао ризик у коме би се чекало да дизел мотори своју пуну снагу испоручују пумпама за хлађење [4].

Након покретања теста, у 1 час и 23 минута по московском времену долази до експлозије на четвртом реактору електране Лењин 1986. године. Истог тренутка свет је сведок највеће нуклеарне катастрофе у историји човечанства. Хаварија реактора била је последица недовољног хлађења језгра у току теста, након чега је дошло до прогресивног раста топлоте, а затим експлозије и великог ширења радиоактивног зрачења. Постоје различите студије о узроцима који су довели до овако велике катастрофе. Први указ на последицу хаварије је био људски фактор, односно недовољна припремљеност оператера за обављање овако сложеног и одговорног теста. Међутим, велика пажња се касније преусмерила на саму конструкцију реактора. Наиме, реактор који се налазио у нуклеарној електрани Лењин, био је израђен са грешком на самим контролним шипкама. Контролне шипке реактора представљају његову кочницу, одосно, служе да зауставе нуклеарну реакцију. Када су оператери изгубили контролу над реактором 4 одлучили су се на аутоматско гашење самог реактора, односно спуштање свих контролних шипки и прекидом нуклеарне реакције. Међутим, до гашења реактора није дошло већ до повећања реактивности у самом реактору. Као последица оваквог одговора реактора наводи се да су нуклеарне шипке на самим врховима биле израђене од графита који је допринео да се реактор још више убрза. Недовољно поуздан реактор, допринео је да се из оближњег града Припјата евакуишу и заувек иселе хиљаде домаћинстава. У зони зрачења око нуклеарне електране, човечанство се први пут сусрело са невидљивим непријатељем, а сав радиоактивни отпад је већином уклоњен људством, јер су се од дозе зрачења готово сви работи отказивали. На слици 2.3 приказани су војници који уклањају радиоактивни графит са крова нуклеарне електране Лењин. Као заштиту од радиоактивног утицаја војници су носили тежак оловни оклоп и рукавице. Неке од изјава извршиоца након силаска са крова електране су биле да осећају јак бол у рукама као последицу озрачења. На слици 2.3 примећују се беле мрље које представљају извор радиоактивног зрачења. Тачан број жртава нуклеарне катастрофе никада није утврђен. Град Припјат у близини електране и даље представља забрањену зону, а отворен је за туристе само уз специјалну пратњу [4].



Слика 2.3 Уклањање радиоактивног отпада са крова нуклеарне електране Лењин

3. Анализа стабла отказа FTA

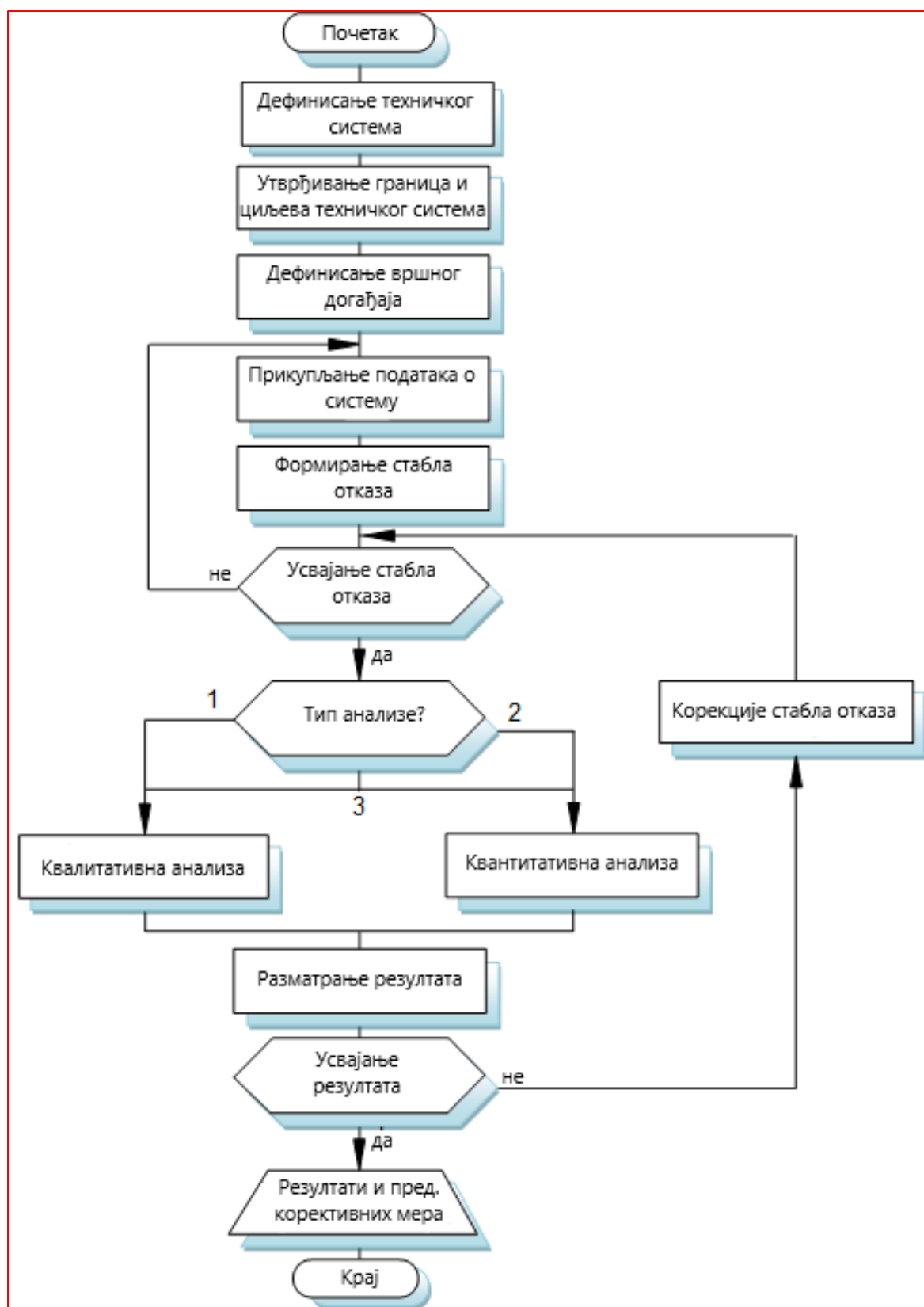
Анализа стабла отказа FTA, представља детаљну дедуктивну методу која захтева велики број информација о систему, услед чега се најчешће примењује у фази пројектовања производа. FTA се такође у не тако ретким случајевима, примењује и у дијагностици, обзиром да омогућује предвиђања највероватнијих узрока отказа система. Нежељени ефекти у овој анализи називају се вршним догађајем, одређују се индуктивним методама било анализом или интуитивно. Циљ конструисања стабла отказа је моделирање услова, који резултују појавом вршног догађаја-отказа. Анализом се започиње квалитативним дефинисањем нежељеног догађаја, а потом се дедукцијом, пролазећи кроз конфигурацју система, проналазе откази елемената система и процедуралне грешке које могу довести до нежељеног догађаја [1, 5, 6].

3.1 Методологија анализе стабла отказа

Методологија анализе стабла отказа обухвата [1, 5]:

- дефинисање техничког система,
- утврђивање граница и циљева техничког система,
- дефинисање вршног догађаја,
- систематско прикупљање података о систему и њихову анализу,
- формирање стабла догађаја за утврђени вршни догађај,
- проверу и усвајање стабла отказа,
- квалитативну и/или квантитативну анализу,
- разматрање резултата и проверу њихове комплетности и подударности са захтевним,
- усвајање резултата,
- презентирање резултата и предлог корективних мера.

На почетку анализе поузданости техничког система методом Анализе стабла отказа, даје се дефиниција и утврђују се границе и циљеви система [5]. На слици 4.1 илустрована је методологија анализе стабла отказа од самог дефинисања система, до крајњих резултата и предлога корективних мера.



Слика 3.1 Методологија анализе стабла отказа техничких система

3.2 Одређивање вршног догађаја

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. Вршни догађај мора бити јасно и недвосмислено дефинисан у стаблу отказа. Брижљив избор вршног догађаја је веома значајан за успех анализе [1, 5]. Ако је догађај и сувише општи, анализа постаје гломазна и њоме се не може управљати. У супротном ако је догађај и сувише специфичан, анализа не обезбеђује довољно добар увид у систем. Вршни догађај мора у потпуности да се дефинише како би узрочни догађаји могли јасно да се препознају [1,5].

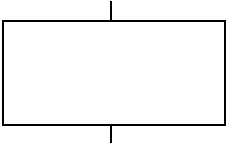
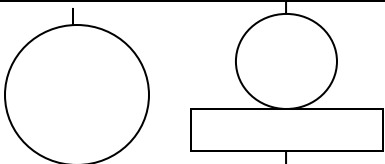
Од аналитичара се захтева да пре него што приступи формирању стабла догађаја веома добро проучи систем са становишта структуре, начина функционисања и међусобног односа саставних елемената. Основу за то представља скуп информација садржаних у конструктивној документацији произвођача, прорачунима, извештајима са испитивања, каталозима, приручницима за одржавање, рекламацијама корисника, прошлим отказима сличних система и тд. [1, 5].

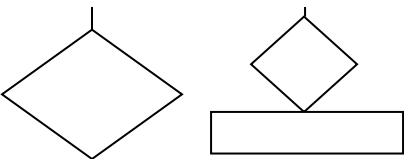
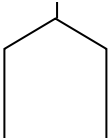
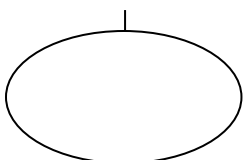
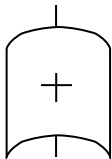
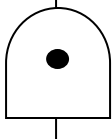
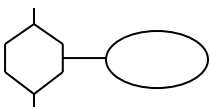
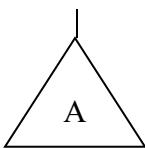
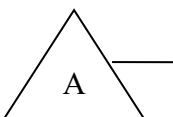
У литератури свемирке агенције NASA [8], постоји веома занимљива дефиниција којом се дедуктивном методом долази до самог вршног догађаја-отказа. Вршни догађај се представља одређеним стањем у коме је систем отказао, и где се покушава наћи начин понашања система, или подсистема који доприноси овом неуспеху. Овај приступ је у литератури [8] назван Шерлок Холмс (Sherlock Holmes). Холмс суочен са датим доказима има задатак да реконструише догађаје који су довели до злочина, у нашем случају отказа система [8].

3.3 Формирање-конструкција стабла догађаја

Конструкција стабла догађаја врши се помоћу симбола за догађаје, логичке капије и пренос. Најчешће коришћени симболи дати су у табели 3.1 [5].

Табела 3.1 Симболи за догађаје, логичке капије и пренос

Симболи посредних догађаја	
	Вршни или посредни догађај
Симболи примарних догађаја	
	Примарни базични (изворни) догађај

	Секундарни базични (неразвијени) догађај
	Нормално очекивани догађај
	Условни догађај
Симболи капија	
	„ИЛИ“ капија
	„И“ капија
	Блокирајућа капија
Симболи за пренос	
	Пренос „У“
	Пренос „ИЗ“

3.3.1 Символи примарних догађаја

Правоугаоник означава догађај на излазу из логичке капије (вршни или посредни), који се јавља као последица логичке комбинације улазних догађаја. У правоугаонику се уписује опис догађаја.

Круг означава базични иницирајући догађај који не захтева даље развијање. Независан догађај који се користи само као улаз у логичку капију. Круг представља завршетак стабла у тој тачки.

Ромб означава догађај који није развијен до сопствених узрока због недостатка потребних информација, или мале значајности последица, или избегавања паралелности анализе.

Кућица означава очекивани догађај, чије се понављање природно очекује током нормалног функционисања техничког система у пројектованим условима рада и који може узроковати вршни догађај.

Овал означава условни догађај дефинисан у облику специфицираних услова или ограничења. Овај симбол се обично примењује у комбинацијама са логичким капијама.

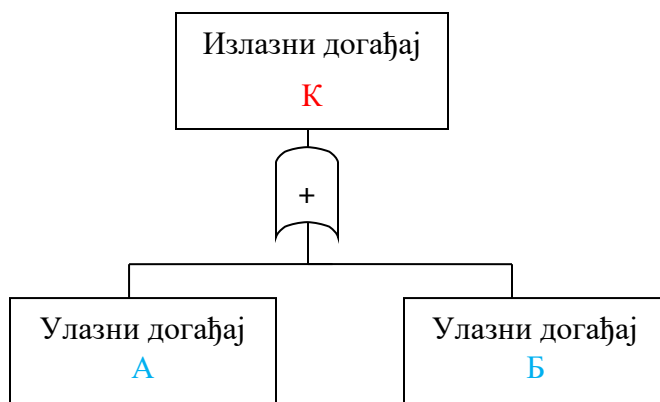
3.3.2 Символи логичких капија

За међусобно повезивање догађаја који доводе до специфицираног вршног догађаја у стаблу отказа користе се логичке капије.

„ИЛИ“ логичка капија са идентификационим знаком (+), представља логичку капију која производи излаз ако се деси један или више улазних догађаја.

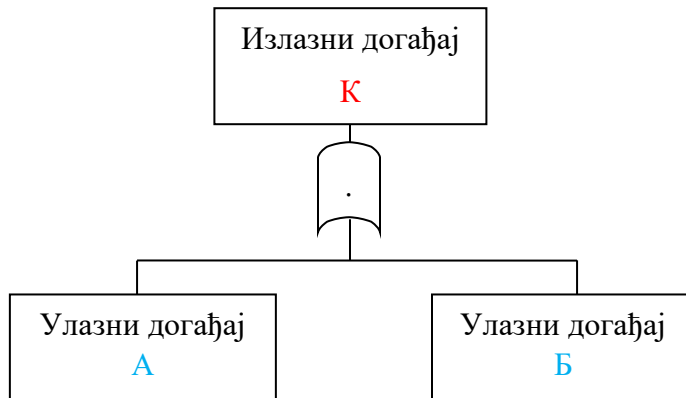
„И“ логичка капија производи излаз само ако се десе сви улазни догађаји. Графички симбол капије „И“ представља идентификациони знак ($\cdot$).

На слици 3.2 приказана је логичка капија „ИЛИ“ са улазним догађајима А и Б и излазним догађајем К. Излаз из логичке капије К, ће се десити уколико се десе догађаји А и Б.



Слика 3.2 Приказ логичке капије „ИЛИ“

На слици 3.3 приказана је логичка капија „И“ са улазним догађајима А и Б и излазним догађајем К. Излазни догађај К, ће се десити уколико се десе и догађај А и догађај Б.



Слика 3.3 Приказ логичке капије „И“

3.3.3 Символи за пренос

Символи за пренос у облику троуглова са идентификационим знаком у виду слова унутар њих, омогућавају формирање сложених стабала догађаја у виду матичног стабла и одређеног броја подстабала. Када је симбол за пренос са цртицом на врху троугла, представља пренос „ИЗ“. Овај симбол означава да је стабло даље развијено на догађај одговарајућег преноса „ИЗ“ означен истим идентификационим великим словом на другој страни или папиру. Када је симбол за пренос са цртицом са бочне стране троугла, представља пренос „У“. Овај симбол представља да се овај део стабла догађаја мора припојити на одговарајући пренос „У“ означен истим идентификационим словом.

3.4 Усвајање стабла догађаја

Након комплетирања стабла догађаја, оно се систематски анализира ради разумевања логике повезаности догађаја и бољег увида у различита стања система [1, 5]. Циљ анализирања представља утврђивање евентуалних пропуста или грешака обзиром да мора бити задовољена намена стабла, функционална условљеност и логика реализације вршног догађаја, што значи да догађаји на улазу у логичке капије морају бити потребни и довољни [6]. У случају да стабло догађаја не одржава 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 [1].

3.4.1 Оцена стабла догађаја

После усвајања стабла догађаја, у зависности од крајњег циља и примене ове методе, може се вршити [1, 5]:

- квалитативна и/или
- квантитативна анализа.

Квалитативна анализа стабла отказа представља широк појам који поред формирања и логичке анализе стабла отказа, подразумева одређивање скупа минималних пресека догађаја, анализу заједничког узрока и друге анализе. Квалитативном анализом стабла отказа врши се одређивање минималног пресека скупа догађаја који условљава појаву вршног догађаја и који се даље не може редуковати. Одређивање скупа минималних пресека догађаја представља основу за већину анализа стабла отказа квантитативног типа. Пресек догађаја је базични догађај или комбинација базичних догађаја, чија појава доводи до вршног догађаја. Код стабла отказа такав пресек догађаја назива се раставни сет, а код стабла исправног рада саставни сет јер омогућава успешан рад система [1, 5, 6].

Од поступака квантитативне анализе стабла отказа у пракси се најчешће користи рангирање (поређење) базичних догађаја према структурној важности у погледу вероватноће појаве и одређивање вероватноће појаве вршног догађаја у зависности од вероватноћа појаве базичних догађаја [1]. 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. Важност самог базичног догађаја одређује се тако што се мери утицај промене вероватноће његове појаве на вероватноћу појаве вршног догађаја [1].

За квалитативну и квантитативну анализу стабла отказа развијен је велики број програма за рачинаре као САТ (Computer Aided Construction of Fault Trees), програм за одређивање скупа минималних пресека догађаја МОСУС (Minimal Obtion Cut Sets), програми за квалитативну оцену стабла отказа КИТТ, КИТТ-1 и КИТТ-2, програм за оцену значајности минималних пресека догађаја IMPORTANCE и слично [1].

3.4.2 Корекција стабла догађаја

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

4. Историјски развој и опште карактеристике тракастих транспортера

Саставни део сваког производног циклуса чине разноврсни уређаји транспортне технике. Савремени производни погони, складишта материјала, ливнице, ковачнице, рудници, снабдевени су транспортним уређајима који се деле на две групе [9]:

- машине прекидног транспорта и
- машине непрекидног транспорта.

Машине прекидног транспорта представљају машине које пренос материјала врше из више етапа, односно одвојеним кретањима. Циклус преноса материјала прекидним транспортом почиње вешањем терета, померањем дизалице са теретом, истовар, и на крају враћање дизалице у почетни положај за почетак новог циклуса. Поред дизаличних машина, прекидни транспорт се врши и виљушкарима. Материјал који се преноси од тачке А до тачке Б углавном спада у комадне терете. Машине прекидног транспорта имају веома велику носивост али у односу на машине непрекидног транспорта, имају сложенију и скупљу конструкцију.

Машине непрекидног транспорта одликује континуални (непрекидни) транспорт терета. Код ових машина не постоји празан ход, односно повратак у почетни положај циклуса ради прихватања терета. Налазе примену свуда где је потребно премештати велике количине комадних, ситнокомадних, зрнастих, прашкастих материјала, али се користе и за превоз људи. Захваљујући континуалном преносу материјала, ове врсте машина могу да остваре веома велике капацитете без обзира на даљину транспорта. Примењују се као самосталне машине за транспорт материјала или чине саставни део неког производног циклуса при претоварно-истоварним радовима великих капацитета. Основне предности непрекидног транспорта су:

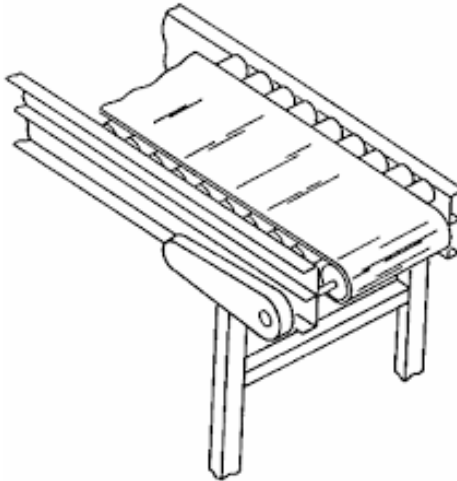
- остваривање великих капацитета без обзира на дужину транспорта,
- мали габарити и једноставна монтажа,
- релативно ниска цена конструкције у односу на даљину преноса материјала и у односу на машине прекидног транспорта,
- повољан однос капацитета и масе саме машине и сл.

4.1 Историјски развој тракастих транспортера

Људи користе основни принцип рада тракастих транспортера хиљадама година [9]. Древни народи су користећи ваљке, преносили тешке комадне терете за изградњу разних врсти објеката који су и данас велика културна добра. Неки од првих транспортера

састојали су се од древних дрвених ваљака преко којих је путовала трака. Прве траке су се израђивале од коже, а касније од платна и гуме. Таква конструкција првих транспортних трака користила се за пренос углавном расутог терета.

Историја првих тракастих транспортера почела је у другој половини 17. века. Један од првих тракастих транспортера приказан је на слици 4.1 и састојао се од дрвене платформе и дрвених ваљака. Вучни елемент користио је траку која је била израђена од платна или коже [9].



Слика 4.1 Први тракасти транспортер

У почетку се оваква конструкција транспортера користила за пренос врећа са житом и осталим намирницама на малим удаљеностима. Почетком 19. века тракасти транспортери налазе своју ширу примену, где су се користили за пренос тежих терета на већим удаљеностима. Тракасти транспортери су се израђивали од челика, вучни елементи су имали већу силу кидања, били су отпорнији на вишим температурама и постизали су већу трајност у раду.

Једна од првих челичних транспортних трака приказана је на слици 4.2 и произведена је у фабрици Сендвик (Sandvik) 1901. [9] године. Након њене производње тежило се усавршавању саме конструкције у погледу њене масе.



Слика 4.2 Челична транспортна трака произведена у фабрици Сендвик

Године 1913. тракасти транспортер се примењује у аутомобилској индустрији. Хенри Форд (Henry Ford), тракасти транспортер уводи у свој погон Rouge у Мичигену. Тракасти транспортер се у овом постројењу увео због монтаже популарног модела Форд аутомобила Модел-Т, који је приказан на слици 4.3. То је допринело значајно већој продуктивности производње, јер је време које је потребно за склапање шасије смањено са 12 сати и 30 минута, на 2 сата и 40 минута, а од 1914. године на 1 сат и 30 минута. У идућим годинама готово сви произвођачи у аутомобилској индустрији увели су транспортере у својим производним линијама [9].



Слика 4.3 Монтажна транспортна трака у производњи Фордовог аутомобила Модел-Т

У првој половини 20. века тракасти транспортери били су уобичајена транспортна средства и често се радило на њиховом усавршавању. Прекретница у развоју транспортних трака догодила се увођењем синтетичких материјала за производњу трака. То је почело током Другог светског рата због несташнице природних материјала попут памука, гуме и платна. Данас се за производњу савремених транспортних трака користе памук, платно, кожа, неопрен, најлон, полиестер, полиуретан, уретан, ПВЦ, гума, силикон и челик. Избор материјала дефинисан је конкретном применом транспортне траке [9].

4.2 Савремени тракасти транспортери

Применом нових и савремених материјала тракастим транспортерима је омогућен пренос материјала на веома велике удаљености. Најдужи систем тракастих транспортера приказан је на слици 4.4 и налази се у Западној Сахари [10]. Дуг је 100 километара и повезује рудник фосфата у Бу Крауу (Bu Craau) и луку El Aaiún (област Атланског океана). Тракасти транспортер је израђен пре 30 година и састоји се од 11 повезаних транспортера. Максимална дужина појединачног транспортера је 11,7 километара. Вучни елемент, односно транспортна трака је ширине 800 милиметара а капацитет је 2000 t/h.



Слика 4.4 Најдужи систем тракастих транспортера у Западној Сахари

Најдужи појединачни тракасти транспортер приказан је на слици 4.5 и налази се у Индији [10]. Постављен је 2005. године и повезује рудник кречњака у месту Мегхалаие (Meghalaye) и фабрику цемента у месту Силхета (Sylheta) у Бангладешу. Дужина транспортера је приближно 35 километара, а ширина траке 800 милиметара.



Слика 4.5 Најдужи појединачни тракасти транспортер у Индији

Тракасти транспортери се у данашњици користе и у прехранбеној индустрији као и у појединим услужним центрима ради што веће продуктивности. Битно је нагласити да се за разлику од индустријског транспорта, код оваквих типова транспортера користе савремени самоподмазујући елементи који се често израђују од пластике и композита због присуства намирница. На слици 4.6 [9] приказана је транспортна трака у једном од суши ресторана где се тањери са сушијем налазе на ротирајућој транспортној траци која путује кроз ресторан и пролази поред сваког стола. Брзина саме траке је 8 центиметара у секунди и усклађена је са самоуслугом муштерија.



Слика 4.6 Примена тракастих транспортера у угоститељству

4.3 Опште карактеристике тракастих транспортера

Транспорт који се одвија тракастим транспортером врши се уз помоћ траке која представља и вучни и носећи елемент. Посредством силе трења између добоша и претходно затегнуте траке, која је пребачена преко добоша и ваљака, долази до кретања вучног средства-траке. Трака представља основни и најодговорнији елемент тракастог транспортера.

За ефикасан и поуздан рад тракастог транспортера трака мора поседовати одређене особине као што су [11]:

- савитљивост (гипкост),
- мала сопствена тежина,
- велика чврстоћа,
- мала релативна издужења,
- велика отпорност на хабање и тд.

Транспортне траке са оваквим карактеристикама набављају се само од реномираних произвођача који гарантују за њихов квалитет. Према задатим условима рада транспортне траке се најчешће израђују од гуме, пластике, челика и сл. Облик саме траке дефинисан је врстом транспортованог материјала. На слици 4.7 а, и 4.7 б, приказан је транспорт расипног и комадног терета транспортном траком. Облик траке прилагођен је врсти терета, где се за пренос расипног материјала користи коритасти, а за транспорт комадног терета типичан равни облик траке. Траке се према њиховом профилу (облику), поред коритастих и равних, израђују и као троугласте и облике за специјалне намене.



Слика 4.7 Транспорт расипног а) и комадног б) материјала транспортном траком

У последње време развијен је веома велики број типова конструкција тракастих транспортера, па се њихова подела може извршити према [12]:

- померљивости: стационарне и покретне (мобилне),
- облику траке: са равном, са жлебном, са лучном и са специјалном траком,
- према врсти транспортованог материјала: за насипне (сортиране и несортиране) и комадне (правилног или неправилног облика),
- типу траке: са текстилном траком, са гумираном траком и са челичном траком,
- облику горње површине траке: са глатком површином, са рељефном површином у облику гребена, са ребрастом површином, са преградама и са бочним ивицама,
- броју погона: са једним или више погона,
- месту пражњења: на крају (преко добоша) и на распону између два добоша,
- облику трасе: хоризонталне, косе и комбиноване,
- типу носеће конструкције: са крутом и еластичном.

Поред многобројних предности тракасти транспортери имају и одређене недостатке као што су [13]:

- ограничен нагиб транспортера,

- осетљивост вучног елемента на хемијска дејства транспортованог материјала, као и на повишену температуру,
- релативно висока цена гумене траке која износи од 25-35% укупне цене транспортера,
- релативно брзо хабање гумене траке,
- продор и лепљење прашине на елементе транспортера,
- немогућност транспорта крупних комада без претходног дробљења на одређену гранулацију итд.

4.4 Основни технички подаци тракастог транспортера

Да би се извршио избор и прорачун уређаја непрекидног транспорта, који се састоји у одређивању његових основних параметара, прорачуну и избору вучног елемента, одређивању погонске снаге мотора, избору и прорачуну елемената преноса снаге за погон уређаја, потребно је познавање следећих параметара [12]:

- капацитет транспорта,
- погонска маса,
- шема трасе,
- гранулометријски састав материјала,
- густина материјала,
- угао природног пада,
- абразивност, лепљивост, слегање материјала,
- отпори трења,
- режими рада и тд.

Под капацитетом транспорта уређаја непрекидног транспорта, подразумева се количина транспортованог материјала у јединици времена. Изражава се у тонама на час (t/h) или метрима кубним на час (m^3/h).

Погонска маса представља масу терета који се преноси. При прорачуну уређаја непрекидног транспорта сматра се да је транспортовани материјал равномерно распоређен дуж уређаја, па се дефинише маса јединице дужине (погонска маса) која носи ознаку q .

Уређаји непрекидног транспорта врше транспорт материјала по трасама у једној или више равни. Шему трасе тракастог транспортера дефинишу основни параметри као што су дужина, угао нагиба, висина дизања терета, дужина делова комбиноване трасе, радијуси кривина и сл.

Гранулометријски састав дефинише крупноћу комада као и њихову количину у транспортованом материјалу. На процес транспортовања материјала велики утицај има и сортираност материјала где се разликују сортирани и несортирани материјали.

Под густином материјала подразумева се однос масе и запремине. Код насипних материјала се дефинише насипна густина која зависи од густине комада, гранулацијског састава, влажности и др.

Угао природног пада материјала се дефинише као највећи угао нагиба конуса према хоризонталу, кога образује слободна површина насипног материјала. Дефинише се за случај када је материјал у стању мировања и стању кретања.

Насипни материјали током кретања испољавају својство старења носеће површине уређаја непрекидног транспорта. То својство се дефинише као абразивност. У зависности од степена абразивности насипни материјали могу бити неабразивни, малоабразивни, средње абразивни и веома абразивни.

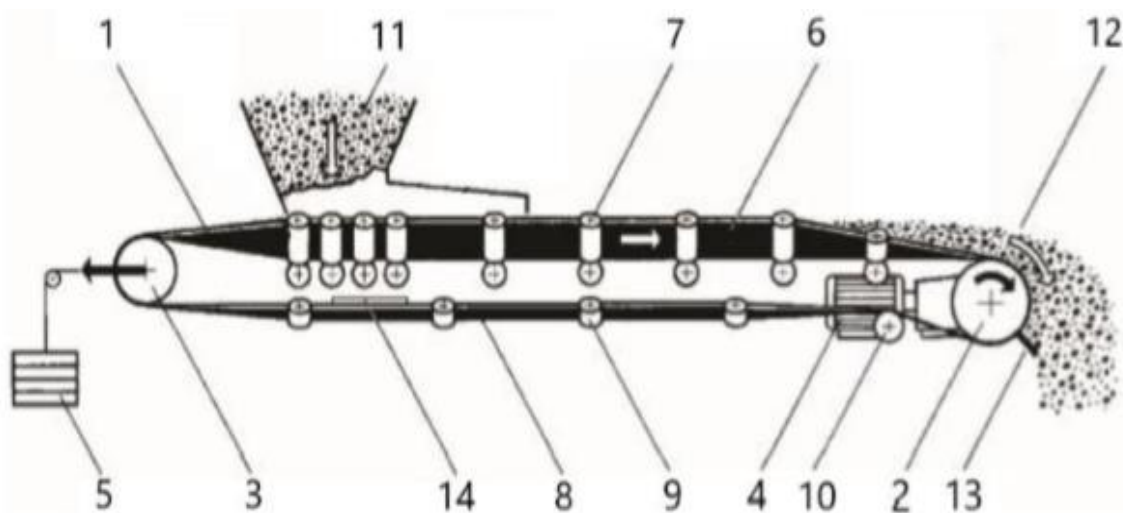
Угао нагиба тракастог транспортера према хоризонтали, зависи од силе трења насипног материјала о траку. Вредност коефицијената трења између насипних материјала и челика или гуме, налазе се у табелама којима се руководи при пројектовњу тракастих транспортера.

Режими рада у којима функционишу тракасти транспортери представљају битан фактор при димензионисању саставних елемената транспортера. Режими рада у којима се транспортери примењују могу бити веома лаки, лаки, средњи режими рада, тешки режими рада и врло тешки режими рада. Режими рада имају знатан утицај на радни век који се за тракасте транспортера креће у границама од 5 до 8 година.

5. Саставни елементи и конструкција тракастих транспортера

Саставни елементи тракастог транспортера приказани су на слици 5.1 и обележени су следећим идентификационим бројевима:

1. бесконачна трака,
2. погонски добош,
3. затезни добош,
4. погонски мотор,
5. тег затезног бубња,
6. радни део траке,
7. радни ваљци на радном огранку траке,
8. нерадни (повратни) део траке,
9. радни ваљци на нерадном делу траке,
10. отклони добош,
11. утоварни уређај,
12. истоварни уређај,
- 13, 14. уређаји за чишћење.



Слика 5.1 Шематски приказ тракастог транспортера

Основни и најважнији елемент тракастог транспортера представља бесконачна трака (1). Трака се обавија и затеже преко погонског (2) и затезног добоша (3). Покретање траке, врши се преко погонског добоша који снагу добија од погонског мотора (4). Погонски

добош своје кретање преноси на траку помоћу силе трења која се јавља између добоша и траке. Сила трења зависи од силе затегнуте траке која се остварује затезним механизмом преко затезног добоша, од коефицијента трења између траке и погонског добоша, као и од обухватног угла између траке и погонског добоша. Радни (горњи) део траке (6) се ослања на горње носеће ваљке (7), а нерадни (повратни) део траке (8) се ослања на доње носеће ваљке (9). Носећи ваљци су правилно распоређени на одређеним растојањима дуж трасе транспортера и та растојања спречавају велике угибе траке. У случајевима када се обавља транспорт комадних терета транспортном траком као на пример, сандука, цакова, пакета и слично, радни део траке се ослања на равне глатке плоче од дрвета или метала. Отклони добош (10) служи за остваривање дефинисаног обухватног угла између траке и погонског добоша. Утовар материјала на траку се остварује помоћу утоварног уређаја (11), а истовар материјала се може остварити преко крајњег добоша (12) или уређајем за истовар. Додавањем уређаја за чишћење траке (13 и 14), омогућава се чишћење траке од евентуално залепљеног материјала. Сви ови уређаји и елементи транспортера поствљени су на носећу конструкцију [12,14].

5.1 Носећа конструкција тракастог транспортера

Носећа конструкција тракастог транспортера повезује све елементе система у једну целину. Поред повезивања елемената система у једну целину, носећа конструкција има за циљ и заштиту самог транспортера од спољних утицаја као што су прашина, вода и слични атмосферски утицаји (слика 5.2). Носећа конструкција транспортера прихвата и преноси целокупно оптерећење транспортера на свој ослонац-темељ. Носећа конструкција се израђује у одређеним дужинама чијим се спајањем добија одређени облик трасе.



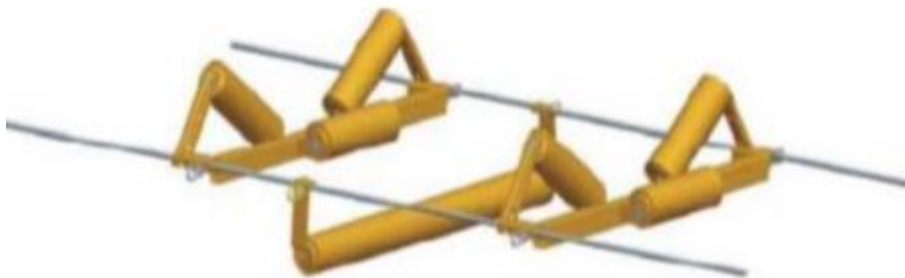
Слика 5.2 Тракасти транспортер са заштитом од спољних утицаја

Постоје два типа извођења носећих конструкција [10,12]:

- конструкције код којих је челично уже ослони елемент за ваљке и

- конструкције завареног типа од челичних кутијастих и отворених профила.

Конструкција код које је челично уже ослони елемент приказана је на слици 5.3 и погодна је за рад у рудницима. Одлика оваквог конструкционог решења је у погледу ниже цене, лакше и брже монтаже, мање масе конструкције и мањих отпора кретања. Мана је појава осцилација због конструкције еластичног типа [15].



Слика 5.3 Носећа конструкција транспортера са челичним ужетом

Код конструкција завареног типа која је приказана на слици 5.4 носачи ваљака су заварени или завртњима везани за горње подужне носаче. Оваква конструкциона решења погоднија су за системе са променљивим углом дизања, мале и мобилне транспортере, и системе где је потребна изузетна чврстоћа [15].



Слика 5.4 Носећа конструкција завареног типа

5.2 Вучни елемент транспортера-трака

Трака представља основни и уједно најодговорнији елемент тракастог транспортера. Састоји се од уложака као вучних слојева израђених од различитих материјала који су, по правилу, заштићени од могућности оштећења и хабања. Током рада транспортера трака на себе прихвата све отпоре које систем мора да савлада. Трака мора да буде савитљива, да буде довољне јачине, да може да преноси потребне силе затезања, да може да носи транспортовани материјал, да има дуг век трајања, да буде отпорна на хабање и ударе приликом транспорта материјала. Траке израђене од гуме су трајније

и отпорније на хабање, кидање и влагу. Савитљиве су и релативно мале сопствене тежине, а имају и релативно дуг експлоатациони век.

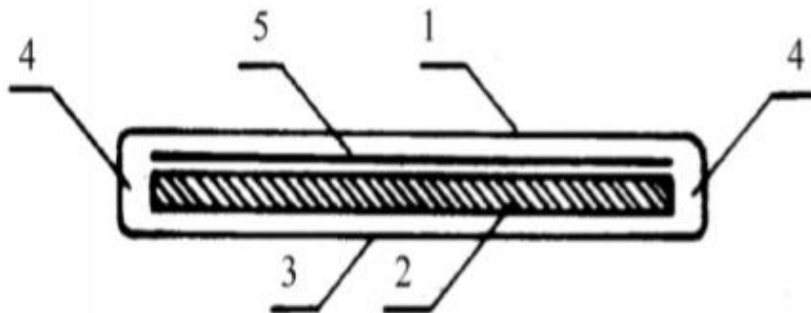
За мање капацитете транспорта и транспорт материјала који немају изражено својство абразивности, код којих су ивице комада заобљене, а радне средине неагресивне, примењују се траке од ланених, кудељних и влакана од јуте. Израђују се ткањем и примењују се за мање дужине транспорта. Код тракастих транспортера трака обавља функцију носећег и вучног или само носећег елемента [12].

5.2.1 Глатке гумене траке

Најраспрострањеније су траке код којих су улошци као вучни слојеви израђени од одговарајућих материјала, сједињени танким слојем (0,2 - 0,3 mm) гуме или пластике вулканизирањем и заштићене са обе стране гуменим облогама одређених дебљина [12].

Трака која најчешће налази примену код тракастих транспортера приказана је на слици 5.5, а састоји се од елемената са следећим идентификационим бројевима :

1. гумена облога на радној страни траке,
2. језгро траке-вучни слојеви,
3. гумена облога на нерадној страни траке,
4. гумена заштита ивица траке,
5. гумена облога траке.



Слика 5.5 Пресек гумене траке са саставним елементима

Вучни слој (језгро) представља виталан елемент транспортне траке. Вучни слојеви се израђују од нити, које чине основу, и израђују се од материјала као што су:

- текстилне нити (лан, памук, кудеља, јута),
- синтетичке нити (полиестер, полиамиди) и
- метална ужад.

Затезна чврстоћа вучних слојева гумених трака зависи од материјала нити. Вредности затезних чврстоћа за различите материјале нити, дате су табеларно у литератури [12]. Вучни слојеви односно језгро транспортне траке, представљају елементе који се одупиру кидању траке, дају јој чврстоћу на затезање, пружају ослонац терету који се транспортује, апсорбују кинетичку енергију материјала при утовару, пружају отпоре на ударе и сл.

Дебљина облога зависи од материјала који се транспортује. Материјали велике чврстоће са оштрим ивицама и великом тежином захтевају дебље облоге траке у односу на fine и лаке материјале. Дебљина омотача на носећој страни је од 2 до 6 mm.

Гумене траке су отпорне на хабање, кидање и влагу. Одликује их велика еластичност и мала сопствена маса, као и дуг експлоатациони век. Међутим, нису погодне за рад на температурама које прелазе 60°C и у срединама где могу доћи у контакт са уљем, машћу или киселином. У оваквим радним условима, примењују се траке које су израђене са специјалним вучним елементима од азбеста или синтетике [10,12].

5.2.2 Гумене траке са челичним ужетом

За веће капацитете транспорта и за транспорт на већа растојања примењују се гумене траке са улошцима у облику челичних ужади (слика 5.6). Овакве траке су погодне за коришћење на површинским коповима где транспортери достижу растојања и до 10 km. Гумене траке са челичним ужетом имају 25 до 50 пута већу отпорност на истезање него трака са текстилним улошцима. Предност ових трака је велика затезна чврстоћа од 500 N/mm па до 6000 N/mm, а истовремено и могућност рада са добошима малих пречника. Челична ужад су пресвучена бакром и затопљена гумом у средишњи део траке. Траке могу бити израђиване са заштитним и без заштитног слоја између челичних ужади и облога радног и нерадног дела траке [12].

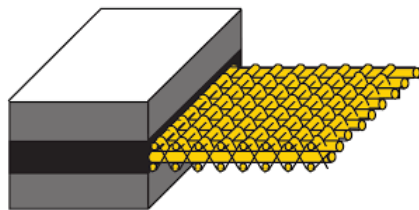


Слика 5.6 Транспортна трака са челичним ужетом

5.2.3 Гумене траке од арамида

Појава гумених трака од арамида (слика 5.7) отвара нове могућности у градњи трака за тракасте транспортере. У стручним круговима захваљујући својим dobrim особинама, поступно ће заменити полиестер и челик у градњи трака за тракасте транспортере. Од свих синтетичких влакана највећу затезну чврстоћу имају влакна од арамида, који је на тржишту познатији под трговачким називом кевлар. Армид је у комерцијалну употребу ушао почетком седамдесетих година и представља материјал новије генерације. Поред велике затезне чврстоће, армид има добру еластичност због чега добро подноси динамичке ударе, мало истезање, велики отпор резања, омогућава употребу добоша мањих пречника, а тиме и мање трошкове израде погонских уређаја, а са

повећањем температуре не смањује се битно затезна чврстћа као код полиестера и полиамида [12].



Слика 5.7 Транспортна гумена трака од армида

5.2.4 Гумене траке са рељефном површином

Гумене траке са рељефном површином налазе велику примену код транспортера који раде под великим угловима нагиба. Код оваквих врсти транспортних трака, радна површина је рељефна, или са преградама. Траке са примењују у условима транспорта комадних (ређе насипних) материјала са углом нагиба од 30 до 35°. Основу овакве траке чини стандардна глатка трака код које је горња (радна) површина израђена са гребенима висине од 2 до 10 mm.

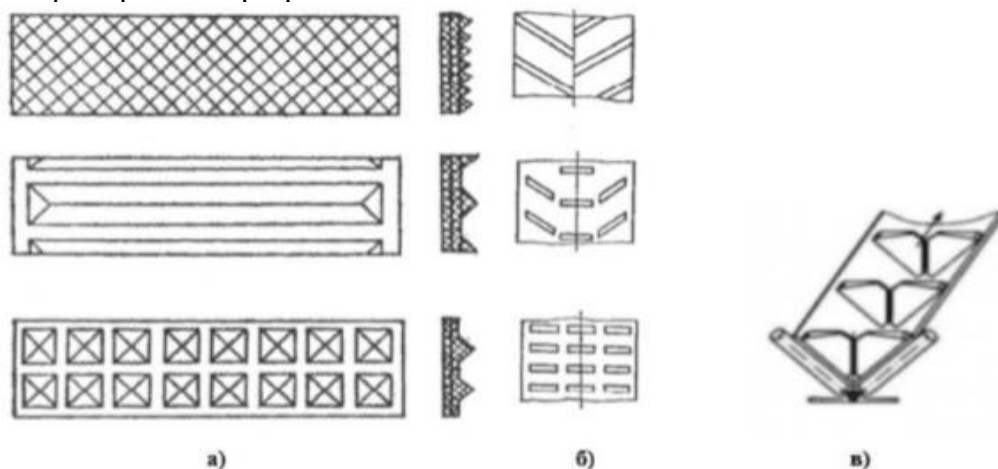
За нагибе транспортера од 25° до 28° примењују се траке са гребенастим површинама, док се за транспорт насипних материјала под већим углом нагиба транспортера, примењују траке са угаоним ребрима. У табели 5.1 дати су максимални углови нагиба траке (β_{max}) са равном површином и површином у облику гребена и ребара за карактеристичне материјале [12].

Табела 5.1 Максимални углови нагиба траке за средње и крупно комадне материјале

Врста материјала	Спољашња површина траке	
	Глатка	Гребен, ребро
	β_{max}	
Угаљ камени (крупни комади)	18	28
Опека (комади крупноће 10-160 mm)	18	24
Кокс (комади крупноће 10-160 mm)	18	25
Шљака са округлим комадима (влажност 6,4%)	22	26
Кречњак крупно дробљен	17	30
Туцаник из гранита	18	32
Битуминозни угаљ:		
- несортирани	18	27
- крупно комадни	15	27
- средње комадни	18	30
- комадни 25-50 mm	18	27
Антрацит (димензије комада 13-19 mm)	15	27
Кокс:		
- крупно комадни	20	28
- сортирани	18	30
- дробљени	18	30
Камен (димензије комада 25 mm)	20	30

На слици 5.8 приказане су траке са рељефним површинама и следећим словним ознакама [12] :

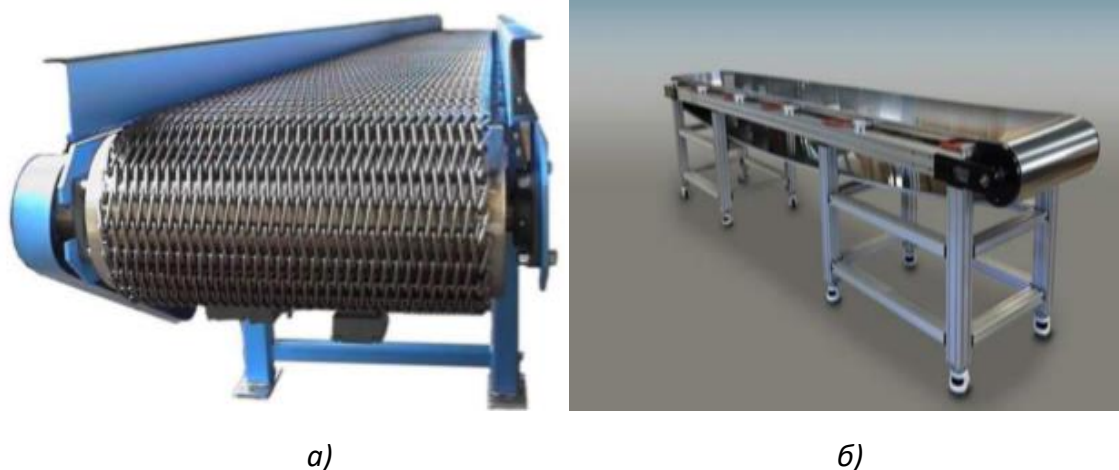
- а) рељефна трака у облику гребена,
- б) рељефна трака са гребенастим обликом,
- в) рељефна трака са преградама.



Слика 5.8 Облици рељефних површина транспортних трака

5.2.5 Челичне транспортне траке

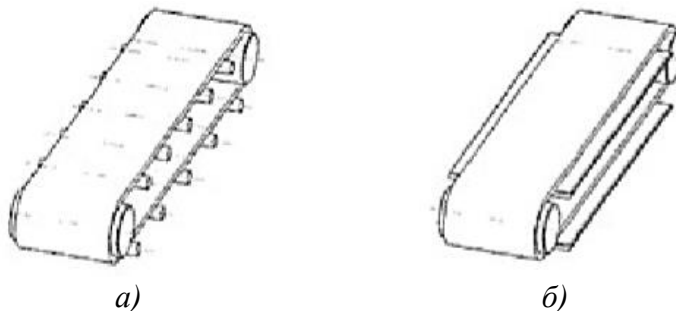
Код транспортера који раде у условима високих температура (и до 1200°C), или ниских (до -70°C), примењују се челичне траке. Израђују се као жичане (слика 5.9, а) или глатке траке (слика 5.9, б). Жичане траке се израђују плетењем. Материјали за израду жице су угљенични или нерђајући челик. Жичане траке имају широку примену у индустријским погонима где се врши прање, одмашћивање, сушење и слично, због олакшане циркулације воде и ваздуха. Спајање крајева жичаних трака врши се уплитањем [12].



Слика 5.9 Челичне а) жичане и б) равне транспортне траке

5.3 Уређаји за ношење и центрирање траке

Групу елемената коју чине уређаји за ношење и центрирање траке, представљају елементи који оптерећење саме масе траке, као и оптерећење које потиче од транспортованог материјала, преносе на носећу конструкцију транспортера. Уређаји за ношење траке, израђују се у облику ваљака (слика 5.10, а), а ређе у облику равних плоча (слика 5.10, б). Велики број носећих ваљака који чине тракасти транспортер, чине да од њихове исправности и сигурности у раду, директно зависи радни век, као и сам степен искоришћења тракастог транспортера [12].



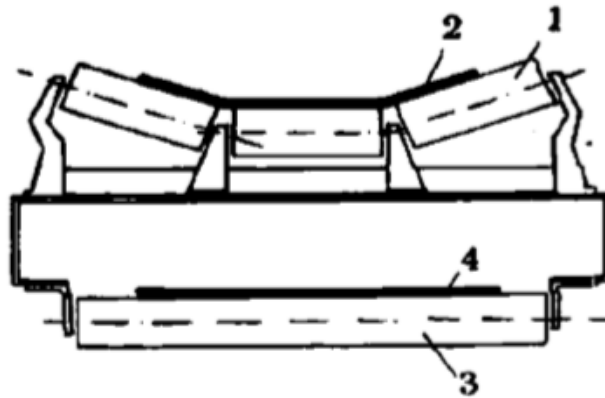
Слика 5.10 Уређаји за ношење траке

5.3.1 Носећи ваљци

Носећи ваљци представљају основне уређаје за ношење траке. Носећи ваљци се преко котрљајних лежајева okreћу око непокретне основице. Избор котрљајних лежајева зависи од типа конструкције ваљака. Код конструкција лаког типа се примењују трајно подмазани куглични котрљајни лежајеви (имају шупљу осовину са отворима за пролаз уља, испуњену мазивом које траје до 3 године, односно не мења се до генералног ремонта транспортера), док се за већа оптерећења и теже услове рада примењују ваљци са коничним лежајевима, који могу да се подмазују у току рада убацивањем масти преко мазалица.

Слог носећих ваљака приказан је на слици 5.11 чији елементи имају следеће идентификационе бројеве:

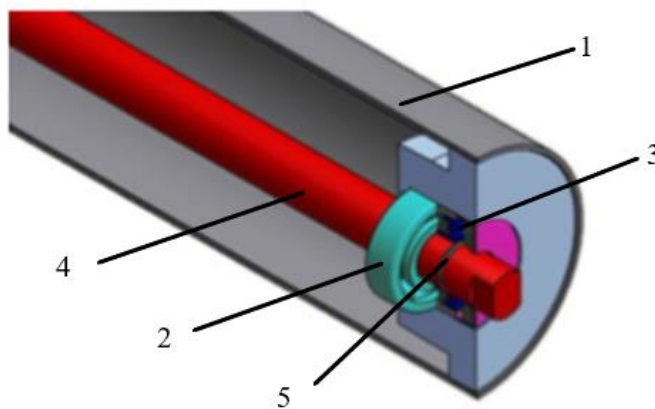
1. горњи носећи ваљци који носе оптерећени део траке,
2. горњи (оптерећени) део траке,
3. повратни ваљци који носе неоптерећени слој траке и
4. неоптерећени (повратни) део траке.



Слика 5.11 Слог носећих ваљака

Омотач носећих ваљака приказан је на слици 5.12 и састоји се од елемената који имају следеће идентификационе бројеве:

1. челична безшавна цев,
2. котрљајни лежај,
3. заптивач,
4. осовина и
5. ускочник.

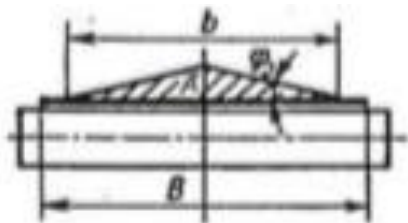


Слика 5.12 Саставни елементи носећих ваљака транспортне траке

Ваљак врши ротационо кретање око непокретне осовине која је улежиштена и фиксирана за носећу конструкцију транспортера. Котрљајни лежај преноси оптерећење са ваљка на непокретну осовину, а затим на носећу конструкцију транспортера. Улога заптивача је да спречи продор прашине и других абразивних честица у котрљајни лежај, док ускочник држи заптивач и котрљајни лежај на месту.

Слог носећих ваљака се може састојати од једног или више носећих ваљака. Бројем ваљака се формира и облик траке који може бити раван или коритаст. Слогови повратних ваљака, односно ваљака који се налазе на повратном делу траке, углавном се састоје од једног или два ваљка уколико је ширина траке већа.

На слици 5.13 приказан је раван облик траке који се састоји од једног носећег ваљка и углавном се користи за транспорт комадног терета [12].

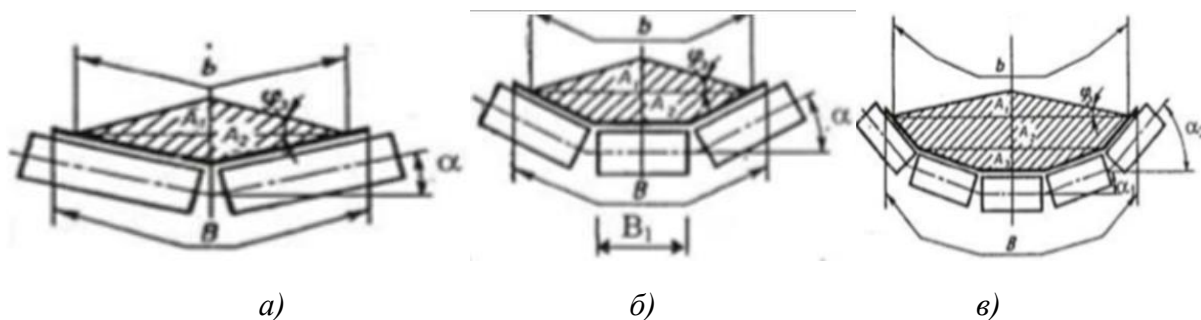


Слика 5.13 Раван облик траке са једном носећим ваљком

Највише се примењују слогови са два (слика 5.14, а) или три (слика 5.14, б) носећа ваљка који формирају траку у облику корита. Овакав облик траке се користи углавном код транспорта расипних материјала. Углови бочних ваљака могу бити:

- $\alpha = 15^\circ$ и 20° - за слаг са два ваљка,
- $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 36^\circ$ и 45° - за слаг са три ваљка,
- $\alpha_1 = 22,5^\circ$ и $\alpha_2 = 45^\circ$ или $\alpha_1 = 18^\circ$ и $\alpha_2 = 54^\circ$ - за слаг од 5 ваљака (слика 5.14, в).

Без обзира на сложеност конструкције, коритасти облик траке обезбеђује већи капацитет транспорта [12].



Слика 5.14 Слогови ваљака са два или више носећа ваљка

Избор броја ваљака у слогу врши се према табели 5.2 и одређује се према ширини траке [12].

Табела 5.2 Избор броја ваљака у слогу у зависности од ширине траке

Ширина траке В (mm)	Број ваљака у слогу	
	Радни део траке	Повратни део траке
До 300	1	1
400÷500	2 или 3	1
650 и преко	3	1 или 2

Поред ваљака који се користе на радном и нерадном (повратном делу траке), постоје и амортизујући ваљци. Амортизујући ваљци се постављају на местима где постоје велика ударна оптерећења, односно на местима где се врши утовар материјала на транспортну траку. У основи је то челични ваљак на који су навучени или налепљени гумени прстенови. Изглед амортизујућег ваљка приказан је на слици 5.15.

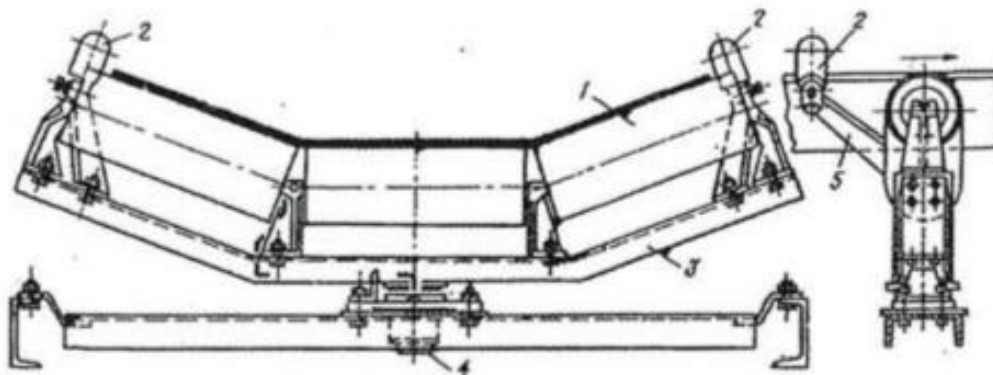


Слика 5.15 Амортизујући ваљци тракастог транспортера

5.3.2 Уређаји за центрирање траке

При раду тракастих транспортера не ретко долази до појаве бочног померања траке (скретање траке). До овакве појаве долази услед неравномерног насипања транспортованог материјала по ширини траке или услед нечистоћа између добоша и носећих ваљака.

Појава скретања траке се може спречити уређајима за центрирање траке и изводи се у више конструктивних варијанти. Код уређаја са окретним слогом ваљака (слика 5.16) носач (3) на својим крајевима има конзолне наставке (5) на којима су постављени бочни ваљци (2). Рукавац (4) обезбеђује обртање носача (3) око вертикалне осе. Померање траке из свог правца се одвија све док се трака својим боком не ослони на бочни ваљак, што изазива померање носача (3), односно долази до његовог скретања из равнотеже за извесан угао. При овом скретању се јавља одређена сила која враћа траку у њен централни положај, а носач са бочним ваљком се враћа у свој равнотежни положај. Ови уређаји се постављају на растојању од 20 до 30 m дуж транспортера и примењују се код дужих транспортера [12].



Слика 5.16 Затезни уређај транспортне траке

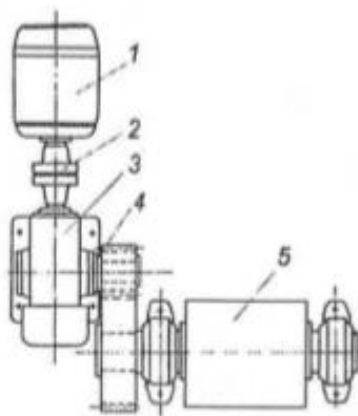
5.4 Погонски и затезни уређаји транспортне траке

Транспортна трака своје кретање добија посредством силе трења преко погонског добоша. Неопходна сила трења између погонског добоша и траке остварује се обавијањем траке око погонског добоша за одређени угао, као и одређеном силом притиска чиме се остварије налагање траке на површину погонског добоша. Сила притиска траке на површину погонског добоша потиче од тежине транспортованог терета, од тежине саме траке, као и од силе затезања траке преко затезног уређаја [12].

5.4.1 Погонски уређаји

Погонски уређај транспортера приказан је на слици 5.17 и састоји се од следећих елемената:

1. мотор,
2. спојница ЕМ и редуктора,
3. редуктор,
4. спојница редуктора и погонског добоша,
5. погонски добош.



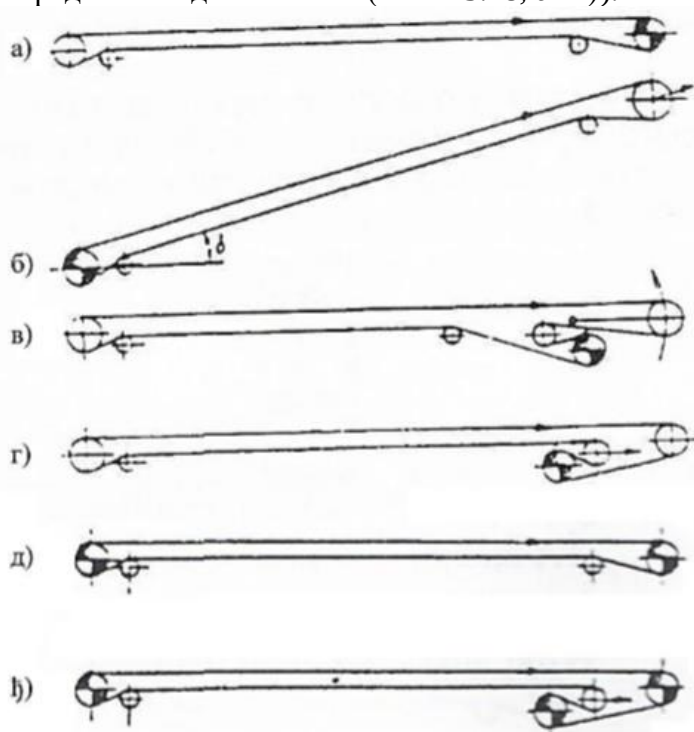
Слика 5.17 Шема погонског механизма транспортне траке

Редуктор смањењем угаоне брзине на рачун повећања обртног момента, снагу са електромотора преноси на погонски добош. Уколико решења са једним погонским добошем (као што је приказано на слици 5.17), не могу да остваре потребну вучну силу, онда се прибегава системима са помоћним уређајима као и погонима са више погонских добоша.

Место уградње погонских добоша може бити бити различито [13]:

- напред (предњи-чеони погон), са истоваром преко погонског добоша, што се најчешће користи (слика 5.18, а),
- позади (задњи погон), са истоваром преко добоша на супротној страни погона за специфичне случајеве примене као што је нпр. одложна стрела багера и сличне машине (слика 5.18, б),

- напред, са истоваром преко посебног добоша за промену правца траке на страни погона, што се може наћи код обртних стрела на пример ротобагера (слика 5.18, в и г) и
- комбинација предњег и задњег погона (слика 5.18, д и ђ).



Слика 5.18 Различита места уградње погонског добоша

Одабир позиције уградње погонског добоша зависи од резултата анализе отпора и специфичности примене транспортера.

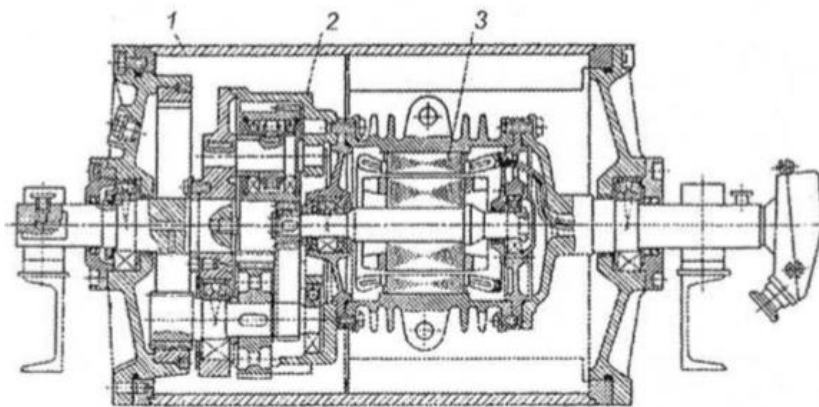
5.4.2 Погонски добош

Погонски добоши израђују се ливењем (од сивог или челичног лива), или заваривањем. У циљу повећања коефицијента трења између траке и добоша (слика 5.19), цилиндрична површина добоша облаже се материјалима са изразитим коефицијентом трења (гума, дрво).



Слика 5.19 Погонски добош транспортера обложен гумом

Код погона мањих снага и покретних транспортера, као и онда када нема довољно простора за уградњу, могу се применити електродобоши компактне конструкције (слика 5.20). Код њих се унутар добоша (1) уграђује електромотор (3) са редуктором (2) [12].



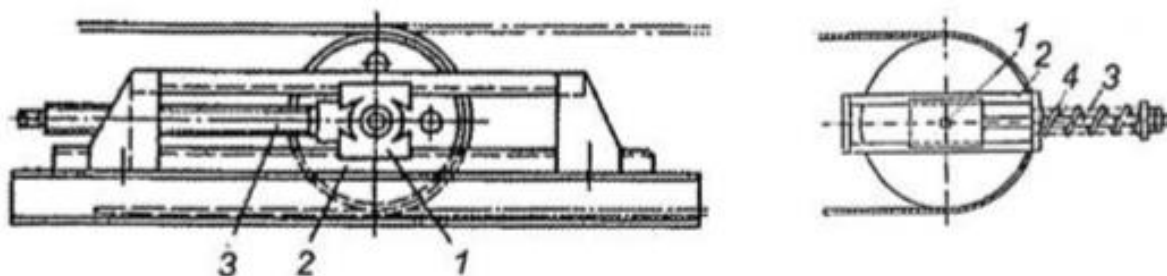
Слика 5.20 Електродобош

5.4.3 Затезни уређај

За неопходно остваривање силе трења између транспортне траке и погонског добоша користе се затезни уређаји. Затезним уређајем се утиче на величину угиба траке између два суседна носећа ваљка, а такође врши и компензација истезања траке у току рада транспортера. Конструкција затезног добоша је слична погонском добошу. Разлика је у пречнику, где је затезни добош нешто мањи од погонског добоша.

Најједноставнија конструкција затезног добоша приказана је на слици 5.21 [12] и представља га механизам са завојним вretenом. Сила затезања у траци се остварује окретањем завртња (3), најчешће ручним путем, при чему долази до померања лежајева добоша (1) између вођица (2). Неравномерности које се јављају у току пуњења и пражњења додатно оптерећују траку изазивајући њено повећано затезање, што представља

једну од основних мана овог уређаја. Примена опруге (4) за затезање уместо ручног вретена омогућава аутоматски једнако затезање траке.

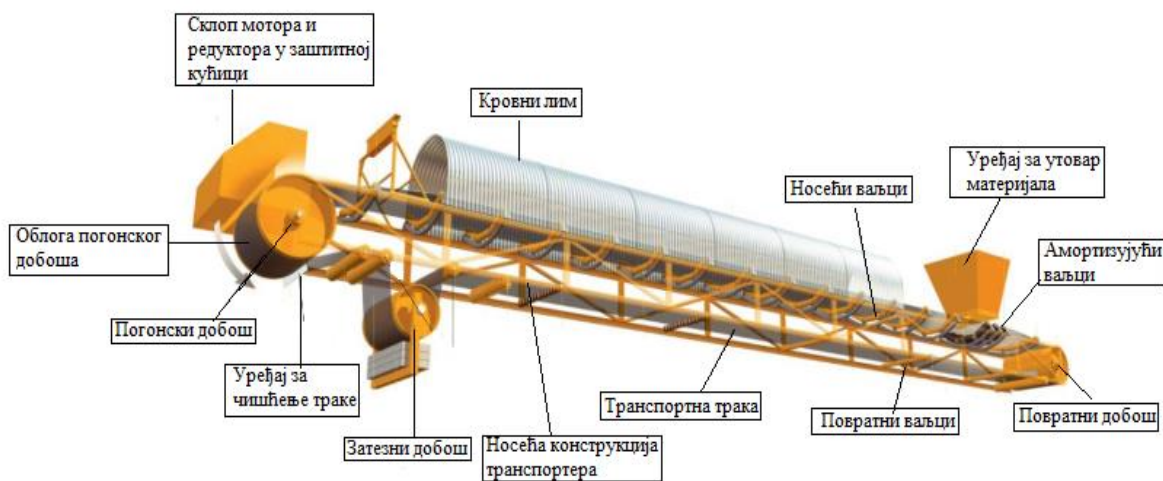


Слика 5.21 Механизам затезног уређаја

6. Стабло отказа транспортне траке

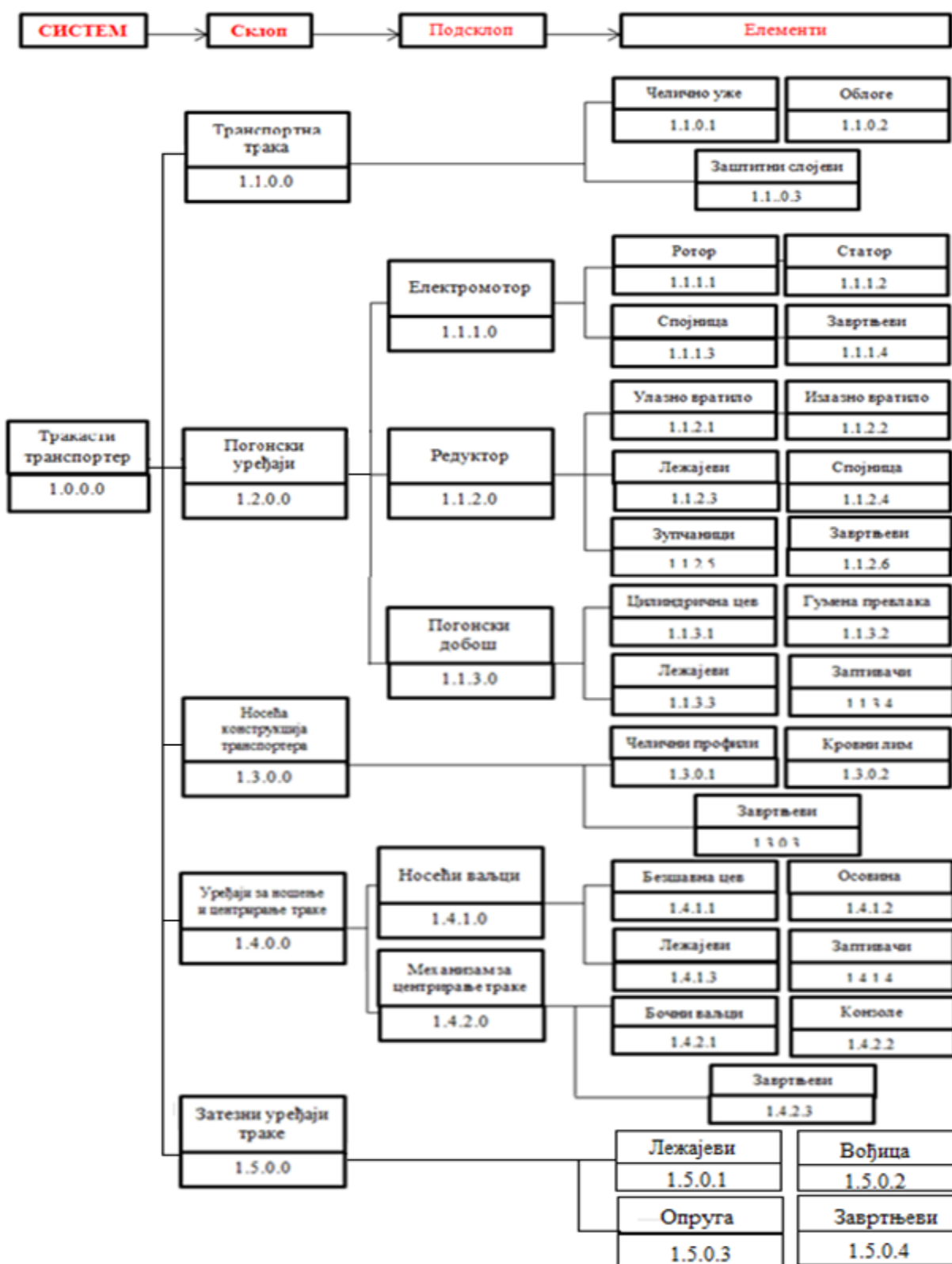
Тракасти транспортери су у данашњици веома заступљени готово у сваком производном погону. Представљају уређаје непрекидног транспорта и примењују се за транспорт насипних и комадних материјала, правилног или неправилног облика. Траса по којој се врши транспорт по правилу лежи у једној равни, а транспорт се остварује по хоризонтали, под углом или комбиновано [12].

На слици 6.1 приказан је тракасти транспортер са својим саставним елементима.

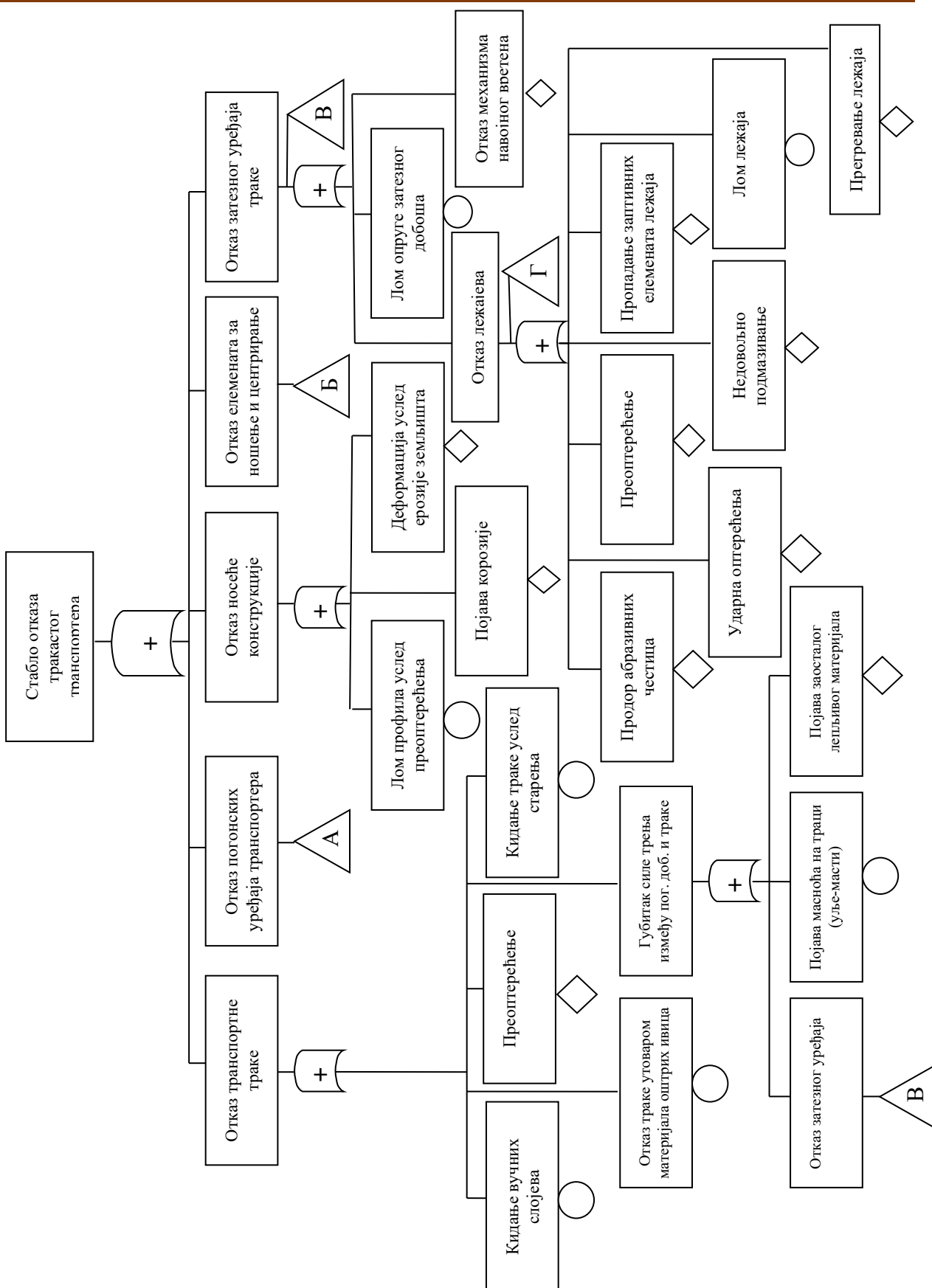


Слика 6.1 Приказ тракастог транспортера са својим саставним елементима

За детаљнији и бољи увид у структуру самог тракастог транспортера, конструисана је шема транспортера и приказана је на слици 6.2. Шему транспортера чине сви склопови са својим саставним елементима који транспортеру омогућавају правилан и сигуран рад. Приказана шема расчлањавања овог система, служиће као смерница за даљи ток рада, односно за конструкцију стабла отказа система тракастог транспортера. Стабло отказа тракастог транспортера приказано је на слици 6.3.

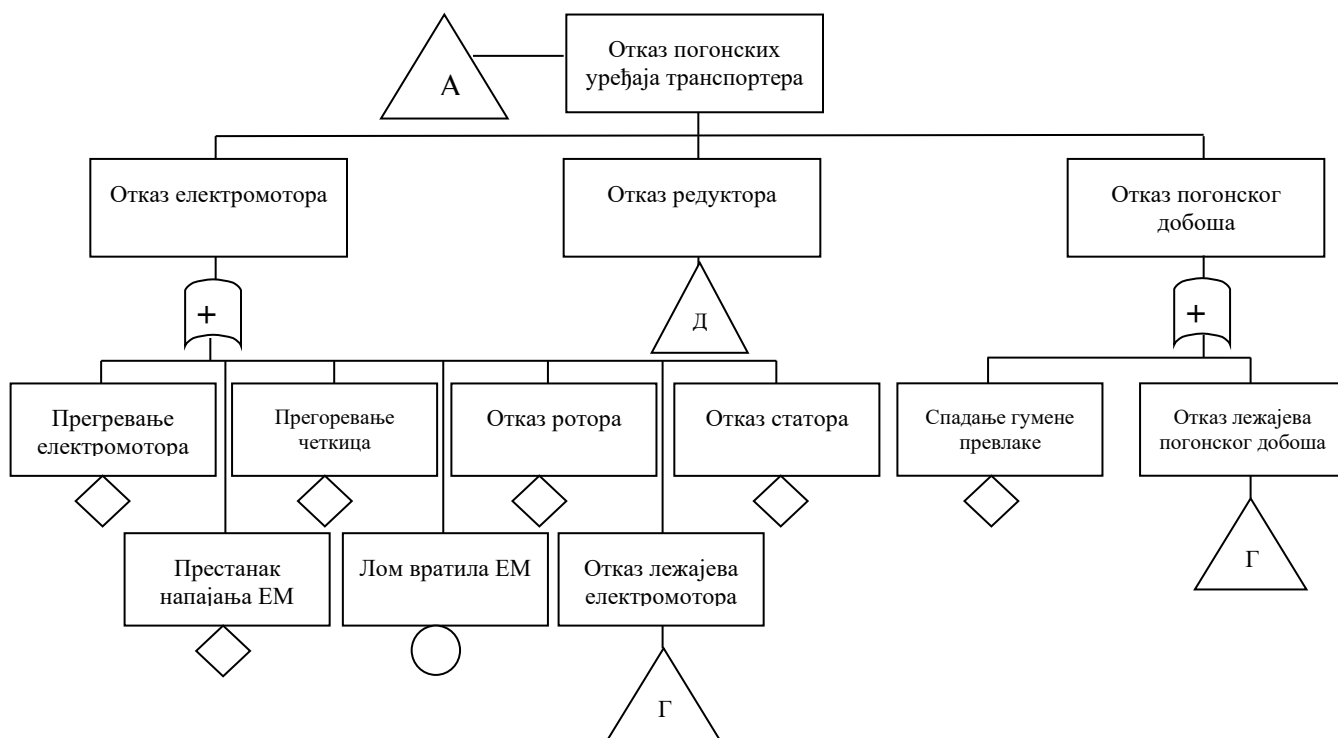


Слика 6.2 Шема расчлађавања тракастог транспортера



Слика 6.3 Стабло отказа тракастог транспортера

Отказ транспортне траке: Отказ транспортне траке јавља се услед кидања вучних слојева траке који представљају виталан део траке или услед преоптерећења које је изазвано претоваром материјала. Старење траке доводи до отказа транспортера услед губитка радне способности вучног елемента. До кидања транспортне траке може доћи и утоваром материјала оштрих ивица након чега долази до хабања траке а касније уз дејство радних оптерећења и до њеног кидања. Губитак неопходне силе трења између транспортне траке и погонског добоша долази услед отказа елемената за затезање траке, али и услед појаве заосталог лепљивог материјала на траци. Појава уља или масти на транспортној траци такође може довести до губитка поменуте неопходне силе трења. Мазивни елементи углавном потичу од котрљајних лежајева услед отказа заптивних елемената).



Слика 6.4 Независно подстабло отказа за вршину догађај „Отказ погонских уређаја транспортера“

Отказ погонских уређаја транспортера: Отказ погонских уређаја транспортера заузима највећи број узрочних догађаја у конструисаном стаблу отказа. Разлог томе је што су погонски уређаји транспортера међусобно повезани у једну целину чији је блок дијаграм поузданости у редној вези. То значи да ће до отказа транспортера доћи уколико откаже било који подсистем погонског система тракастог транспортера.

До отказа електромотора долази услед његовог прегревања као последица преоптерећења или дужег времена рада под оптерећењем које је веће од називног оптерећења. Престанак напајања из мреже, прегревање ротора или четкица као и лом

вратила као последица губитка саосности или ударних оптерећења, такође могу довести до отказа погонског елемента-ЕМ.

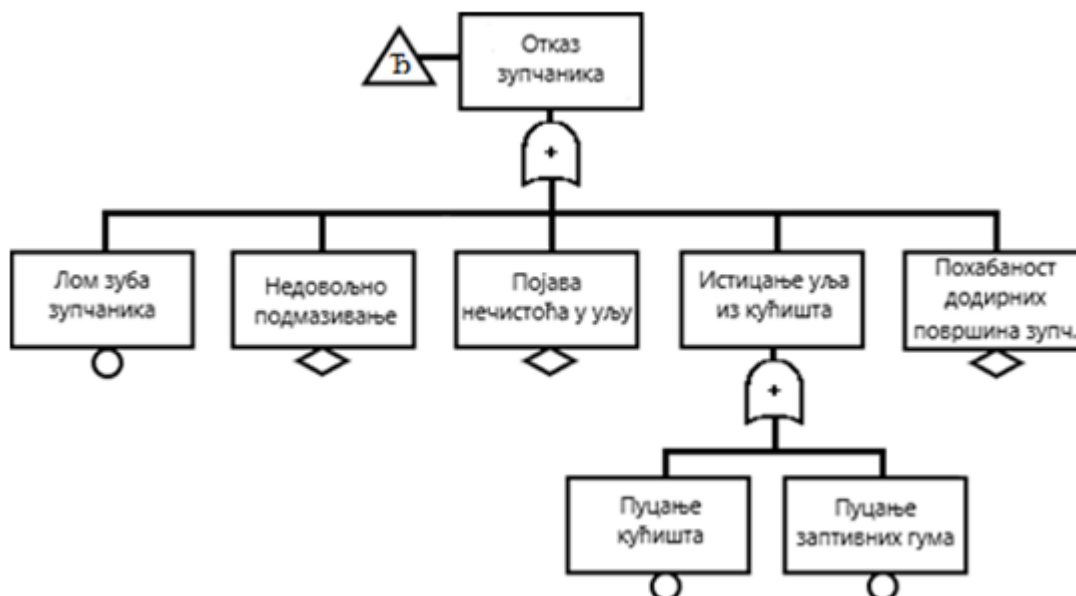
Битно је нагласити да је један од најзаступљенијих узрочних догађаја у систему тракастог транспортера заправо отказ лежајева. Разлог томе је што се лежајеви користе готово код сваког елемента транспортера. До отказа лежајева долази услед деловања већег броја фактора. Преоптерећење као и пропадање заптивних елемената које директно доводи до губитка мазива у котрљајном лежају, или до продора абразивних честица, једни су од водећих узрочника код отказа овог елемента. Ударна оптерећења као и хабање које је нормално очекиван догађај након одређених радних сати котрљајног лежаја, доводе до његовог отказа или лома. Сам почетак хабања котрљајног лежаја се може лако установити у одређеним ситуацијама, а манифестује се појавом вибрација, нешто бучнији рад или прегревање лежаја. Последица је прогресивно хабање куглица, ваљака или сличних котрљајних елемената, или прстена лежаја услед појаве абразивног хабања или замора материјала. Најбоље решење за очување других елемената у систему је замена таквих лежајева. У супротном може доћи до ланчане реакције, односно до отказа других елемената услед отказа, као на пример лом вратила.

Редуктор је посредник између погонске машине (ЕМ) и радне машине, у овом случају тракасти транспортер. Редуктор служи како би редуковао улазни број обртаја са ЕМ при чему повећава обртни момент који је потребан погонском добошу да савлада оптерећења. Као један од веома важних подсистема, стабло отказа редуктора је детаљно анализирано и приказано у литератури [16]. У поменутој литератури, детаљно су објашњени узроци који доводе до отказа овог подсистема, као и њихова процентуална учестаност. Независно стабло отказа за вршни догађај „Отказ редуктора“ приказано је на слици 6.5.



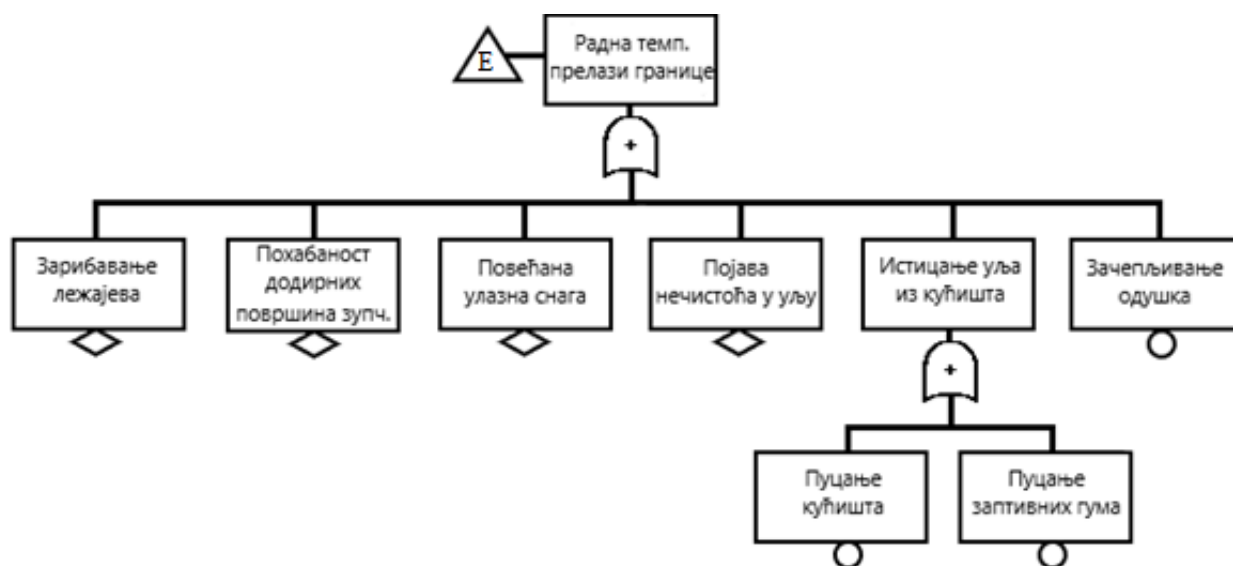
Слика 6.5 Независно подстабло отказа за вршни догађај „Отказ редуктора“

Отказ зупчаника: Отказ зупчаника може настати услед лошег подмазивања, односно због мале количине или неадекватног типа мазива или уља, као и услед лома зуба зупчаника [16].



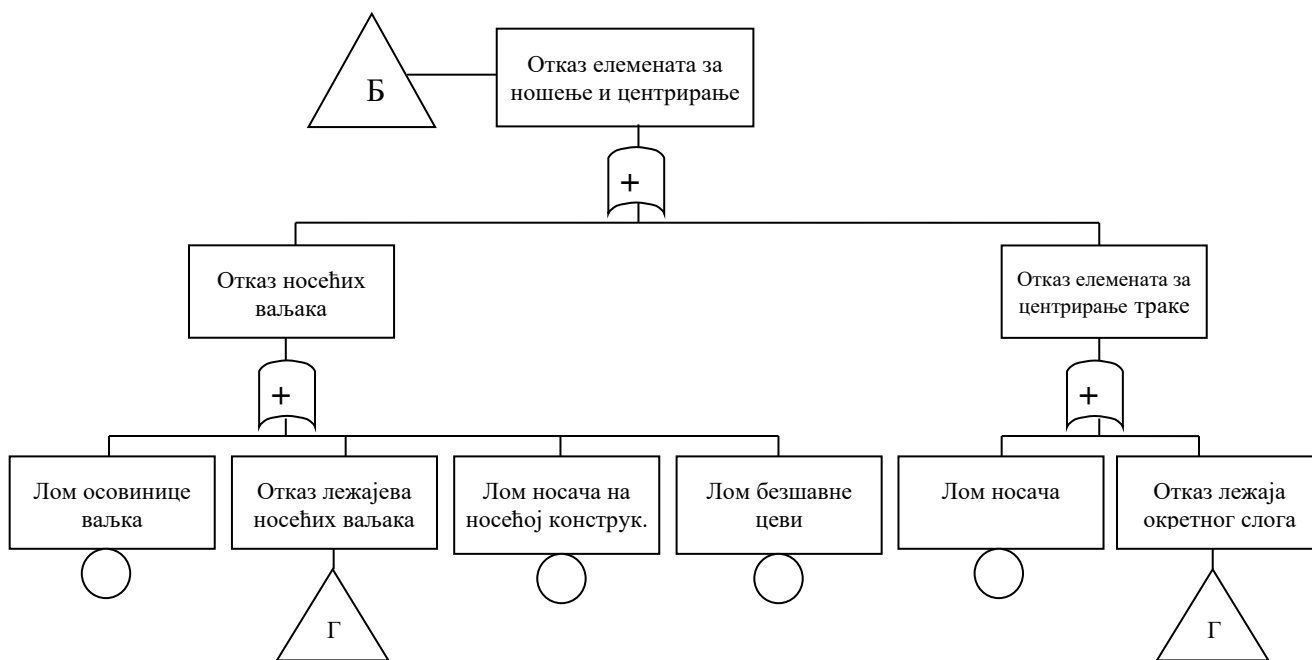
Слика 6.6 Независно подстабло отказа за вршни догађај „Отказ зупчаника“

Радна температура прелази одређене границе: Најчешће се јавља као последица зачепљивања одушка или истицања уља из кућишта, до кога може доћи услед пуцања кућишта или пуцања заптивних гума.



Слика 6.7 Независно подстабло отказа за вршни догађај „Радна температура прелази границе“

Носећа конструкција тракастог транспортера: Отказ носеће конструкције тракастог транспортера приказан је у стаблу отказа на слици 6.3. Носећа конструкција тракастог транспортера захтева одржавање чиме се отклања опасност од појаве корозије. Кородирање носеће конструкције у комбинацији са радним оптерећењима може довести до отказа, односно до лома конструкције транспортера. Лом носеће конструкције транспортера се може десити и услед појаве природних катастрофа, као што су разорни земљотреси или ерозија земљишта. Висина транспортованог материјала је често велика, као последица савладавања самог терена. Носећа конструкција транспортера у тим ситуацијама има велики утицај на поуздан рад транспортера. Разлог је што носећа конструкција у таквим ситуацијама мора бити веома отпорна на динамичка оптерећења која потичу од самог транспортера, али и од удара ветра, земљотреса, или од ерозије земљишта која се дешава услед великих падавина. Конструкција транспортера се осигурава ојачањима на носећим профилима, али и изградом дубоких армирано-бетонских темеља.



Слика 6.8 Независно подстабло отказа за вршњи догађај „Отказ елемента за ношење и центрирање“

Отказ елемента за ношење и центрирање: Носећи ваљци поред лежајева, представљају најбројније елементе у систему тракастог транспортера. Занимљиво је рећи да је отказ елемента за ношење у стаблу отказа транспортера представљено редном везом, односно да отказ једног носећег ваљка директно доводи до отказа транспортера. Међутим, у великом броју случајева та тврдња не мора бити и тачна. За потпуни увид у овај проблем неопходно би било урадити детаљну анализу, односно утврдити колики је број и на којем међусобном растојању је потребно да дође до отказа носећих ваљака, а да се као последица деси потпуни отказ тракастог транспортера. Међутим, велику улогу у таквом истраживању представља и време отказа појединих носећих ваљака који

међусобно нису у никаквој зависној вези. За најгори могући случај, могло би се узети у обзир да до отказа критичног броја ваљака, са малим међусобним осним растојањем, долази истовремено. У општем случају, који је узет у обзир у овом раду, до отказа транспортера долази услед отказа једног, или више носећих ваљака.

Проблем који се јавља услед појаве овог узрочног догађаја је повећање силе трења на транспортној траци, односно њеног великог хабања о непомици носећи ваљак који је отказао. Поред хабања траке, долази до додатног оптерећења суседних носећих ваљака, али и до оптерећења погонских елемената. Погонски елементи у оваквом режиму рада, трпе додатна оптерећења услед савладавања силе трења која делује између непомичног носећег ваљка и транспортне траке, која је под пуним оптерећењем. Увидом у настајање низа проблема као последице отказа само једног носећег ваљка, долази се до закључка да до потпуног отказа система не долази одмах, али је хабање осталих елемената система неизбежно а које недвосмислено води ка потпуном губитку радне способности тракастог транспортера. При отказу елемената за центрирање траке, долази до губитка правца транспорта. Као последица се јавља хабање бокова траке и у најгорем случају до спадања траке са погонског добоша, али је такав случај доста редак.

Отказ затезног уређаја транспортне траке: Отказ затезног уређаја транспортера приказан је на слици 6.3. Механизам за затезање транспортне траке се изводи у више варијанти. У претходним поглављима је објашњен начин рада конструктивног решења са навојним вретеном. Уређаји за затезање могу бити и посебно модификовани добиши са теговима. Основни проблем који се јавља отказом оваквих елемената је губитак неопходне силе трења између погонског добоша и транспортне траке при чему долази до директног отказа транспортера. Отказ затезног уређаја транспортера приказан је на слици 6.3

6.1 Квалитативна анализа стабла отказа

За квалитативну анализу конструисано је стабало отказа и сви догађаји у њему су означени Буловим променљивима и представљени су на сликама 6.9, 6.10, 6.11. Са приказаних слика може се видети да стабло отказа садржи 20 посредних догађаја и 61 базичан догађај (24 примарна и 37 секундарна догађаја).

Потребно је извршити поступак одређивања скупа пресека стабла догађаја. Први корак је формирање логичких једначина за свако логичко коло у стаблу отказа као и замена променљивих, све док вршни догађај не буде у функцији само од примарних и секундарних базичних догађаја.

$$T = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5$$

$$G_1 = P_1 + P_2 + P_3 + S_1 + G_6 \rightarrow G_1 = P_1 + P_2 + P_3 + S_1 + S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11} + P_6 + S_5 + P_4 + S_2$$

$$G_6 = G_5 + P_4 + S_2 \rightarrow G_6 = S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11} + P_6 + S_5 + P_4 + S_2$$

$$G_5 = G_7 + P_6 + S_5$$

$$G_7 = S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11}$$

$$G_2 = G_8 + G_9 + G_{10}$$

$$G_8 = S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{15} + S_{16} + P_8 + G_7$$

$$G_8 = S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{15} + S_{16} + P_8 + S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11}$$

$$G_9 = G_{13} + G_{14} + G_{15} + G_{16} + G_{17} \rightarrow G_9 = P_{15} + S_{20} + S_{21} + P_{16} + S_{22} + S_{18} + S_{19} + P_{13} + P_{14} + S_{23} + S_{24} + P_{17} + P_{18} + S_{25} + P_{19} + S_{26} + S_{27} + P_{20} + P_{21} + S_{28} + S_{29} + S_{30} + S_{31} + S_{32} + P_{23} + P_{24} + P_{22} + S_{33} + S_{34} + S_{35} + S_{36} + S_{37}$$

$$G_{13} = G_{18} + G_{19} + P_{13} + P_{14} \rightarrow G_{13} = P_{15} + S_{20} + S_{21} + P_{16} + S_{22} + S_{18} + S_{19} + P_{13} + P_{14}$$

$$G_{18} = P_{15} + S_{20} + S_{21} + P_{16} + S_{22}$$

$$G_{19} = S_{18} + S_{19}$$

$$G_{14} = S_{23} + S_{24} + P_{17} + G_{20} \rightarrow G_{14} = S_{23} + S_{24} + P_{17} + P_{18} + S_{25}$$

$$G_{20} = P_{18} + S_{25}$$

$$G_{15} = P_{19} + S_{26} + S_{27} + G_{21} + S_{28} \rightarrow G_{15} = P_{19} + S_{26} + S_{27} + P_{20} + P_{21} + S_{28}$$

$$G_{21} = P_{20} + P_{21}$$

$$G_{16} = S_{29} + S_{30} + S_{31} + S_{32} + G_{22} + P_{22} \rightarrow G_{16} = S_{29} + S_{30} + S_{31} + S_{32} + P_{23} + P_{24} + P_{22}$$

$$G_{22} = P_{23} + P_{24}$$

$$G_{17} = S_{33} + S_{34} + S_{35} + S_{36} + S_{37}$$

$$G_{10} = S_{17} + G_7 \rightarrow G_{10} = S_{17} + S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11}$$

$$G_2 = S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{15} + S_{16} + P_8 + S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11} + P_{15} + S_{20} + S_{21} + P_{16} + S_{22} + S_{18} + S_{19} + P_{13} + P_{14} + S_{23} + S_{24} + P_{17} + P_{18} + S_{25} + P_{19} + S_{26} + S_{27} + P_{20} + P_{21} + S_{28} + S_{29} + S_{30} + S_{31} + S_{32} + P_{23} + P_{24} + P_{22} + S_{33} + S_{34} + S_{35} + S_{36} + S_{37} + S_{17} + S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11}$$

$$G_3 = P_5 + S_3 + S_4$$

$$G_4 = G_{11} + G_{12} \rightarrow G_4 = P_9 + S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11} + P_{10} + P_{11} + P_{12} + S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11}$$

$$G_{11} = P_9 + G_7 + P_{10} + P_{11} \rightarrow G_{11} = P_9 + S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11} + P_{10} + P_{11}$$

$$G_{12} = P_{12} + G_7 \rightarrow G_{12} = P_{12} + S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11}$$

$$G_5 = G_7 + P_6 + S_5 \rightarrow G_5 = S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11} + P_6 + S_5$$

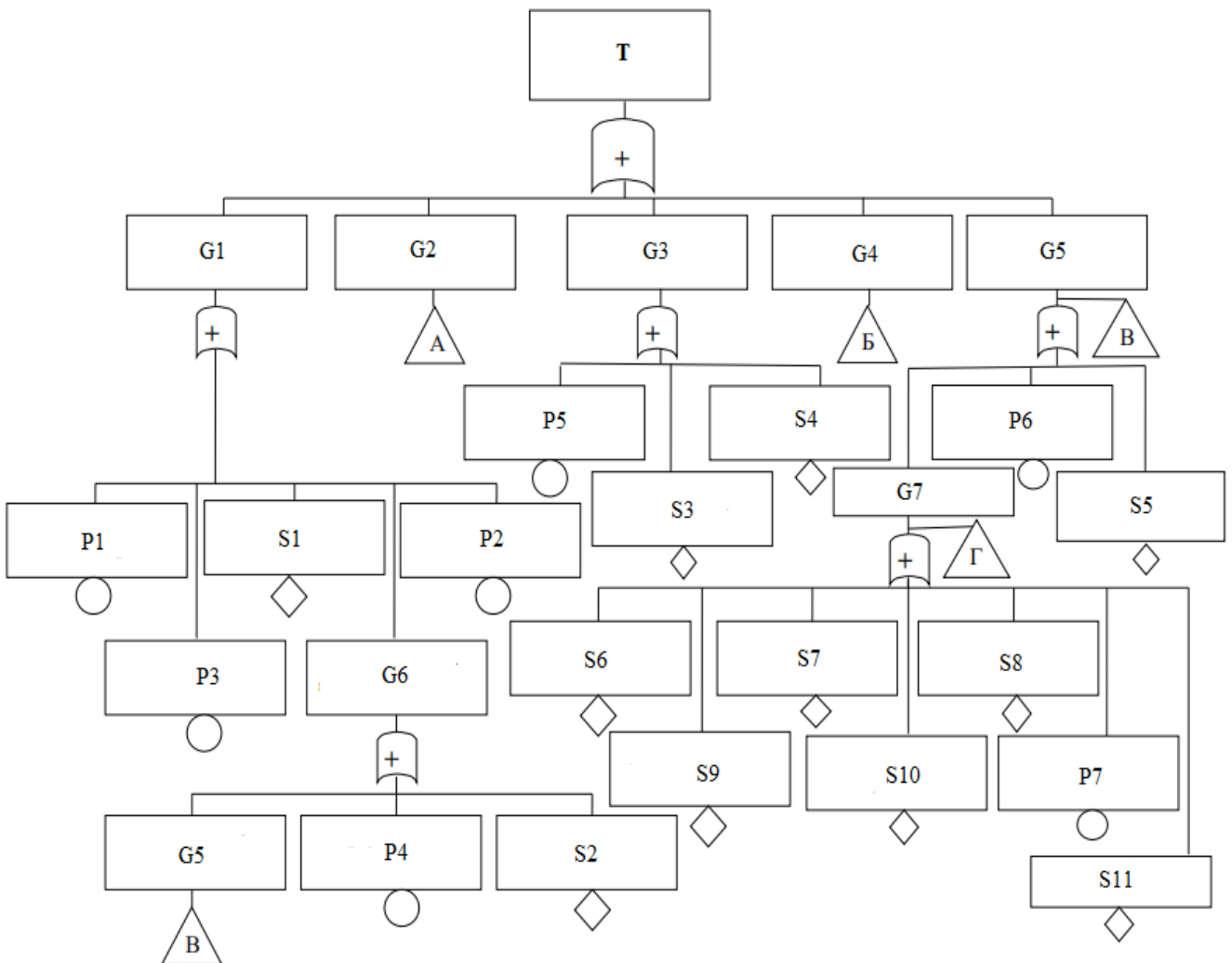
$$T = P_1 + P_2 + P_3 + S_1 + S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11} + P_6 + S_5 + P_4 + S_2 + S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{15} + S_{16} + P_8 + S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11} + P_{15} + S_{20} + S_{21} + P_{16} + S_{22} + S_{18} + S_{19} + P_{13} + P_{14} + S_{23} + S_{24} + P_{17} + P_{18} + S_{25} + P_{19} + S_{26} + S_{27} + P_{20} + P_{21} + S_{28} + S_{29} + S_{30} + S_{31} + S_{32} + P_{23} + P_{24} + P_{22} + S_{33} + S_{34} + S_{35} + S_{36} + S_{37} + S_{17} + S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11} + P_5 + S_3 + S_4 + P_9 + S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11} + P_{10} + P_{11} + P_{12} + S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11} + S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11} + P_6 + S_5$$

$$T = \sum_{i=1}^{24} P_i + \sum_{j=1}^{37} S_j$$

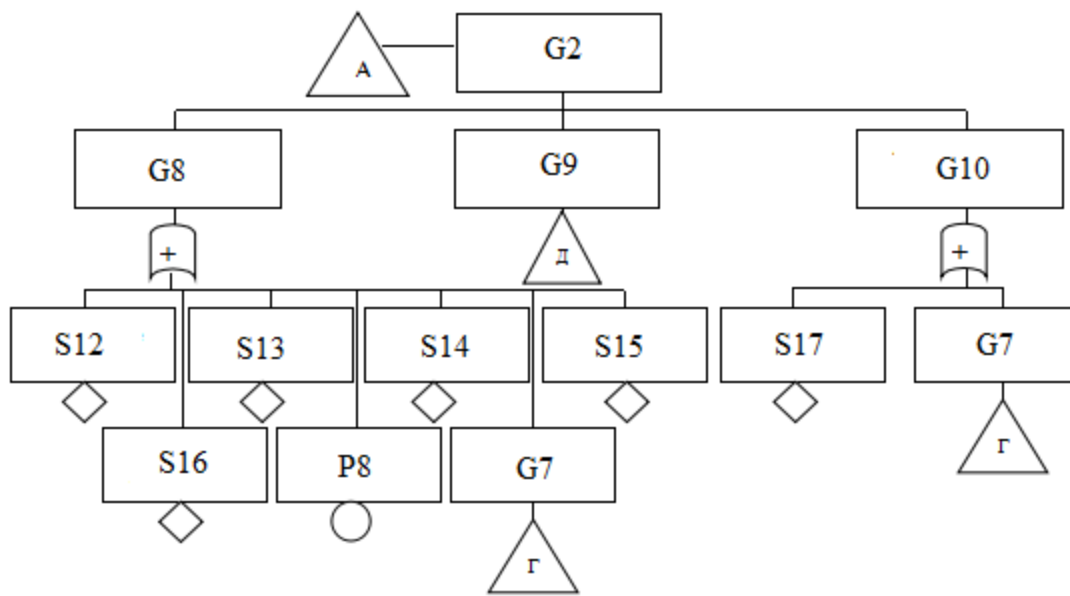
Последњи корак је редукција добијеног израза коришћењем правила Булове алгебре ($P \cdot P = P + P = P$). За наведени пример добијени израз се редукује на следећи начин.

$$(S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11}) + (S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11}) + (S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11}) + (S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11}) = S_6 + S_9 + S_7 + S_{10} + S_8 + P_7 + S_{11}$$

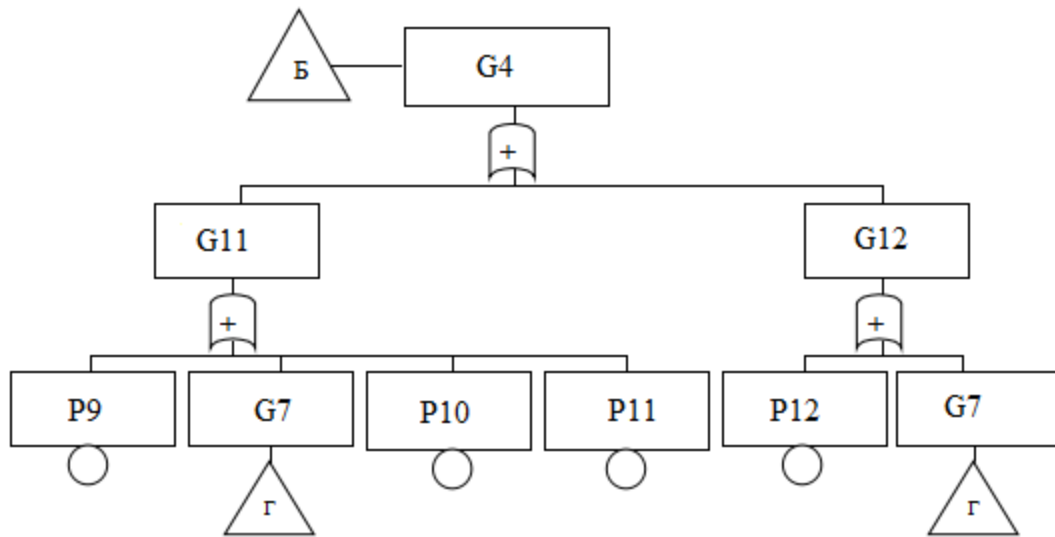
Разлог редукције добијеног израза је појава вршног догађаја „Отказ лежајева“ у више подстабала стабла отказа. Као олакшавајућа околност, ради смањења обима целокупне анализе, у овом раду се сматра да ће узрочни догађаји свих врсти лежајева тракастог транспортера до отказа лежајева довести на исти начин.



Слика 6.9 Развијање вршног догађаја „Отказ тракастог транспортера“ преко посредних до базичних догађаја

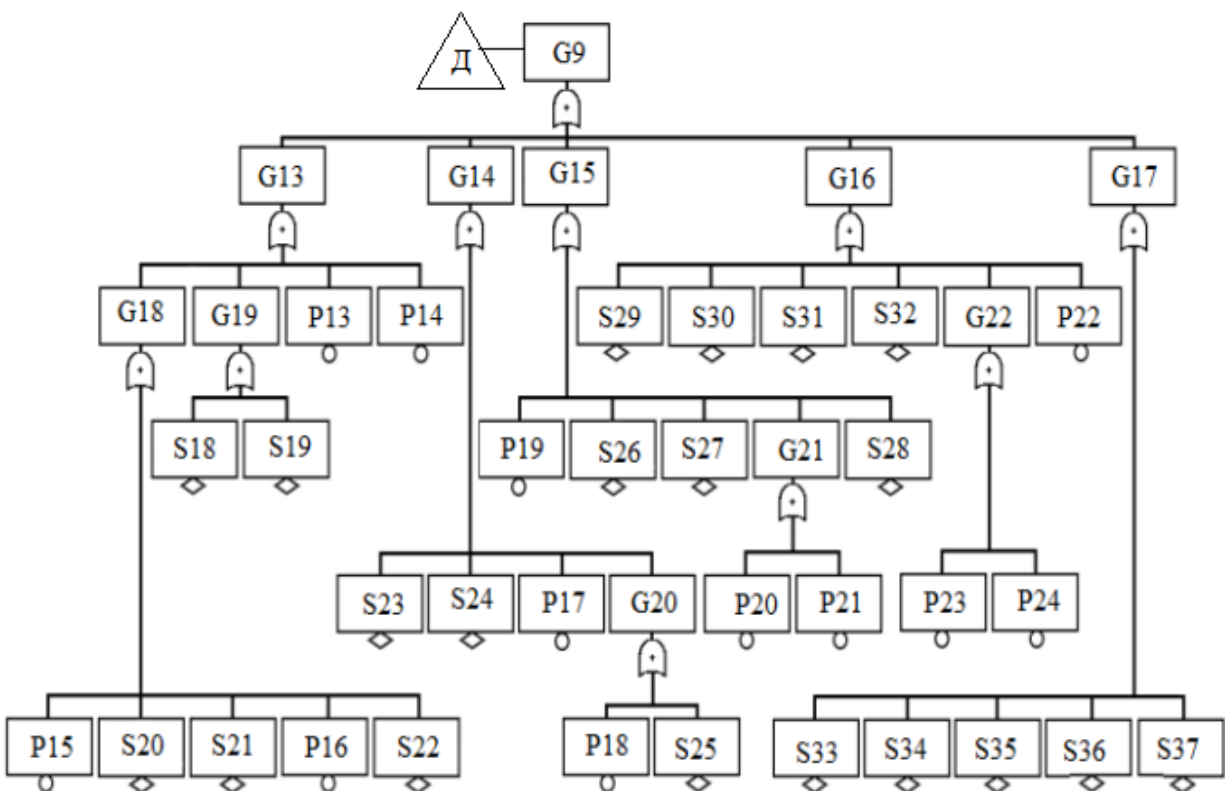


а)



б)

Слика 6.10 Развијање вршиног догађаја „Отказ тракастог транспортера“ преко посредних до базичних догађаја за независно подстабло а) отказ погонских уређаја б) отказ елемената за ношење и центрирање



Слика 6.11 Развијање вршног догађаја „Отказ тракастог транспортера“ преко посредних до базичних догађаја за независно подстабло „Отказ редуктора“

6.2 Анализа заједничког узрока

Веома важан део квалитативне анализе стабла отказа је анализа заједничког узрока. Она анализира понашање система који подлеже специјалним условима и секундарним узроцима и процењује њихов утицај на појаву вршног догађаја [1].

У овом случају, сви секундарни узроци који доводе до базичних догађаја могу се поделити у четири категорије:

- А - неблаговремено одржавање,
- Б - дефектна израда,
- Ц - старење елемената система и
- Д - преоптерећење.

Базични догађаји се могу груписати према секундарним узроцима на следећи начин:

- услед неблаговременог одржавања настаје скуп догађаја:
- А = (S₃, S₈, S₁₀, P₄, S₂, S₁₇, S₁₆, S₂₃, S₂₄, S₂₂, S₂₆, S₂₇, S₂₉, 4S₂₉, 4S₃₀, S₃₂, P₂₄),
- услед дефектне израде настаје скуп догађаја:
- Б = (S₆, S₃₇),
- услед старења настаје скуп догађаја:

- $\Pi = (P_2, P_3, S_{13}, S_{14}, S_{15}, S_{33}, S_{36}, 4S_{18}, P_{18}, S_{25}, P_{21})$ и
- услед преоптерећења система настаје скуп догађаја:
 $\mathcal{D} = (P_5, S_4, P_6, P_1, S_1, S_5, S_7, S_9, P_7, S_{11}, S_{12}, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, S_{35}, S_{19}, P_{17}, P_{15}, S_{20}, S_{21}, P_{16}, P_{19}, P_{20}, S_{31}, P_{23})$.

Узимањем у обзир број елемената у систему, добија се стабло отказа које садржи 23 примарна и 45 секундарна догађаја.

Скуп догађаја који воде ка вршном догађају могу бити записани у следећем облику:

$T: \{17 \text{ догађаја категорије } A, 2 \text{ догађаја категорије } B, 11 \text{ догађаја категорије } \Pi, 29 \text{ догађаја категорије } \mathcal{D}\}$.

Релативни удео (РУ) сва четири претходно наведених узорака (А, Б, Ц, Д) гласи:

$$1. RU = \frac{A}{X} = \frac{17}{59} = 0,2881$$

$$2. RU = \frac{B}{X} = \frac{2}{59} = 0,0338$$

$$3. RU = \frac{\Pi}{X} = \frac{11}{59} = 0,1864$$

$$4. RU = \frac{\mathcal{D}}{X} = \frac{29}{59} = 0,4915$$

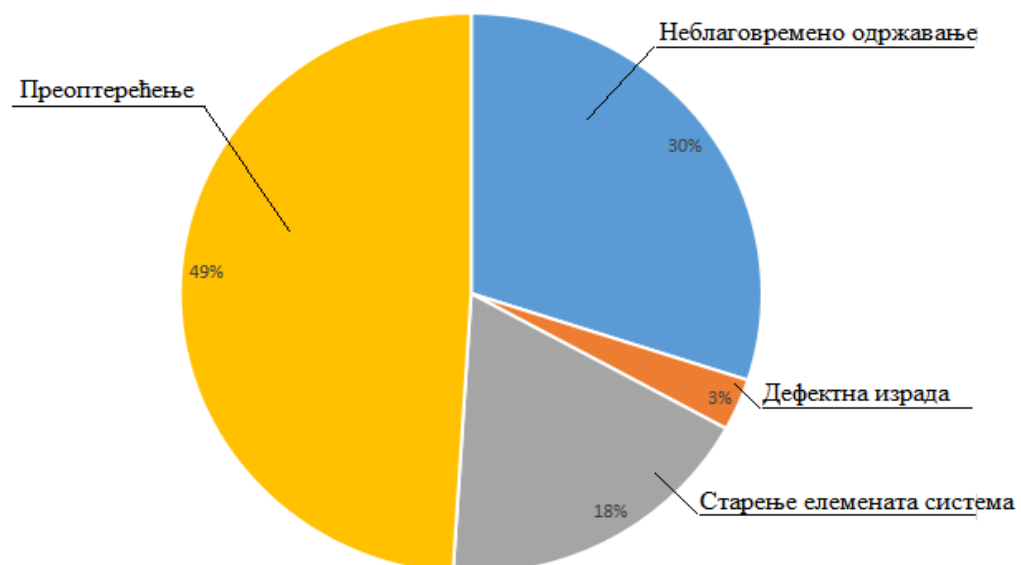
где је:

$$X = A + B + \Pi + \mathcal{D} = 17 + 2 + 11 + 29 = 59$$

при чему је:

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

Графички приказ процентуалног учешћа секундарних узрока базичних догађаја дат је на слици 7.9.



Слика 7.9 Процентуално учешће секундарних узрока базичних догађаја

На основу добијених података спроведене анализе, долази се до закључка да преоптерећење у највећем броју случајева доводи до отказа тракастог транспортера са чак 49%. Затим следи неблаговремено одржавање са 30%, старење елемената система са 18% и дефектна израда са 3%.

Уклањање последица преоптерећења система се може елиминисати већим поштовањем препоручених режима рада као и бољим одржавањем система.

Неблаговремено одржавање по процентуалним вредностима представља следећи највећи узрок отказа тракастог транспортера. На овај узрок се може утицати чешћим проверама елемената система као и чешћим сервисима.

Старење елемената система представља неизбежан процес. Поштовањем интервала замене појединих елемената као и детаљнијом и чешћом контролом, може се избећи отказ система до кога доводи овај узрок.

Дефектна израда је процентуално најмање заслужна за отказ тракастог транспортера. На смањење овог процента се може утицати бољом контролом саме израде прозвода пре монтаже и пуштања у рад на тракастом транспортеру.

7. Закључак

Примена FTA методе представља врло важну методу за техничке системе који угрожавају људску безбедност. Прикупљањем информација о датом техничком систему добија се детаљан увид у начин функционисања система, али и разумевање техничког система у погледу појаве отказа. Формирање стабла отказа се заснива на информацијама које су прикупљане за дати технички систем. Дефинисан вршни догађај у стаблу отказа представља отказ система који се анализира.

FTA метода даје најбоље резултате у фази пројектовања нових производа. Рано откривање грешака на производу у раној фази пројектовања има за циљ смањење укупних трошкова израде производа али и повећање његове поузданости и квалитета.

Транспортне траке представљају системе који су веома заступљени у данашњим производним погонима. Разлог томе је повећање брзине као и олакшање процеса производње. Транспортне траке представљају сложене системе који се састоје од више подсистема. Континуитет експлоатације у великој мери зависи од тракастих транспортера, где се откази елемената транспортера морају свести на минимум.

Преоптерећење и неблаговремено одржавање елемената система тракастог транспортера, процентуално представљају најчешће узрочнике отказа овог система. Преоптерећење система би се могло избећи избором квалитетнијих материјала као и већом пажњом приликом транспортовања материјала у погледу његове масе. Неблаговремено одржавање је после преоптерећења највећи узрочник отказа тракастих транспортера. Поштовањем интервала замене уља у редуктору као и чешћом контролом лежајева који представљају најбројније елементе система, проценат отказа тракастог транспортера узрокован неблаговременим одржавањем био би мањи. Старење елемената система транспортера представља неизбежан узрок отказа. Уредне сервисне књиге могу бити од великог значаја на смањење процентуалне вредности овог узрока. Тиме би се постигао детаљан увид у потребне интервале замене дотрајалих делова пре њиховог отказивања, као на пример лежајева, који имају свој радни век.

Тракасти транспортери такође представљају и потенцијалну опасност по људе у производним погонима. У таквим срединама, потребно је да траке буду заштићене одговарајућом конструкцијом како би се избегао контакт радника са ротирајућим елементима транспортера.

Конструктори применом бољих материјала, као и прописивањем одговарајућих технолошких поступака, у многа места могу допринети безбеднијем и поузданијем раду тракастих транспортера. Поштовањем прописаних мера у погледу режима рада транспортера, интервала замене појединих елемената као и поштовањем прописаних мера безбедности, тракасти транспортери ће бити поузданији и безбеднији системи свих производних погона.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ћатић Д., *Методе поузданости машинских система*, Универзитет у Крагујевцу, Машински факултет у Крагујевцу, 2006.
- [2] Clif Ericson, *Fault tree analysis – A History from the Proceedings of The 17th International System Safety Conference*, The Boeing Company, Seattle, Washington, 1999.
- [3] <https://history.nasa.gov/Apollo204/summary.pdf> Приступљено: 6.10.2019.
- [4] Zhores Medvedev, *The Legacy of Chernobyl*, W. W. Norton and Company, 1990.
- [5] Ћатић Д., *Поузданост у развоју машинских система*, Монографија, Машински факултет, Крагујевац, 2010.
- [6] Ивановић Г., Станивуковић Д., Бекер И., *Поузданост техничких система*, Факултет техничких наука у Новом Саду, Машински факултет Београд, Војна академија Београд, 2010.
- [7] Reliability Analysis Center (RAC), *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*, Rome, NY, 1993.
- [8] Michael S., *Fault Tree Handbook with Aerospace Applications*, Washington, DC, 2002.
- [9] Lovrin N., Debelić D., *О повјести тракастих транспортера*, Технички факултет Свеучилишта у Ријеци, Хрватска, 2008.
- [10] Цветановић Б., *Тракасти транспортери*, Висока техничка школа струковних студија у Нишу, Србија, 2018.
- [11] <http://www.transporteri.com/proizvodi/trakasti-transporteri> Приступљено: 22.10.2019.
- [12] Гашић М., *Транспортни уређаји*, Машински факултет Краљево, Краљево 1997.
- [13] Јевтић В., *Транспортне машине за насипне и комадне терете са непрекидним начином рада*, Машински факултет Универзитета у Нишу, Србија, 2001
- [14] Сувајцић С., *Механизација претоварно-транспортних радова I део*, Саобраћајни факултет Универзитет у Београду, Србија, 1964.
- [15] Вујанац Р., Милорадовић Н., *Транспортни уређаји и машине-предавања*, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2019.
- [16] Митровић Ј., *Анализа отказа редуктора-Мастер рад*, Крагујевац, 2019.