



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Поузданост машинских система

Број индекса: 42/2010

Милош Д. Николић
Анализа отказа система горње платформе
за транспорт аутомобила
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Добривоје Ћатић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да обради следеће теме:

- изврши анализу структуре и начина функционисања горње платформе система за подизање возила,
- размотри најчешће коришћене методе за анализу отказа техничких система и да опише поступке за њихово коришћење и
- применом методе Анализе стабла отказа, евидентира потенцијалне начине отказа разматарног објекта и утврди њихову узрочно последичну везу.

Препоручена литература:

[1] Ивановић Г., Поповић П., Стојковић М., Примена анализе стабла отказа у пројектовању моторног возила, Моторна возила и мотори бр.92/93; 1990.

[2] Зеленовић Д., Станивуковић Д., Поузданост система, Факултет техничких наука, Нови Сад, 1979.

[3] Ћатић Д., Методе поузданости машинских система, Крагујевац, 2009.

[4] Гордић Д., Пренос снаге флуидом – Хидраулика, Машински факултет у Крагујевцу, 2007.

...

Крагујевац, септембар 2013.

ментор:

Др Добривоје Ћатић, ред. проф.

РЕЗИМЕ

Предмет овог завршног рада је анализа отказа система горње платформе за транспорт аутомобила. Извршено је планирање производа од самог развоја пројектовања до фазе саме израде. Дат је приказ техничког цртежа у програмском софтверу „AutoCAD”, шлеп возила са дуплом платформом у три основна положаја. Описане су функције главних делова хидрауличног система горње платформе (зупчаста пумпа, преносник снаге, разводни вентил, неповратни вентил, хидроцилиндар и резервоар). Детаљно је представљена методологија анализе стабла отказа са основним појмовима, значајем и применом. Разматран је значај формирања стабла отказа посматраног објекта и критичних делова система. Урађена је квалитативна анализа стабла отказа, где су приказани подаци елемената који отказују услед неблаговременог одржавања, старења, преоптерећења и дефектне израде.

Кључне речи: Горња платформа, Стабло отказа, Отказ система, Последица отказа

ABSTRACT

The subject of this final work is failure analysis system of the upper platform for transport cars. The product planning of the design development to the production phase was done. The description of technical drawings was given in programming software „AutoCAD” of towing vehicles with double platform in three general positions. The functions of the main elements of hydraulic system of the upper platform were described (gear pump, power transmitter, distribution valve, check valve, hidrocilindar and tank). Methodology of fault tree analysis with basic concepts, importance and usage. was presented in detail. The importance of forming failure tree of the observed object and the critical parts of the system were considered. Qualitative failure tree analysis was also done in which is shown the data of elements that are failing due to the untimely maintenance, aging, overloading and defective development.

Keywords: Upper platform, Failure tree, System failure, Consequence of failure

САДРЖАЈ

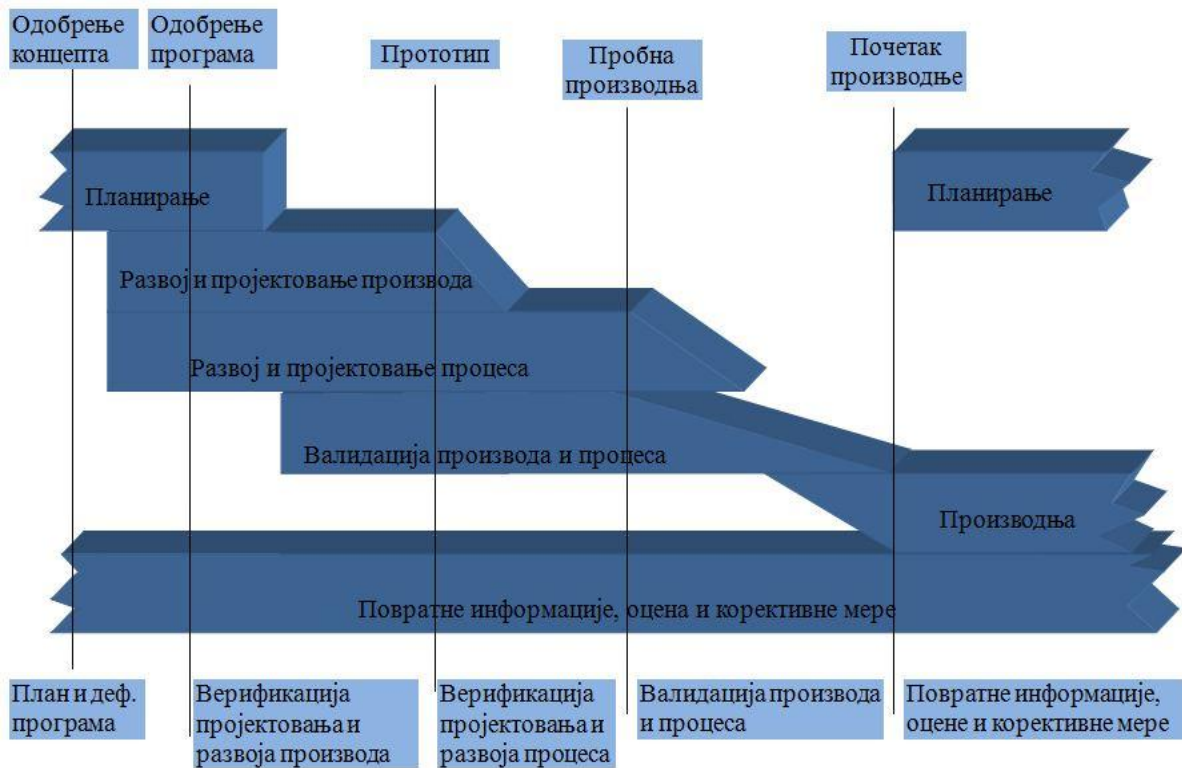
1. УВОД.....	1
2. ПРИКАЗ ОБЈЕКТА АНАЛИЗЕ.....	3
2.1 Пројектовање шлепа у 2D моделу.....	3
3. СТРУКТУРА И НАЧИН ФУНКЦИОНИСАЊА ГОРЊЕ ПЛАТФОРМЕ.....	5
3.1 Хидраулични систем.....	5
3.2 Хидрауличне пумпе.....	6
3.3 Зупчасте пумпе.....	7
3.4 Зупчасте пумпе у инсталацијама аутоавоза.....	9
3.5 Параметри за одабир одговарајуће пумпе.....	10
3.6 Преносник снаге.....	11
3.7 Разводни вентили – разводници.....	14
3.8 Основне функције клипних разводника.....	16
3.9 Неповратни вентил.....	17
3.10 Хидроцилиндри.....	18
3.11 Резервоари.....	20
4. МЕТОДОЛОГИЈА АНАЛИЗЕ СТАБЛА ОТКАЗА.....	22
4.1 Основни појмови, значај и примена.....	22
4.2 Методологија анализе стабла отказа.....	24
4.3 Символи стабла отказа.....	26
5. ФОРМИРАЊЕ СТАБЛА ОТКАЗА РАЗМАТРАНОГ ОБЈЕКТА.....	29
6. КВАЛИТАТИВНА АНАЛИЗА СТАБЛА ОТКАЗА.....	33
7. ЗАКЉУЧАК.....	38
ЛИТЕРАТУРА.....	40

1. УВОД

Поузданост се дефинише као својство система да ради без неисправности у одређеном временском периоду, под одређеним радним условима околине и прописаном нивоу поверења. Поузданост представља једну од битнијих компоненти квалитета моторних возила, која се може мерити, предвидети и контролисати [1]. Последице до којих доводи отказ моторног возила (економски и људски губици), масовна производња као и коришћење, захтевају да се још у фази пројектовања и развоја користе методе пројектовања поузданости.

Квалитет производа се мора обезбедити у свим фазама животног циклуса приказаних на слици 1, од идеје, до престанка коришћења [2]. Као кључне фазе могу се издвојити:

- фаза планирања производа,
- фаза развоја производа,
- фаза развоја процеса,
- фаза набавке,
- фаза производње,
- фаза контролисања и испитивања и
- фаза сервисирања.



Слика 1. Животни циклус производње једног техничког система

Нажалост у свим овим фазама могуће су грешке које за последицу имају повећане трошкове у свим фазама животног века производа. У принципу грешке по последицама се деле на грешке:

- које се откривају у фазама стварања производа и
- грешке које се откривају код корисника производа.

Анализа стабла отказа (Fault Tree Analysis - FTA) је једна од основних и најчешће коришћених метода за анализу сигурности и поузданости техничких система. То је дедуктивна метода код које се за дефинисани вршни догађај у облику отказа разматране структурне целине система утврђују узрочни догађаји који до њега доводе. Основу анализе стабла отказа представља превођење физичких система на структурне логичке дијаграме. У раду је приказана анализа могућег вршног догађаја, отказ подизања горње платформе шлеп возила са натовареним возилом у циљу истраживања узрочно последичних веза отказа појединих елемената и предузимања адекватних мера за минимизирање или потпуно отклањање узрока отказа. У раду је, поред приказа објекта анализе са структуром и начином функционисања, обрађено:

- методологија анализе стабла отказа,
- стабло отказа за догађај „Отказ система горње платформе”,
- квалитативна анализа стабла отказа за подизање горње платформе и
- презентирање резултата и предлога корективних мера.

У овом раду биће разматрана хидраулика система горње платформе. Хидрауличним машинама називају се енергетске машине у чијим се радним органима струјна енергија радне течности претвара у механички рад, или механички рад у струјну енергију радне течности. Најчешће се као радне течности у хидрауличним машинама користе вода и уље.

Због физичких својстава течности, процеси трансформисања енергије у хидрауличним машинама, праћени су инжењерски гледано занемарљивом променом њених топлотних величина стања, па се ове машине могу сматрати изотермским машинама.

У зависности од смера трансформације енергије, хидрауличне машине разврставају се на следећи начин:

- хидрауличне пумпе,
- хидраулични мотори и
- хидропреносници снаге.

При анализи отказа нужно је добро упознати проучавани систем, те је стога дат опис структуре и функционисања горње платформе шлеп возила, као и приказ елемената који тај систем чине.

2. ПРИКАЗ ОБЈЕКТА АНАЛИЗЕ

Платформа шлеп возила са фиксном и покретном горњом платформом састоји се од:

- **помоћне шасије челичних профила** (Уздужни профили помоћне шасије су дебљине 5 mm. Попречни профили су од лима дебљине 3 mm, као и неходна ојачања. Веза шасије и помоћне шасије завртњима класе чврстоће 10.9.);

- **стазе челичног лима** (Стазе на ручно извлачење, дужине ≈ 2300 mm, ширине 340 mm, тежина стазе $G \approx 30$ kg. Стазе се увлаче под платформу. Стазе су од перфорираног челичног лима са адекватним ојачањима.);

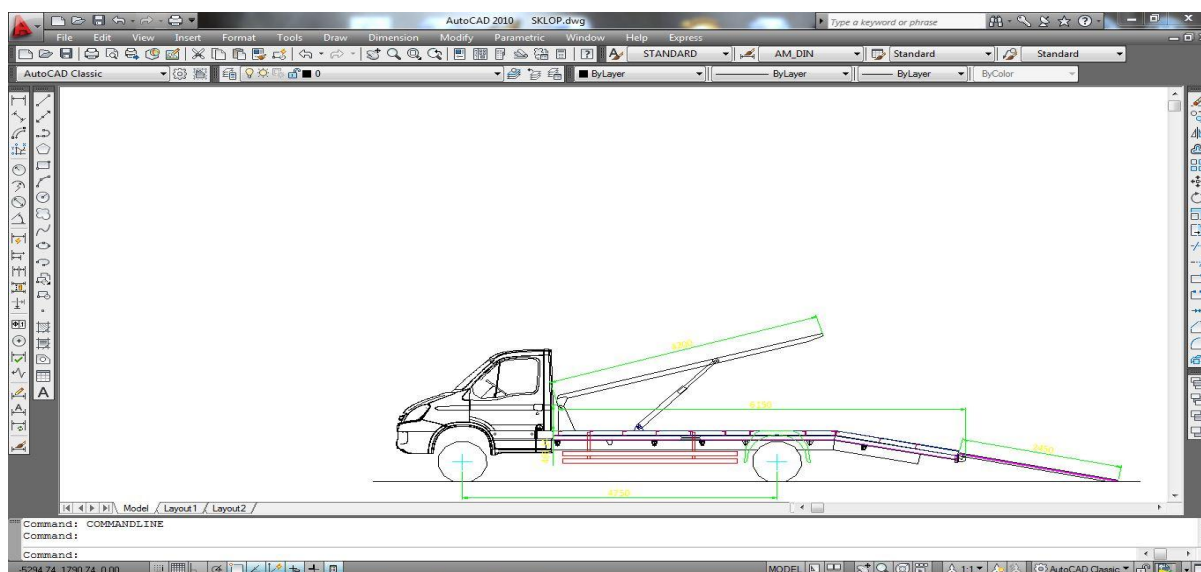
- **пода платформе** (Навозни део платформе (преко кога прелазе точкови) од челичног перфорираног лима дебљине 3 mm, ширине око 650 mm. Средишњи и централни део платформе прекривен је алуминијумским ребрастим лимом дебљине 3/4 mm.);

- **горње платформе** (Димензије горње платформе $\approx 4500 \times 2200$ mm. Конструкција, са перфорираним навозима и празним средишњим делом. Блокада горње платформе у положају који дефинишу цилиндри је механичка и врши се убацивањем клинова.) и

- **хидрауличног система** (Помоћни извод снаге хидрауличног система сачињавају: помоћни извод снаге, зупчаста пумпа, резервоар, разводни вентили, сигурносни вентил, блокирајући вентил, два хидраулична цилиндра, хидраулична црева са пратећом опремом, команда за рад горње платформе.).

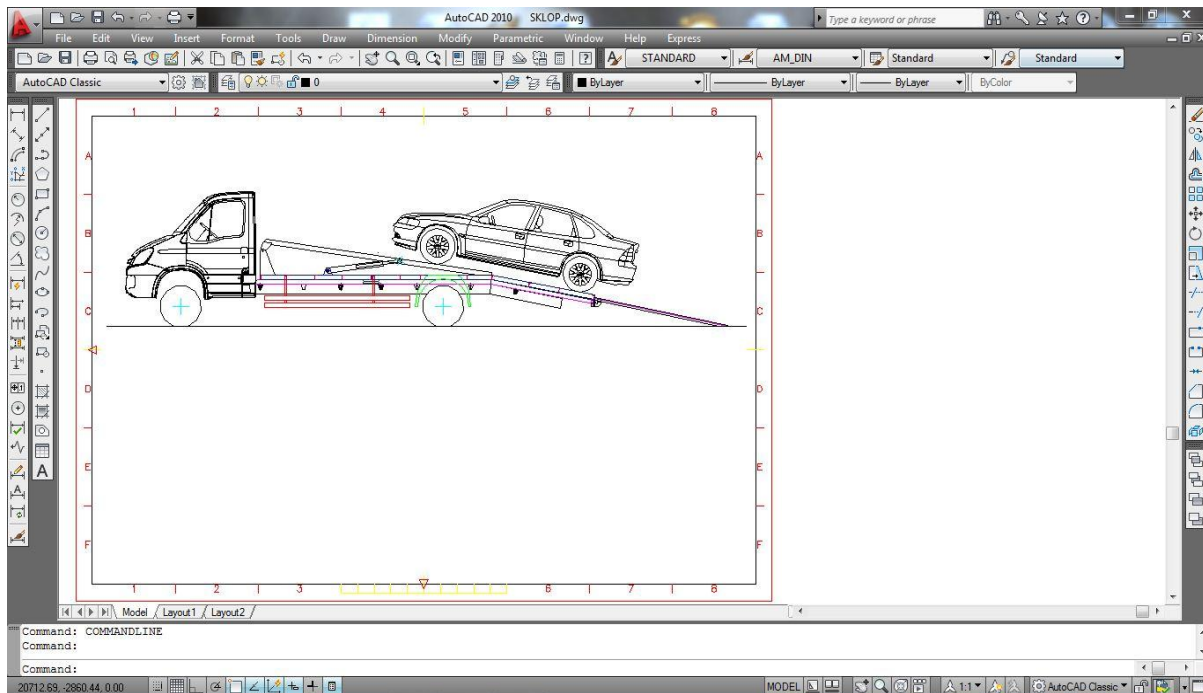
2.1 Пројектовање шлепа у 2D моделу

На слици 2 приказан је изглед шлепа са горњом (дуплом) платформом који је пројектован при изради овог рада.

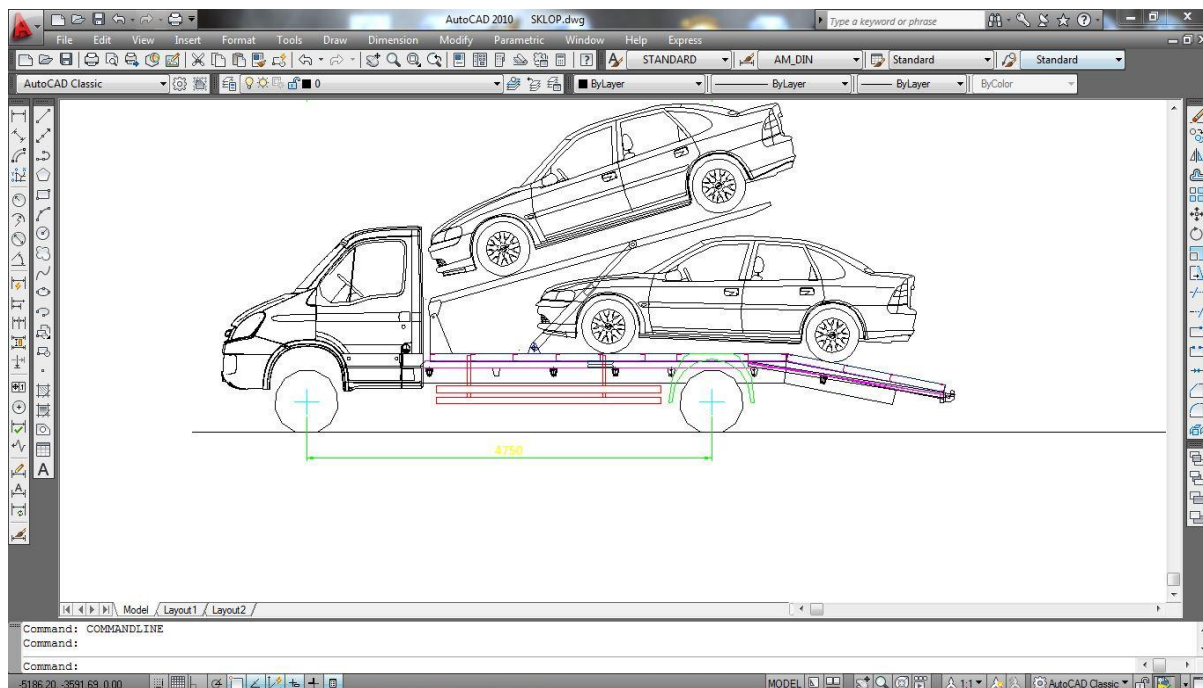


Слика 2. Изглед празног шлепа

Приликом утовара возила потребно је прво спустити горњу платформу, како би се извршио утвар првог возила приказаног на слици 3. Затим се врши подизање горње платформе са утовареним возилом до положаја који дефинишу цилиндри, како би се ослободила доња платформа и извршио утовар другог возила приказаног на слици 4.



Слика 3. Приказ утовара првог возила на горњој платформи

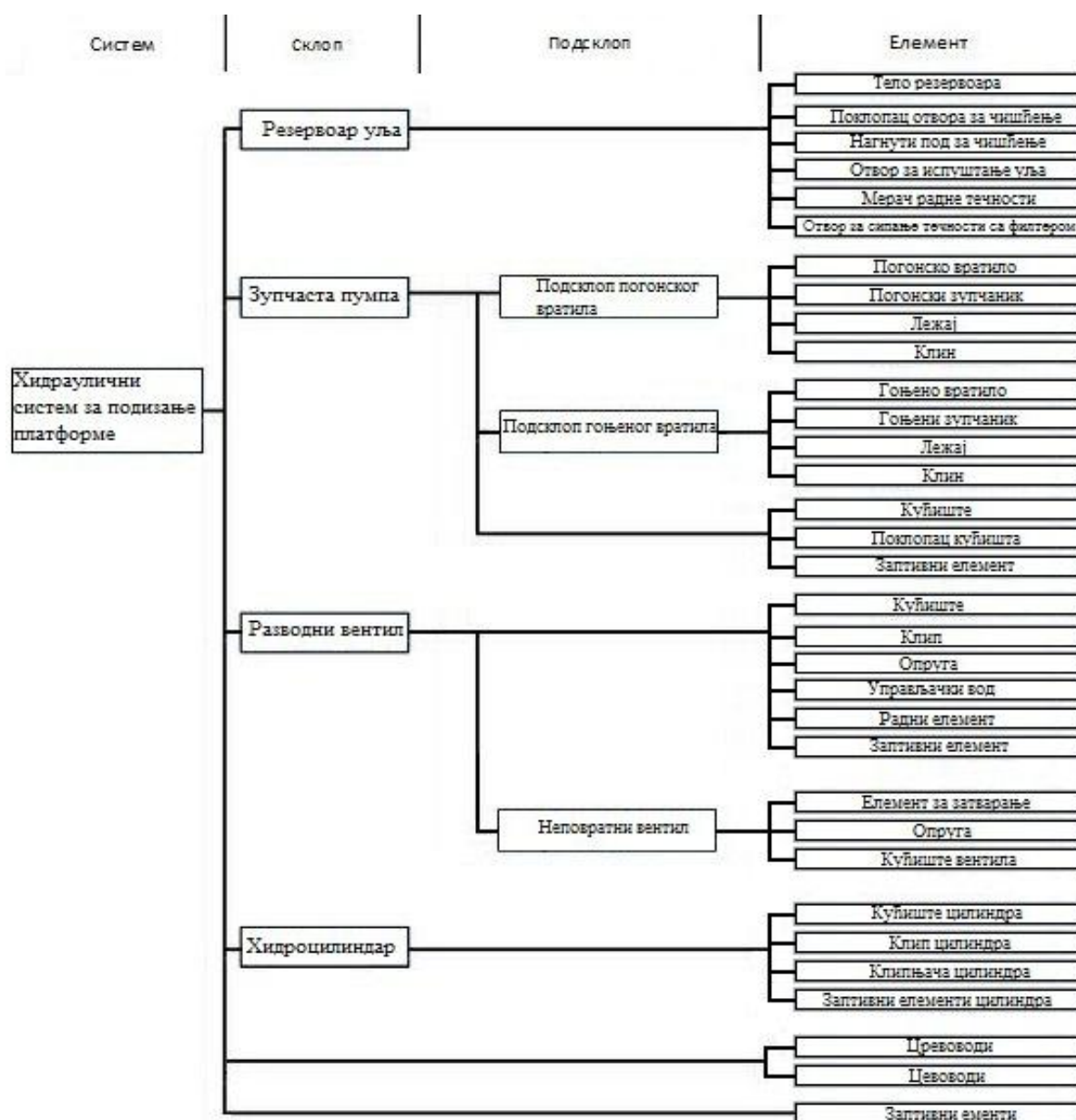


Слика 4. Приказ шлепа са утовареним возилима

3. СТРУКТУРА И НАЧИН ФУНКЦИОНИСАЊА ГОРЊЕ ПЛАТФОРМЕ

3.1 Хидраулични систем

Структура функционисања горње платформе са свим елементима које хидраулични систем поседује приказана је на слици 5.



Слика 5. Шема рашчлањавања хидрауличног система за подизање горње платформе

Улога хидрауличног система је да обезбеди подизање и спуштање платформе аутоавоза. У склопу хидрауличног система, приказаног на слици 6 налазе се следеће компоненте:

- **погонска група** коју чини **пумпа** погоњена **изводом снаге** (eng. power take off, скраћени назив РТО),
- **управљачка секција** коју чини разводник и кабинска контрола киповања,
- **систем за развод** кога чине резервоар и савитљиви цевоводи високог притиска и
- **извршни орган** кога чини пар хидроцилиндара.



Слика 6. Блок дијаграм хидрауличног система

3.2 Хидрауличне пумпе

Пумпе су уређаји чија је функција пребацивање радне течности (флуида) из подручја нижег у подручје вишег притиска, а разлику у притисцима савлађују додајући енергију систему. Радни флуид који пумпа транспортује и предаје му енергију се користи за покретање извршног органа. У овом случају је то кретање цилиндра који подиже сандук и терет заједно са њим. У техници хидраулике постоје многи типови пумпи чија подела се може извршити у зависности од конструкције, начина функционисања и намене. У овом раду биће приказан један од основних типова који се користи за инсталацију аутоавоза. У питању је зупчаста пумпа. У даљем разматрању описаће се начин функционисања, карактеристике и параметри који фигурирају у одабиру оптималног решења. За погон пумпе неопходан је покретач и преносник снаге у форми механичке спојнице, која у спрези са зупчаницима мењача преноси механичку енергију пумпе која се на њега монтира (овај тип покретача се најчешће користи за погон зупчaste пумпе). У модерној инжењерској пракси преовлађују два стандарда, **UNI** (DIN) и **ISO** стандард, којима се дефинише распоред рупа на прирубници за спрезање пумпе и преносника снаге приказаног на слици 7.

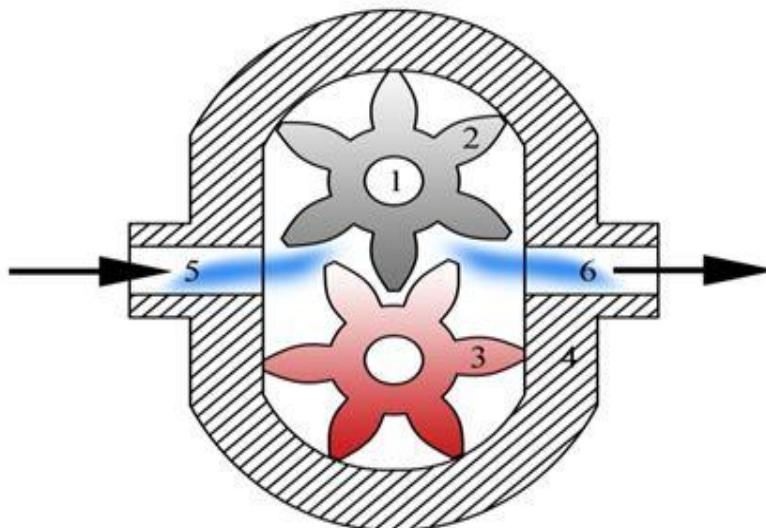
**Стандард UNI (DIN)****Стандард ISO****Слика 7.** Стандарди за распоред рупа на прирубници хидрауличне пумпе

Зупчасте пумпе спадају у запреминске хидрауличне машине, које превode механичку енергију покретачког уређаја у хидрауличну енергију радног флуида, периодичном променом радне запремине. У току радног циклуса долази до стварања потпритиска и натпритиска у деловима радне коморе услед смањивања и повећавања радне запремине пумпе. Елементи који учествују у промени запремине пумпе могу изводити ротационо или трансаторно кретање, па сходно томе и постоји класификација по том критеријуму. Радна запремина запреминских пумпи може бити константна или променљива. Код константне радне запремине постоји стални проток пумпе на излазу за одређени број обртаја покретача, док је код варијабилних запремина променљива, па самим тим и проток пумпе [3].

3.3 Зупчасте пумпе

Зупчасте пумпе (слика 8) су веома распрострањени тип пумпе који се користи у инжењерској хидраулици. Принцип рада се базира на спрезању зупчаника који врше функцију радних елемената унутар коморе пумпе. У зависности како се врши спрезање, постоје зупчасте пумпе са спољашњим спрезањем (углавном се користе у киперској инсталацији) и унутрашњим спрезањем. У пару зупчаника који су у контакту, разликују се погонски и гоњени зупчаник који су углавном истих димензија. Погонски се налази на погонском вратилу које добија снагу од покретача, путем преносника снаге или електромотора. Обрт погонског зупчаника условљава и обрт гоњеног, јер се налазе у спрегнутом стању, па на тај начин њиховим кретањем долази до наизменичне промене радне запремине унутар коморе пумпе, тако што се радни флуид транспортује у међузубљу зупчаника из области усисног дела коморе у област потисног. На тај начин се у усисном делу ствара потпритисак, који омогућава доток новог радног флуида под дејством атмосферског притиска, а са друге стране коморе натпритисак који обезбеђује одвод ка даљој инсталацији [4].

Губици снаге у зупчастој пумпи су резултат хидрауличких и механичких губитака дефинисаних механичким степеном корисности ($\eta_m = 0,75 \div 0,85$) и запреминских губитака услед истицања (цурења) течности из коморе високог у комору ниског притиска дефинисаних запреминским степеном корисности ($\eta_v = 0,80 \div 0,92$).



Слика 8. Шематски приказ зупчасте пумпе са спољашњим спрезањем: 1 – погонско вратило, 2 – погонски зупчаник, 3 – гоњени зупчаник, 4 – кућиште, 5 – усисно грло и 6 – потисно грло

До истицања течности из простора вишег у простор нижег притиска долази због присутних зазора на чеоним странама (између површине зуба и кућишта) и бочним странама (између бокова зуба и страна кућишта). Код оштећених зуба који су услед хабања изгубили првобитни профил, као и код пумпи код којих је извршена погрешна монтажа зупчаника или лежаја, до протицања течности може доћи и на месту захвата зупчаника по линији додира зуба.

Протицање кроз чеони зазор износи 75% до 80% од укупног протицања, па тај зазор треба довести на минималну вредност. У пракси се постижу вредности од 0,02 mm до 0,03 mm. Вредност минималног радијалног зазора се одређује на основу могуће величине зазора у лежиштима, одступања њихових оса од централне осе, као и од величине ексцентрицитета положаја зупчаника.

Код малих и средњих обимних брзина темена зубаца ($3 \div 5$ m/s), запремински губици су искључиво губици до којих долази услед истицања. Уколико се обимна брзина повећа на преко 6 m/s, притисак течности у међузубљу може знатно да се смањи, што може да изазове издвајање ваздуха и пара течности због чега се пуњење у међузубљу погоршава, или потпуно прекида. Губици настали на овај начин се називају волуметријско-кавитациони. Да би се повећала ефикасност пуњења међузубља и смањио утицај волуметријско-кавитационих губитака, ограничавају се обимне брзине темена зубаца. Најоптерећенији део зупчасте пумпе су лежајеви (котрљајни или клизни). Оптерећени су деловањем радијалне силе притиска флуида на зупчанике и деловањем механичке силе, која је проузрокована реакцијом на обртни момент.

Уколико пумпа ради у режимима са великим оптерећењима, које карактерише релативно велики пораст притиска радне течности у пумпи, због велике разлике притисака на излазу и улазу пумпе, могуће је блокирање течности у међузубљима зупчаника. То изазива повећање температуре блокиране течности, додатно динамичко оптерећење зубаца, вратила и лежајева, што може довести до разарања површина тих елемената услед замора материјала. Сем тога, блокирана течност у међузубљу при

изласку улази у улазну комору, у простор нижег притиска, где се издвајају гасови и паре (течност кавитира). Ово доводи до смањења протока и погоршања квалитета радне течности. Један од начина смањења компресије у међузубљу је одвођење затворене радне течности кроз избушене радијалне отворе у међузубљу и осне отворе у вратилу.

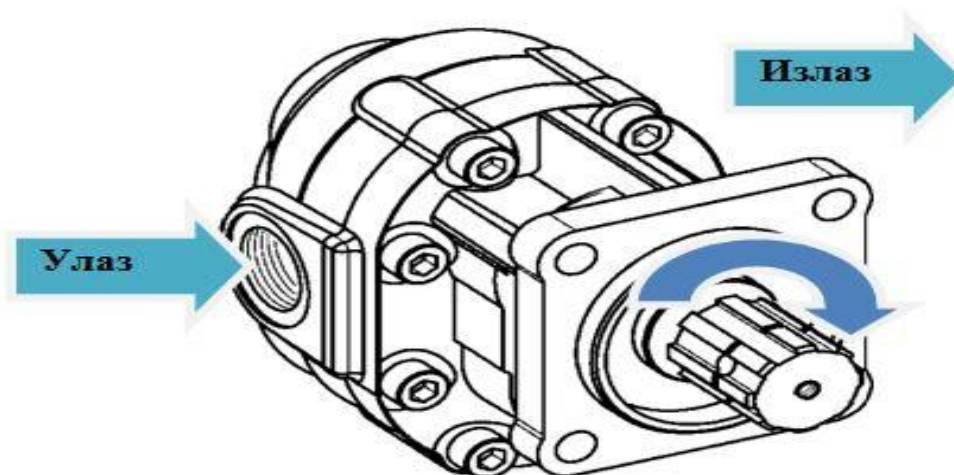
Зупчасте пумпе са спољним озубљењем производе се за притиске до 200 bar и протоке до 250 l/min, а ређе и за протоке до 500 l/min. Раде са бројевима обртаја од 500 до 3000 o/min. Поред једноставне конструкције и ниске цене, ове пумпе карактерише: лако одржавање, поузданост у раду, мали габарити и тежина и мала су осетљивост на нечистоће у радном флуиду.

Основни недостаци зупчастих пумпи са спољашним спрезањем су: релативно ниски радни притисци, немогућност запреминске регулације, висок степен неравномерности протока, нагли пад степана корисности при порасту температуре радне течности и релативно јак шум код високих притисака и великог броја обртаја. Смањење шума и пулзација протока се може остварити коришћењем зупчаника са косим зупцима. Међутим, при раду са зупчаницама са косим зупцима се мора водити рачуна о аксијалним силама које додатно оптерећују конструкцију. Најпростије решење проблема шума је потапање пумпе у радну течност (уградња пумпе у резервоар).

Зупчасте пумпе са спољашњим спрезањем имају широку примену у индустрији, а најбољи доказ тога је и употреба у склопу киперских инсталација.

3.4 Зупчасте пумпе у инсталацијама аутоавоза

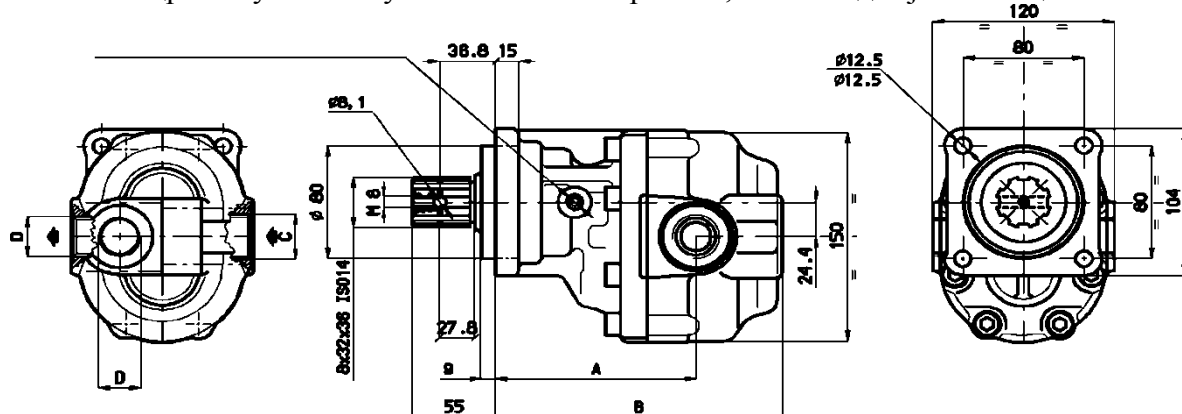
Као што је раније било речи о погону пумпи, треба напоменути да се за инсталације аутоавоза користе различити типови зупчастих пумпи, али та класификација се базира на систему спрезања и упаривања са механичким преносником снаге који преноси снагу са мењача возила. С обзиром да постоје разни типови мењача на камионима, онда их треба упарити са одговарајућим зупчастим пумпама. На примеру модела зупчасте пумпе са 4 тачке спрезања (ISO стандард) дати су главни параметри и карактеристике које служе за одабир одговарајућег модела приказаног на слици 9.



Слика 9. Зупчаста пумпа са 4 тачке спрезања, тип ISO

При одабиру одговарајућег модела зупчaste пумпе, различитих карактеристика и радне запремине, треба уочити ознаку левог и десног смера кретања погонског вратила. У зависности од смера кретања погонског вратила, зупчaste пумпе делимо на левоходне и десноходне [5].

Технички цртеж зупчaste пумпе са 4 тачке спрезања, тип ISO дат је на слици 10.



Слика 10. Технички цртеж зупчaste пумпе са 4 тачке спрезања, тип ISO

3.5 Параметри за одабир одговарајуће пумпе

У циљу избора оптималног решења, треба се водити следећим параметрима који могу указати која пумпа најбоље задовољава захтеве у конкретном случају и представља прави избор:

1. Максимални радни притисак пумпе

Одређен је потребном снагом у систему и његова вредност се добија енергетским билансом хидрауличног система. Већи притисак омогућава снижавање протока (за задату снагу), мање габарите пумпе, али и већу цену. Тренд развоја пумпи код светских произвођача је повећање радног притиска. То се постиже употребом бољих материјала и бољих конструктивних решења.

2. Максимални проток

Треба узети у обзир минималну и максималну вредност протока у систему. Ако систем користи приближно константан проток, онда се користе пумпе са константном радном запремином и обратно. Проток пумпе зависи од вискозитета радне течности, температуре у систему и радног притиска. Пораст температуре условљава снижавање вискозитета. Пораст притиска може довести до прекомерног истицања флуида, па самим тим и до опадања протока. Приликом избора одговарајућег протока, а самим тим и пумпе, треба узети запреминске губитке и одредити се за 10% већи проток од потребног.

3. Погонски број обртаја

Обично је дефинисан покретачем пумпе, било да се ради о електромотору или преноснику снаге у киперским инсталацијама. У распону мин-мах број обртаја налази се и распон протока јер је проток пропорционалан броју обртаја. За већи број обртаја век трајања пумпе је мањи.

4. Габарити и маса пумпе

Врло важан критеријум приликом одабира пумпе је габарит и маса, јер димензије пумпе морају бити такве да она може да се угради или постави у конструкцију. Такође

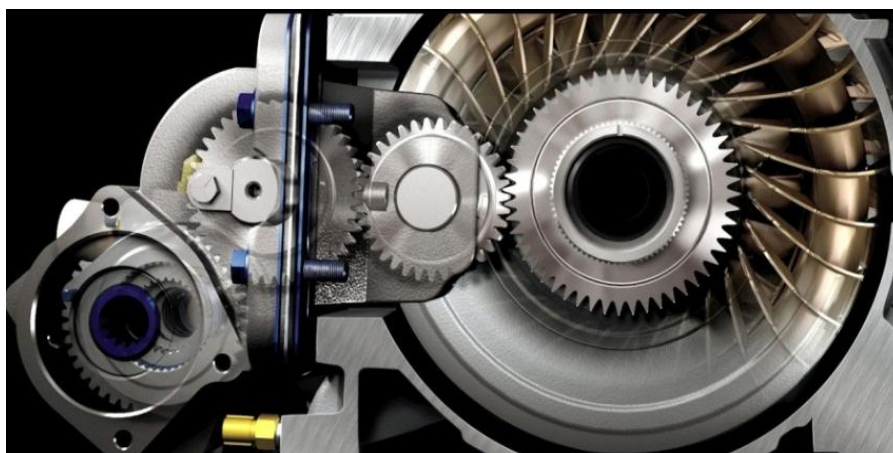
маса пумпе може неповољно да утиче на носаче који треба да издрже терет пумпе. Данас се конструишу зупчасте пумпе мањих димензија које раде на већем притиску и на тај начин обезбеђују повећање протока.

3.6 Преносник снаге

У хидрауличном систему киперске инсталације преносник снаге представља погонски уређај пумпе. Постоји више места на возилу где се може монтирати, али када је реч о киперским инсталацијама углавном се поставља на мењач возила и тако коришћењем механичке енергије зупчаника мењача, преноси исту на погонско вратило пумпе. Преносник снаге је механичка спојница која врши спрезање зупчаника мењача са једне стране и погонског вратила пумпе са друге стране. На овај начин се преноси снага и обртни момент мењача на пумпу. На слици 11 приказана је конструкција преносник снаге, а на слици 12 његова позиција на мењачу возила [5].



Слика 11. Изглед преносника снаге са мењача на погон хидрауличне пумпе



Слика 12. Позиција преносника снаге на мењачу возила

С обзиром да се преносници снаге монтирају на мењаче возила, важан параметар у избору преносника снаге представља марка мењача уграђеног у возило. Постоје многи произвођачи мењача као што су: ZF, EATON, ALLISON, VOLVO, MERCEDES и многи други. На слици 13 приказани су разни модели преносника снаге компатибилни одређеним маркама мењача.



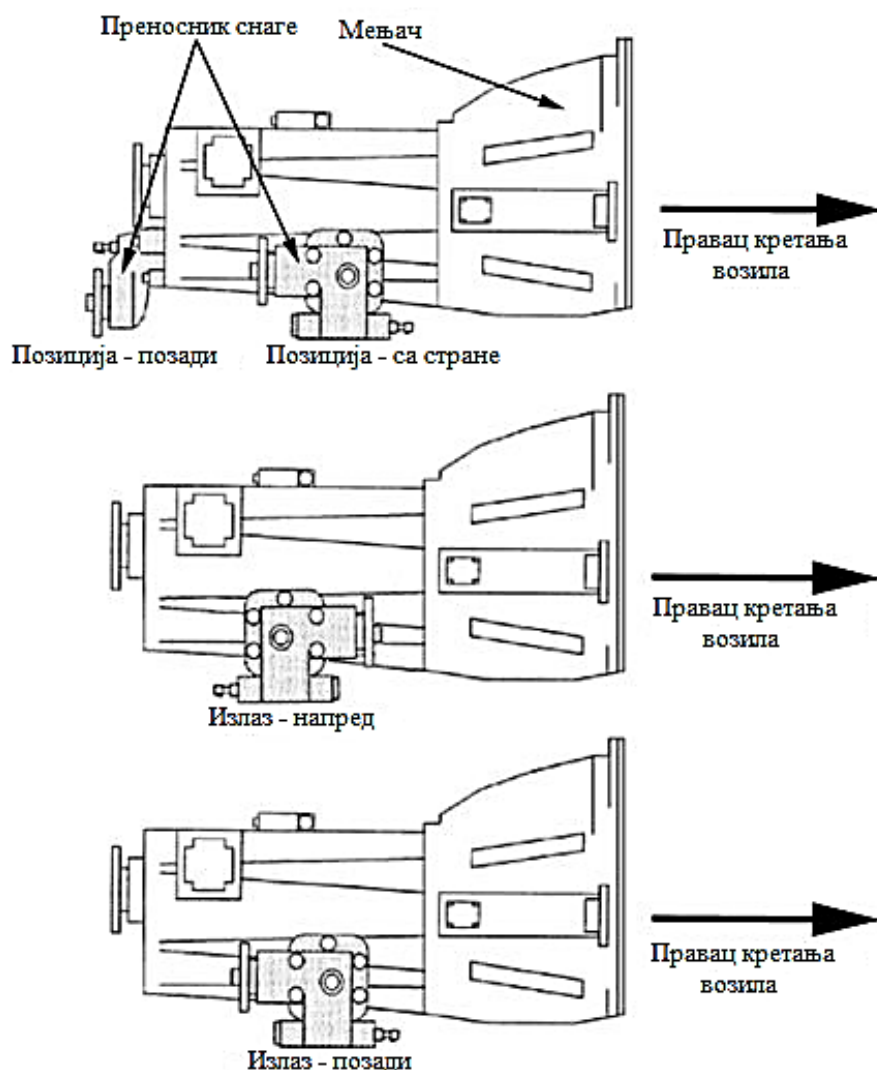
Слика 13. Разни модели преносника снаге за одређене марке мењача

Конструкција мењача омогућава више приступних тачака за уградњу преносника снаге. У поглављу је дефинисан начин спрезања преносника снаге и пумпе кроз преовлађујућа два стандарда, **UNI (DIN)** и **ISO** (слика 14).



Слика 14. Стандарди за распоред рупа на прирубници преносника снаге

Могућа позиција преносника (извода) снаге на мењачу приказана је на слици 15. Извод снаге може бити монтиран са бочне или задње стране мењача, са излазним делом спојничког вратила окренутим ка предњем, односно задњем делу мењача. Избор положаја уградње извода снаге поред техничких параметара (снага и обртни момент), зависи и од габарита система извод снаге-пумпа. Често је положај издувне гране ауспуха, опреме, траверзни шасије камиона, лимитирајући фактор у погледу расположивог простора за уградњу поменутог спрега.



Слика 15. Позиција извода снаге на мењачу возила и положај излаза

У спецификацији произвођача се обавезно наводе смерови обртања излазног вратила извода снаге, како би се тај смер усвојио и код модела компатибилне пумпе. Десни ход се дефинише као смер у обртању казаљке на сату.

Номинална вредност обртног момента показује о којој класи преносника снаге је реч. У табели 1 приказана је подела преносника снаге у зависности од номиналне вредности обртног момента зупчасте пумпе.

Табела 1. Вредности обртног момента код зупчастих пумпи

Класа преносника снаге	Номинална вредност обртног момента	Период употребе
Лака	$M < 400$	Повремено
Средња	$400 < M < 1000$	Континуално
Тешка	$M > 1000$	Континуално

3.7 Разводни вентили – разводници

Разводни вентили (разводници) су вентили са основним задатком да управљају или регулишу покретање, заустављање и усмеравање радне течности. Овај задатак остварују померањем разводног елемента, чиме се отварају или затварају управљачки пригушни отвори у самом вентилу. Постоји велики број конструктивних облика разводника, који су настали као резултат различитих функција разводника и креативне маште конструктора [4].

Према конструктивном извођењу разводног елемента најчешће се користе решења са аксијалним кретањем цилиндричног клипа (клипно – аксијални разводници) и вентилски разводници (разводници са седиштем). Разводник може имати два, три, четири и више прикључака (отвора), а разводни елемент може заузимасти два, три, четири и више положаја.

Разводни вентили или разводници приказани на слици 16 у хидрауличној инсталацији киперских надogradњи омогућавају усмеравање и прекидање струје радног флуида, чиме се врши и управљање комплетног процеса подизања и спуштања.



Слика 16. Разводни вентили у киперским инсталацијама

Основне конструкцијске карактеристике разводника су:

- број радних положаја,
- број хидрауличних прикључака на разводнику,
- функција радних положаја,
- начин активирања разводника и
- величина прикључних отвора.

Број радних положаја разводника зависи од функције. Радни положај се графички приказује правоугаоним пољем унутар којег се струјање приказује према табели 2 где се уочава и функција радног положаја разводника.

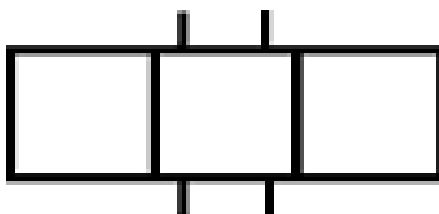
Да би се остварила функција прекидања радне течности према извршном органу, потребна су два радна положаја: искључено и укључено. Ако је потребно имати и

функцију резервирања протока, онда је неопходно имати и трећи радни положај и слично. Обично је број радних положаја у примени 3 или 4.

Табела 2. Приказивање радних положаја разводника и њихове функције

Проточни положај (директан)	
Проточни положај (инверзан)	
Затворен положај	
Кратко спојени положај	
Слободни (пливајући) положај	
Проточни положај са пригушењем	

Број хидрауличних прикључака је различит и шематски се приказује као линије на контури правоугаоника (слика 17).



Слика 17. Приказивање хидрауличних прикључака разводника

Означивање прикључака на разводнику је стандардизовано ISO или националним стандардом и односи се на прикључак:

- довода радне течности се означава са Р (или 1),
- за одвод радне течности ка резервоару се може означити са R, S, Т (3, 5, ...) и
- за водове хидрауличних извршних органа који се означава са А, В, С (2, 4, ...).

Означивање разводника се врши по систему, **разводник х/у:**

- х – број прикључка,
- у – број положаја укључивања.

Начин активирања разводника у одговарајући радни положај може бити:

- директан (активирање се врши непосредним деловањем на разводник) и
- индиректним (активирање се врши посредним путем помоћу датог система).

Активирање разводника детаљно је приказано у табели 3, а може се извести на следећи начин:

- мануелно,
- механичко,
- хидраулично (пнеуматско),
- електрично и
- комбиновано.

Табела 3. Начин активирања разводника и њихова шематска интерпретација

Мануелно – уопштен симбол	
Мануелно – дугметом	
Мануелно – полугом	
Мануелно – педалом	
Механичко - тастером	
Механичко - опругом	
Механичко – точкићем/тастером	
Механичко - точкићем/тастером са повратком у првобитни положај	
Механичко - забрављивањем	
Хидраулично	
Пнеуматско	
Електрично – електромагнетом са једним намотајем	
Електрично – електромагнетом са два истовремена намотаја	
Електрично – електромотором	
Комбиновано – електромагнетом и хидраулично	
Комбиновано - електромагнетом или хидраулично	

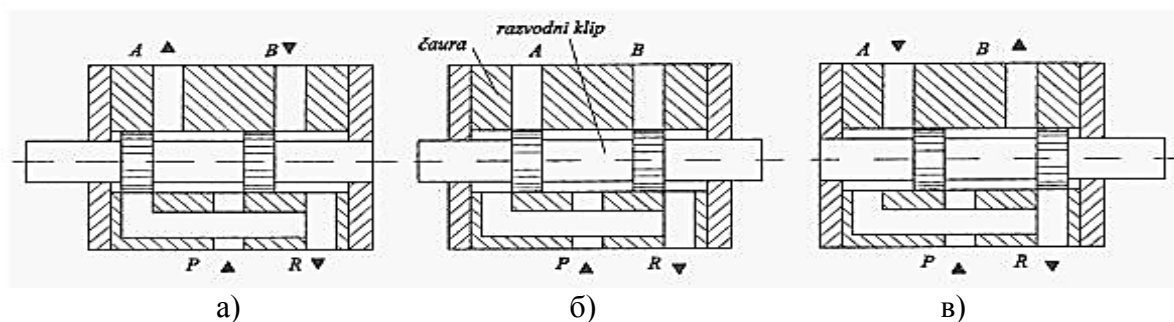
Када су у питању разводници у киперским инсталацијама, најчешће се сусрећу са механичким, електромагнетим и пнеуматским активирањем.

3.8 Основне функције клипних разводника

Конструкцију клипних разводника сачињавају тело разводника у коме се налазе чаура и клип (слика 18). Аксијалним померањем клипа се врши отварање и затварање проточних отвора, чиме се остварује функција разводника [3].

На слици 18 се могу уочити путеви протицања радног флуида у клипном разводнику који има 3 радна положаја и 4 прикључка (разводник 4/3). Прикључци су изведени као:

- Р – прикључак за напајање,
- Р – прикључак за повратни вод (резервоар) и
- А, В – радни прикључци (ка извршним органима).



Слика 18. Конструктивни приказ клипног разводника

Радни положај на клипном разводнику зависи од положаја клипа. Уколико је:

- а) клип у крајњем левом положају, спојени су прикључци $P \rightarrow A$, $B \rightarrow R$,
- б) клип у средишњем положају (нулти положај) где нема протицања радног флуида, радни прикључци P , R , A , B нису спојени и
- в) клип у крајњем десном положају, спојени су прикључци $P \rightarrow A$, $B \rightarrow R$.

Постављање клипа у међуположај омогућава разводнику и друге функције попут пригушавања протока. Чаура и разводни клип су обрађени врло уским толеранцијама и финим обрадама површина. Заптивање склопа се изводи радијалним зазором клипа и чаура чиме се осигурава ефикасно подмазивање, смањење трења и хабања. Радијални зазор је неопходан јер омогућава кретање клипа у телу разводника, а и неопходан је због дилатација услед промена температуре. Клип разводног вентила се изводи тако да поседује прстенасте жлебове направљене по ободу додирних површина, тако да се створе хидраулични отпори и смање губици услед истицања кроз fine зазоре када долази до губитка протока и пада притиска на разводнику.

Повећање зазора услед истрошености доводи до повећаног истицања хидрауличне течности, што је показатељ за стање у којем се налази клип разводника. Добра филтрација радног флуида може смањити хабање и спречити заглављивање разводника.

3.9 Неповратни вентил

Неповратни вентили су вентили који обављају функцију разођења радне течности у хидрауличним системима, тако што дозвољавају струјање радне течности у једном смеру, а у супротном смеру га потпуно блокирају или дозвољавају струјање под посебним условима.

Основну конструкцију чини неповратни вентил дирекног дејства који аутономно (без дејства спољашњег сигнала активирања) дозвољава струјање радне течности у једном смеру, а у супротном смеру потпуно блокира њено струјање. У неутралном положају, затварачки елемент ових вентила (који се изводи у облику кугле, конуса, плоче), под дејством силе у опрузи или сопствене тежине, налази се у положају који не омогућава струјање радне течности кроз вентил. Пригушни отвор вентила се отвара под дејством разлике притиска радне течности на одговарајуће површине затварачког елемента, што омогућава протицање радне течности кроз вентил [3].

Из основне конструкције неповратног вентила, у зависности од намене, изведено је мноштво различитих конструкција, а најчешће коришћена решења су:

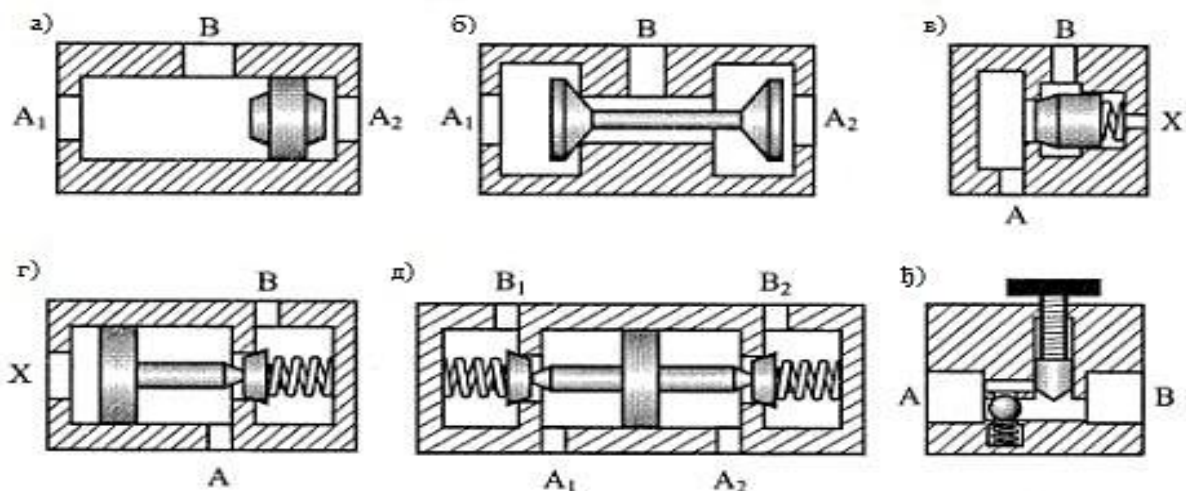
а) наизменично неповратни вентил (ИЛИ вентил) (слика 19 - а), који омогућава аутоматско снабдевање хидрауличног система из било ког од два неизвесна извора енергије струјање радне течности;

б) неповратни вентил са обостраним притиском (И вентил) (слика 19 - б) не дозвољава протицање радног флуида ако му се флуид под притиском доводи само са једне стране (само ако се са обе стране доводи радна течност под притиском, радне течности ће протицати кроз вентил и то са стране прикључка у којем радна течност има мањи притисак);

в) хидрулично управљани неповратни вентил (блокирајући вентил) је неповратни вентил чије се блокирајуће дејство може остварити принудним померањем затварачког елемента у затворен положај (слика 19 - в) или одстранити принудним померањем затварачког елемента у отвореном положају (слика 19 - г);

г) хидраулично управљани двоструки неповратни вентил (двоструко блокирајући вентил) користи се за блокирање положаја клипа хидроцилиндра двосмерног дејства (слика 19 - д);

д) пригушено-неповратни вентил, који представља комбинацију пригушених и неповратних вентила, омогућавају слободно струјање у једном смеру, док је струјање у супротном смеру пригушено (слика 19 - ђ).



Слика 19. Конструкције настале из основне варијанте неповратног вентила
а) наизменичног неповратног вентила, б) неповратни вентил са обостраним притиском,
в) хидраулично управљани неповратни вентил, г) хидраулично управљани неповратни
вентил, д) двоструки блокирајући вентил, е) пригушено-неповратни вентил

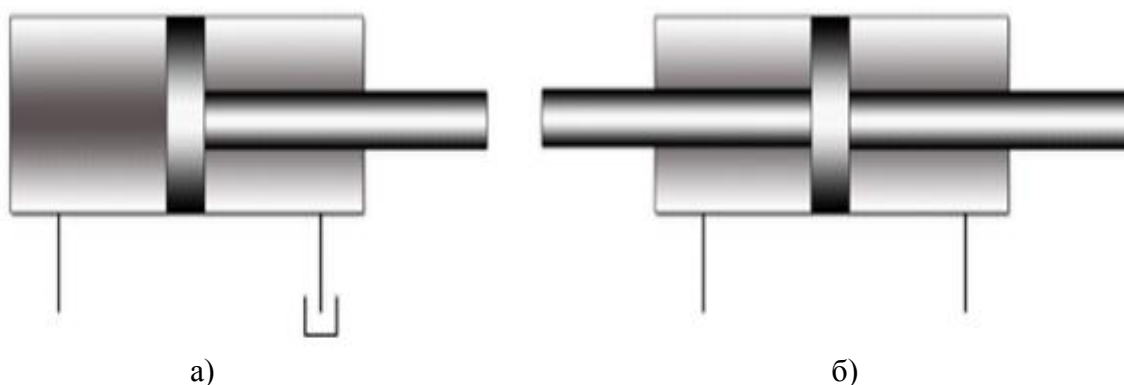
3.10 Хидроцилиндри

Хидроцилиндри или како их још зову линеарни хидраулични мотори, су хидраулични извршни органи који у општем случају дају линеарну силу наизменичним праволинијским кретањем клипа, тј. претварају хидрауличну енергију у механички рад. У техници имају огромну примену и саставни су део скоро сваке хидрауличне машине: дизалице, багера, ровокопача и лифтова. У камионским надоградњама хидроцилиндри су органи који савлађују терет киперског сандука. Снага коју хидроцилиндри троше за

своју функцију доводи се путем радног флуида (уља) под притиском који обезбеђује пумпа [5]. Општа подела хидроцилиндра узима у обзир смер деловања радног флуида, па тако постоје:

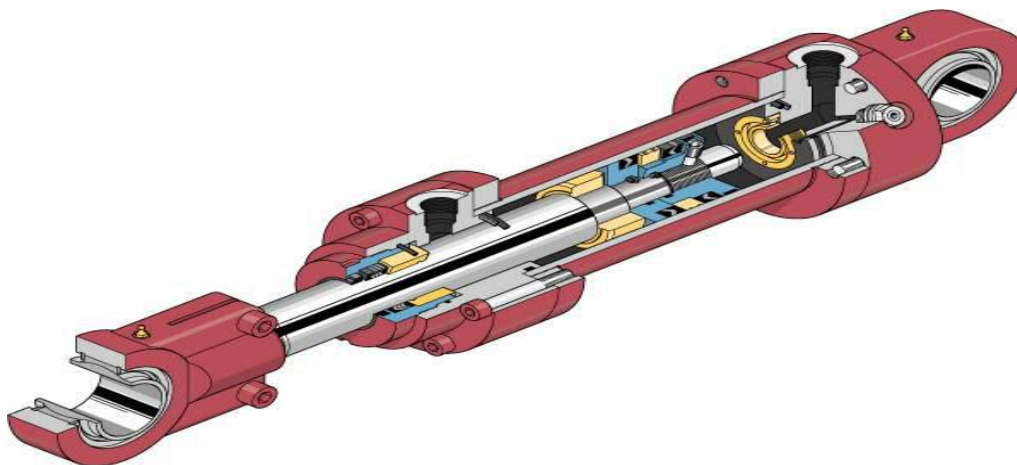
- цилиндри једносмерног дејства и
- цилиндри двосмерног дејства.

Код цилиндра једносмерног дејства, радни флуид покреће клип само у једну страну, док је повратни ход под дејством сопствене тежине, или неке друге силе (опруге). Код цилиндра двосмерног дејства радни флуид обезбеђује кретање клипа на обе стране. У зависности да ли клипњача излази из цилиндра само са једне стране или обе стране, постоје цилиндри са једностраном или двостраном клипњачом приказани на слици 20. Ако је неопходно остварити веће силе на клипњачи уз ограничену величину пречника клипа хидроцилиндра, или у радном ходу треба деловати двама силама различитог интензитета, примењују се тандем хидроцилиндри.



Слика 20. Шематски приказ хидрауличног цилиндра а) једностраног цилиндра једносмерног дејства, б) двостраног цилиндра двосмерног дејства

Поред силе која се користи као излазни параметар, за инжењерску примену су битни и геометријски параметри које диктира конструкција у коју се уграђују. То су пре свега дужина у склопљеном и расклопљеном стању, пречник клипа као и начин ослањања и причвршћивања. Конструкција хидроцилиндра је приказана на слици 21.



Слика 21. Изглед пресека двостраног хидрауличног цилиндра

Састоји се од кућишта у које су смештени клип, клипњача, елементи за заптивање, прикључци и елементи за везу. Кућиште је цилиндричног облика затвореног на својим крајевима поклопцем који се специјално прорачунавају тако да могу издржати притисак инсталације. Унутрашњост је обрађена најчешће хоновањем (фино брушење) чиме се обезбеђује идеално налегање клипа који дели комору кућишта на два дела. Само заптивање се врши монтирањем прстенова или манжетни које омогућавају заптивање клипа и спречавају прелазак радног флуида под притиском из једне у другу комору. Да би се обезбедио дуг животни век, површина клипа се обрађује (хромирање или никловање) чиме се поспешују антикорозивна својства [3].

3.11 Резервоари

Резервоари су компоненте чија је основна функција обезбеђивање простора за смештај потребне запремине радне течности. Поред основне функције, резервоари обављају додатне задатке:

- хлађење радне течности,
- издвајање ваздуха из радне течности,
- издвајање воде и механичких нечистоћа из радне течности и
- понекад поклопац резервоара служи и за ношење пумпног агрегата.

Резервоари се изводе као отворени, код којих је притисак радне течности атмосферски, и знатно ређе, као затворени, код којих је радна течност под притиском. Величина резервоара се бира анализирајући могућност хлађења радне течности и издвајање ваздуха из резервоара. Препоруке за избор димензија резервоара узимајући у обзир могућност хлађења су:

1. Код мобилних постројења

- да запремина резервоара буде за 50 % већа од запремине свих хидроцилиндара или
- да запремина резервоара буде за 50 % већа од минималног протока свих пумпи у систему.

2. Код стационарних постројења

- где се примењује природно хлађење радне течности, а уређај ради повремено и
- запремина резервоара треба да је три пута већа од минималног протока свих пумпи у систему.

Резервоари су уређаји у које се смешта потребна количина радног флуида за исправно функционисање хидрауличног система. Поред ове функције, у резервоарима се обавља таложење чврстих честица нечистоће и воде, као и издвајање гасова из хидрауличног уља без последица за хидраулични систем. Због велике површине зидова резервоара, затим преградних зидова у њему, омогућено је природно хлађење радног флуида и очување потребне радне температуре [3].

Класификација резервоара врши се на основу следећих критеријума:

- запремина резервоара (може бити од 10 ÷ 200 литара),
- присуство филтера за пречишћавање нечистоћа (са и без њега),
- материјал израде резервоара (пластични, алуминијумски или метални) и
- облик резервоара (хоризонтални или вертикални).

На резервоар се поставља наливно грло и показивач нивоа радног флуида, а са доње стране се налази чеп за испуштање уља. На слици 22 приказани су неки од резервоара.



Слика 22. Изглед резервоара

4. МЕТОДОЛОГИЈА АНАЛИЗЕ СТАБЛА ОТКАЗА

4.1 Основни појмови, значај и примена

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

Ова метода развијена је раних шездесетих година 20. века у САД-у. Творац ове методе је Вотсон (H. A. Watson) из фирме "Bell Telephone Laboratories". Он је у току 1961. и 1962. године разрадио и применио ову методу у анализи сигурности система за лансирање ракета типа "Minuteman", за потребе ратног ваздухопловства САД-а. Први радови који су се појавили везани за ову методу су реферати Хесла, Шредера и Џексона (D. F. Haasl, R. J. Shreder i V. R. Jakson) фирме "Boeing" на симпозијуму о поузданости Државног Универзитета у Вашингтону 1965. године. Та година се уједно сматра као време када је метода FTA добила свој данашњи облик. Због тога се у литератури из предметне области може наћи да је структурну формализацију конструкције стабла отказа извршио Хесл 1965. године.

Од средине шездесетих година прошлог века до данас метода Анализе стабла отказа се широко примењује за истраживање поузданости, сигурности и за дијагностику отказа великог броја сложених техничких система.

Метода Анализе стабла отказа се користи при формирању логичко-вероватносног графичког модела поузданости. Омогућава истраживање узрочно-последичних веза отказа елемента. Помоћу стабла отказа могуће је истовремено анализирати поузданост и сигурност функционисања и одређивати прикладне мере за побољшање тих показатеља у свим фазама животног века производа [6].

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

Три основне фазе животног века система у којима се примењује анализа отказа су: пројектовање, производња, и експлатација. Најкорисније и уједно и најкомпликованије је вршити анализу отказа система у фази пројектовања. Најпре је потребно да се што реалније сагледају могући откази и њихови узрочници. Анализа се даље усложњава потребом да се предвиде или открију: последице сваког појединачног отказа; међусобна зависност појединих отказа; утицај отказа на функционалне карактеристике система, безбедност руковоаца и околину; вероватноће појаве појединих отказа; и у

крајњем кораку критичност, тј. значајност сваког појединачног отказа у односу на отказ система. До сазнања ових података долази се неком од метода анализе отказа.

Развијене методе анализе отказа су у основи сличне, а често се између себе надовезују и надопуњују. Разлике се огледају у свеобухватности појединих метода у односу на друге и конкретним решењима сваке од њих. Све ове методе се заснивају на истој полазној основи, детаљном опису и анализи конструкције, као и начина функционисања проучаваног система, укључујући све елементе система и њихове међусобне везе [7]. На основу овога и на основу одговора које треба да да анализа отказа, види се да је за примену метода анализе отказа потребно много знања, искуства, полазних информација и снажне банке података.

По дефинисању вршног догађаја, врши се анализа почев од врха, тј. од отказа целог система, па на доле према подсистемима и саставним елементима. У основи, метода ФТА представља логичко појављивање и праћење уоченог отказа преко дијаграма у коме се користе логичке капије ради утврђивања односа између улазних и излазних догађаја. У овој анализи увек се полази од нежељених догађаја система, који се откривају индуктивном анализом или интуицијом [1].

Нежељени догађај је онај који се жели спречити и који је од примарног значаја, а који представља нежељени резултат. Логична и комплетна анализа, може се извршити само потпуним познавањем система, његових саставних елемената и података и њихових међусобних односа. Све информације треба да се прибаве и испитају. Таква документа обухватају: шематске цртеже, технолошке шеме поступка, дијаграме, приручнике за рад и одржавање. Прво се излаже како систем који се разматра треба да функционише када нормално ради. На основу овог прегледа могу се набројати начини на које елементи система могу да откажу, чиме се доводи до нежељеног догађаја. Вођење евиденције о незгодама које су довеле до слабог учинка у производњи или неочекиваних прекида рада могу бити корисне. То је обично приказано у извештајима о производњи и одржавању, односно у техничким извештајима. Из оваквих извештаја може се добити увид о узроку лошег функционисања и производних губитака.

Према овим документима могу се одредити вредности вероватноће код улазних догађаја, што ће омогућити да се израчуна вероватноћа нежељеног догађаја. При овоме треба бити обазрив код одређивања вредности вероватноће за случај да је у питању људски фактор. Након што је назначен нежељени догађај, саставља се аналитичка шема користећи логичка кола и стандардизоване симболе догађаја. Мора се ићи одговарајућом логиком да би се обезбедило да сви догађаји задовоље потребне и довољне критеријуме. Сваки догађај је битан за логику шеме, а ни једна друга информација није потребна да би се добио наведени излаз.

Сви остали догађаји су искључени као небитни или су додати основном или нижем реду. Овакав поступак доводи до развоја шеме отказа са Буловим логичким колима које међусобно повезују догађаје који би могли дати наведени излаз. Добијена шема отказа треба да задовољава намењене сврхе. Функционисање система треба да буде потпуно јасно описано, док догађаји на улазу у логичка кола треба да буду потребни и довољни. После усвајања шеме стабла отказа, њено проучавање може бити како квалитативно тако и квантитативно.

Квалитативне оцене се односе на повезивање путева са нежељеним догађајем. Уколико је потребно предлажу се промене у систему. При овоме, уграђују се одговарајући ризици као и примена најефикасније контроле за спречавање нежељеног догађаја.

Квантитативне процене се врше применом одговарајућих статистичких техника, да би се одредила вероватноћа нежељеног догађаја помоћу ових могућих путева. Из добијених резултата, могу се предложити разне препоруке и алтернативна решења, корективне измене, одлуке о контроли поступка производње, модификацији, поправци и преузимању ризика. Након дефинисања нежељеног догађаја, у следећи нижи ред шема сврставају се они догађаји који су неопходни за одстрањење нежељеног догађаја. Затим се по реду сваки од ових догађаја раздваја на саставне делове да би се открили они догађаји који доприносе појави нежељеног догађаја [2].

Због своје систематичности и логичне повезаности догађаја, FTA је једна од најчешће коришћених метода за анализу отказа и то нарочито у фази пројектовања. Има примену у скоро свим техничким системима. Ова метода је нарочито погодна за анализу поузданости и сигурности система, чији би откази довели до катастрофалних последица по људе и животну средину (нуклеарни реактори, авио индустрија, нафтне платформе итд.).

4.2 Методологија анализе стабла отказа

Шематски приказ методологије анализе стабла отказа (слика 23) обухвата [7]:

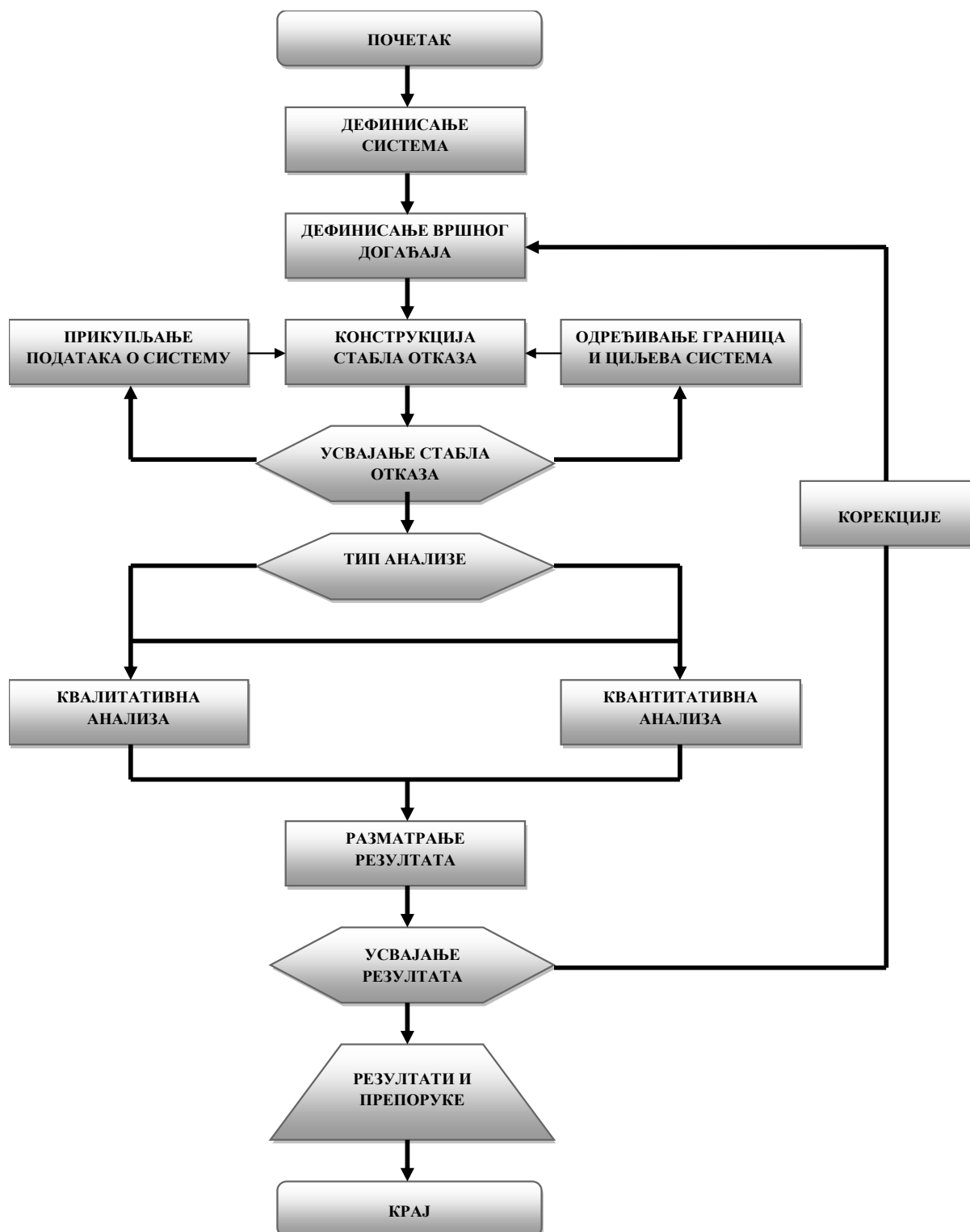
1. Дефинисање система. (Конкретно, у овом раду биће проучаван подсистем горње платформе као део сложеног машинског система шлепа за аутонавоз);

2. Дефинисање вршног догађаја. (Вршни догађај мора бити у потпуности дефинисан. Зависно од тога да ли се стабло отказа користи за анализу безбедности или пак анализу поузданости система, вршни догађај се бира тако да то буде ризичан догађај или једноставно нежељени резултат.);

3. Упознавање начина рада система који се анализира. (Само потпуним упознавањем начина рада система – његових граница, циљева, саставних елемената, као и међусобног односа и веза, може се извршити комплетна анализа којом се повезују сви потребни и довољни услови за реализацију вршног догађаја. Опис система требало би да буде саставни део у документацији спроведене анализе, а пожељно је описати и правилно функционисање система.);

4. Конструкција стабла отказа. (По дефинисању вршног догађаја и упознавању са стимемом, аналитичар формира стабло отказа користећи логичке капије и стандардизоване симболе догађаја и преноса. У симболе се уносе описи догађаја, који треба да буду јасни и једноставни због лакшег разумевања и праћења даљег “раста” стабла. Небитне догађаје није потребно даље развијати – као симбол за догађај који даље није развијен користи се ромб.);

5. Провера и усвајање стабла отказа. (По завршетку конструкције приступа се контроли тачности стабла, како би се утврдило да ли има пропуста или грешака, с обзиром да морају бити задовољни: намена стабла, функционална условљеност и логика реализације вршног догађаја. У овом кораку пожељна је консултација са колегама које нису учествовале у конструкцији стабла отказа, да би се обезбедила права процена ризика. Ако се утврди да стабло отказа није задовољавајуће, врше се одговарајуће модификације.);



Слика 23. Методологија анализе стабла отказа

6. Тип анализе. (После усвајања стабла, врши се квалитативна и/или квантитативна анализа стабла отказа. Квалитативна анализа представља одређивање минималног скупа пресека који условљавају појаву вршног догађаја. Претходно се сваки догађај у стаблу отказа обележава Буловом променљивом. Квантитативној анализи претходи одређивање или процена средњег времена рада до појаве отказа означеног као вршни догађај.);

7. Разматрање резултата. (Резултате добијене на основу анализе потребно је размотрити и проценити да ли одговарају постављеним и траженим захтевима на почетку анализе.);

8. Усвајање резултата (Уколико аналитичар није задовољан добијеним резултатима или њиховом потпуношћу, у овом кораку доноси одлуку о спровођењу извесних корективних акција. Ове корекције се спроводе све док се не добије задовољавајући резултат.);

9. Резултати и препоруке. (На основу добијених и усвојених резултата могу се дати разне препоруке и алтернативна решења, што је уједно и крајњи циљ примене ФТА.).

Методологија анализе стабла отказа (ФТА) обухвата одређивање нежељеног догађаја, упознавање рада система који треба да се анализира, конструисање шеме стабла отказа, усвајање стабла отказа, оцену структурне шеме, обезбеђење препорука и алтернатива за доношење одлука.

4.3 Символи стабла отказа

Формирање (конструкција) стабла отказа се врши помоћу симбола за догађаје, логичке капије и пренос. Снага симболике стабла отказа лежи у чињеници да 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 означавају међусобну условљеност и повезаност догађаја нижег и вишег нивоа [6]. Најчешће коришћени симболи стабла отказа представљени су у табели 4.

Поред симбола логичких капија наведених у табели 4, постоји читав низ других мање коришћених симбола, као што су приоритетна "I" капија, искључива "ILI" капија итд. Символи 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.

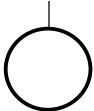
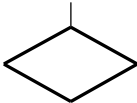
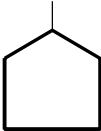
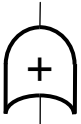
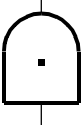
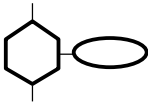
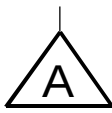
На основу табеле 4 може се уочити три врсте симбола:

1. Символи догађаја (1, 2, 3, 4 и 5) Ови симболи говоре о врсти догађаја, а у њих се уноси опис догађаја.

2. Символи логичких капија (4 и 5) Ови симболи дају логичку везу између улазних и излазних догађаја. Могу се схватити као редна (4) или паралелна (5) веза узајамних догађаја.

3. Символи преноса (6 и 7) Они се користе да би се избегло дуплирање у стаблу отказа или да би ток информација био прегледнији.

Табела 4. Симболи за догађаје, логичке капије и пренос

Ред. бр.	Назив симбола	Графички приказ	Опис
1	Вршни или посредни догађај		Правоугаоник означава догађај на излазу из логичке капије (вршни или посредни), који се јавља као последица логичке комбинације улазних догађаја. Садржи опис догађаја.
2	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 у тој тачки.
3	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.
4	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.
5	Условни догађај		"Овал" означава условни догађај дефинисан у облику специфицираних услова или ограничења. Обично се примењује у комбинацији са логичким капијама.
6	"ILI" капија		Логичка капија која производи излаз ако се деси један или више улазних догађаја. (Излазни догађај капије "ILI" дешава се ако се деси бар један улазни догађај.) Графички симбол садржи идентификациони знак "+" или "ILI".
7	"I" капија		Логичка капија која производи излаз само ако се десе сви улазни догађаји. (Излазни догађај капије "I" дешава се тада и само тада када се десе сви улазни догађаји.) Графички симбол садржи идентификациони знак "x" или "I".
8	Блокирајућа капија		Улазни догађај у блокирајућу логичку капију доводи до реализације излазног догађаја само у случају ако је задовољен условни догађај.
9	Пренос "у"		Означава да је стабло даље развијено на догађај одговарајућег преноса "из" означен истим идентификационим великим словом (нпр. на другој страни).
10	Пренос "из"		Означава да се овај део стабла догађаја мора припојити на одговарајући пренос "у" означен истим идентификационим великим словом.

Аналитичка шема отказа треба да буде онолико једноставна колико то дозвољава сложеност система. Изградња логичке прогресије, врши се од нежељеног до базичних догађаја. Шема стабла отказа која се развија треба да буде логична. Исто тако није потребно развијати необичне догађаје чија је вероватноћа да се десе врло мала. Излаз из шеме стабла отказа може да буде онолико добар колико су добри улази у шему [2].

5. ФОРМИРАЊЕ СТАБЛА ОТКАЗА РАЗМАТРАНОГ ОБЈЕКТА

У зависности од начина груписања основних узрока вршног догађаја, односно од начина дефинисања подвршних догађаја, постоје три могућности формирања стабла догађаја. У првом случају, посредни догађаји у стаблу догађаја су стања одговарајућих структурних целина (хардверски-структурни приступ), у другом, догађаји који описују у ком смислу је дошло до догађаја на излазу из логичке капије и који су заједнички за више елемената без обзира на структурну припадност (функционални приступ). Трећа могућност представља комбинацију претходне две [8].

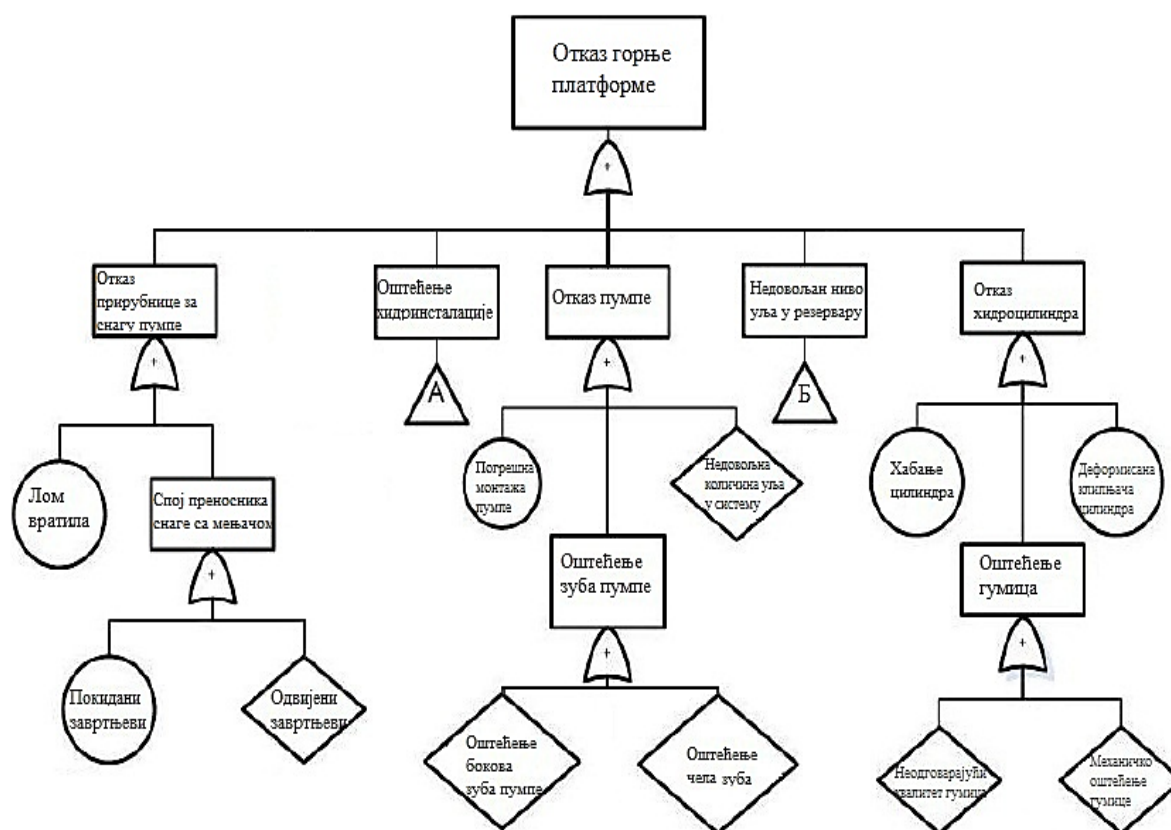
За формирање стабла отказа подизања горње платформе лаких и средњих моторних возила коришћен је функционални приступ. Вршни догађај у стаблу отказа дефинисан је као "Отказ подизања горње платформе", при чему се под тим подразумева потпуни или делимични губитак радне способности разматраног система. Треба нагласити да је један број посредних догађаја у стаблу отказа заједнички и за остале елементе система за подизање.

За евидентирање потенцијалних отказа, поред упутства произвођача за одржавање и контролне прегледе хидроцилиндара и пумпи у којима су дати начини идентификовања и отклањања потенцијалних отказа, као и детаљно описани проблеми у раду хидрауличних уређаја и поступци дијагностике узрока отказа. Разматрањем појединачних начина отказа елемената хидрауличног система за подизање горње платформе може се утврдити да се сви узрочни догађаји, који доводе до вршног догађаја, могу сврстати у пет посредних догађаја:

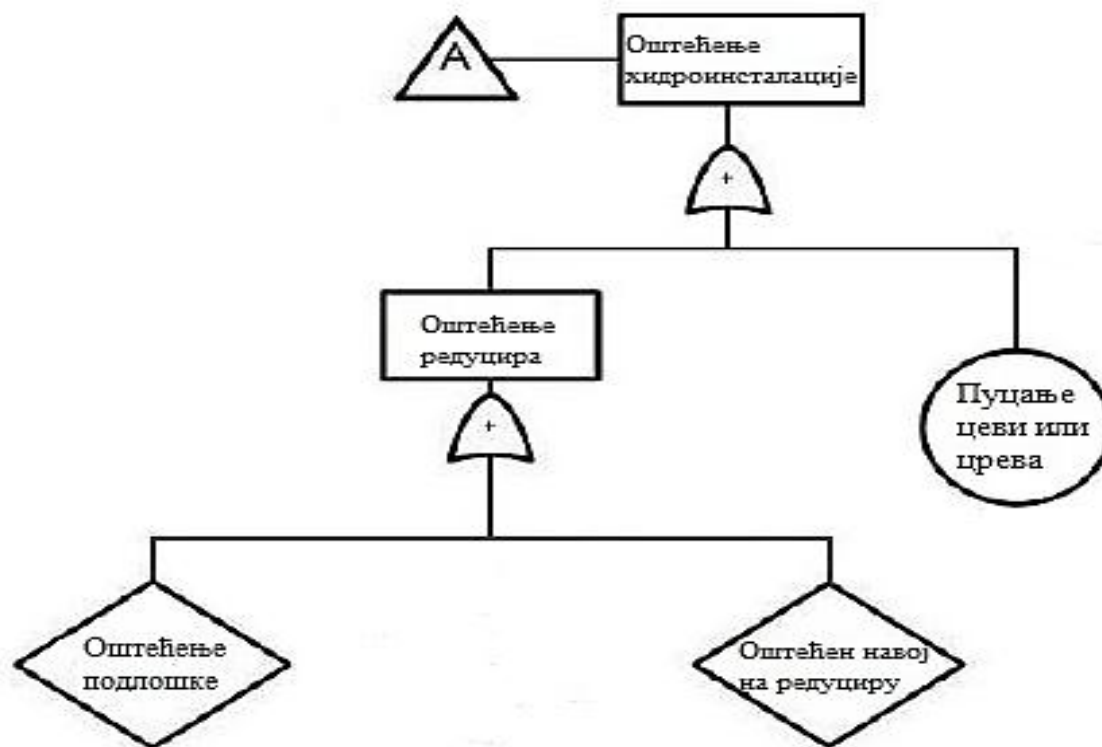
- отказ спојнице за снагу пумпе,
- оштећење хидроинсталације,
- отказ пумпе,
- недовољан ниво уља у резервоару и
- отказ хидроцилиндра.

Дедуктивном анализом наведених догађаја извршено је допуњавање стабла отказа узроцима који доводе до њих у виду грана стабла отказа. На тај начин, поред идентификовања и евидентирања потенцијалних начина отказа подизања горње платформе, успостављена је узрочна веза између базичних, посредних и вршног догађаја. У овом случају ради се о систему са редном везом елемената, прекидом једне карике у функционалном ланцу настаје потпуни отказ система за подизање. Узроци појаве овог догађаја најчешће су примарни откази (ломови) елемената (оштећење зуба пумпе, оштећење хидроцилиндра, оштећење хидроинсталације, отказ спојнице за снагу пумпе) настали услед замора, преоптерећења или ударних оптерећења [7].

У циљу вршења анализе формирано је стабло отказа и сви догађаји у стаблу отказа приказани су на слици 24.



Слика 24. Стабло отказа за догађај „Отказ система горње платформе”



Слика 25. Независно подстабло отказа за вршни догађај „Оштећење хидроинсталације”



Слика 26. Независно подстабло отказа за вршни догађај „Недовољан ниво уља у резервару”

Отказ прирубнице за снагу пумпе може бити лом вратила који даље није развијен. Отказ споја пумпе и мењача може да доводе даљим развијањем до узрока:

- покидани завртњеве који спајају преносник снаге са мењачем и
- одвијени завртњеве који доводе до раскида споја преносника снаге са мењачем.

Покидани завртњеве који спајају пумпу са мењачем могу отказати у случају када је материјал од којих су израђени мање затезне чврстоће од прописане или је завратањ преоптерећен превеликим моментом притезања, који може да доведе до кидања завртња.

Одвијени завртњеве који могу довести до раскида споја пумпе и мењача могу проузроковати недовољно остварење везе мењача са пумпом.

Отказ пумпе може бити погрешна монтажа пумпе чији догађај није развијен, или недовољна течност у резервару чији догађај се даље не развија због ниског ризика од отказа. Оштећење зуба пумпе може се даље развити на:

- оштећење бокова зуба пумпе и
- оштећење чела зуба.

Оштећење бокова и чела зуба пумпе може настати уколико зуби пумпе нису квалитетно термички обрађени или је употребљен погрешан материјал, због чега настаје убрзано хабање.

Отказ хидроцилиндра може настати хабањем цилиндра или деформисањем клипњаче цилиндра, ови догађаји не захтевају даље развијање. Оштећење гумица хидроцилиндра може настати због:

- неодговарајућег квалитета гумица и
- механичког оштећења гумица при раду цилиндра.

Неодговарајући квалитет гумица може имати као узрок лош избор гумица које нису одговарајућег квалитета прописаног стандардом или квалитет гумице није отпоран на уље које се користи (гумица набубри и долази до оштећења).

Механичко оштећење гумица може настати услед оштећења или похабаности цилиндра или неким од отказа елемената, као што је опруга која може приликом деформисања да оштети гумицу.

Оштећење хидроинсталације може настати услед пуцања цеви или црева и овај догађај нема потребе за даљим развијањем. Оштећење редуцира у хидроинсталацији може настати услед:

- оштећења подлошке редуцира и
- оштећења навоја редуцира.

Недовољан ниво уља у резервоару може да настане уколико у дужем временском периоду ниво уље није контролисано и доливано. Истицање уља из система настаје као последица:

- цурења уља на прикључцима,
- порозност варених спојева и
- лабав поклопац на резервоару.

6. КВАЛИТАТИВНА АНАЛИЗА СТАБЛА ОТКАЗА

Основне фазе квалитативне анализе стабла отказа [9] су:

- одређивање минималних скупова пресека,
- рангирање елемента по значајности и
- анализа заједничког узрока итд.

Прво је неопходно да се сваки догађај у формираном стаблу „Отказ система горње платформе” обележи одговарајућом Буловом променљивом (слика 27).

Ове променљиве се најчешће означавају као:

- вршни догађај – T („top event”),
- посредни догађај – $G_i, i=1, 2, 3, \dots$ („gates”) и
- базични догађаји – $E_j, j=1, 2, 3, \dots$ („events”) или $P_n, n=1, 2, 3, \dots$, и $S_m, m=1, 2, 3, \dots$ („primary” и „sekundary” events).

Проучавано стабло отказа се састоји од 10 посредних и 18 базичних догађаја (7 примарних и 11 секундарних). Прва фаза квалитативне анализе стабла отказа јесте добијање минималних скупова пресека. Под скупом пресека подразумева се скуп догађаја који узрокује вршни догађај, а под минималним скупом пресека минимални скуп догађаја који се не може даље редуковати, а који узрокује вршни догађај.

До минималних скупова пресека долази се путем следећа три корака:

1. На основу стабла отказа пишу се Булове једначине за свако логичко коло у стаблу отказа. Сваком колу одговара једна једначина. За дати пример важи:

$$\begin{aligned}
 T &= G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 \\
 G_1 &= G_6 + P_1 \\
 G_6 &= P_6 + S_3 \\
 G_2 &= G_7 + P_2 \\
 G_7 &= S_4 + S_5 \\
 G_3 &= G_8 + P_3 + S_1 \\
 G_8 &= S_6 + S_7 \\
 G_4 &= G_9 + S_2 \\
 G_9 &= S_8 + P_7 + S_9 \\
 G_5 &= G_{10} + P_4 + P_5 \\
 G_{10} &= S_{10} + S_{11}
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

2. Вршити замену израза за посредне догађаје све док израз за вршни догађај не буде само у функцији базичних догађаја. Конкретан пример садржи само унију базичних догађаја, те је у циљу рационализације могуће написати израз за вршни догађај као:

$$T = \sum_{i=1}^7 P_i + \sum_{j=1}^{11} S_j. \tag{6.2}$$

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

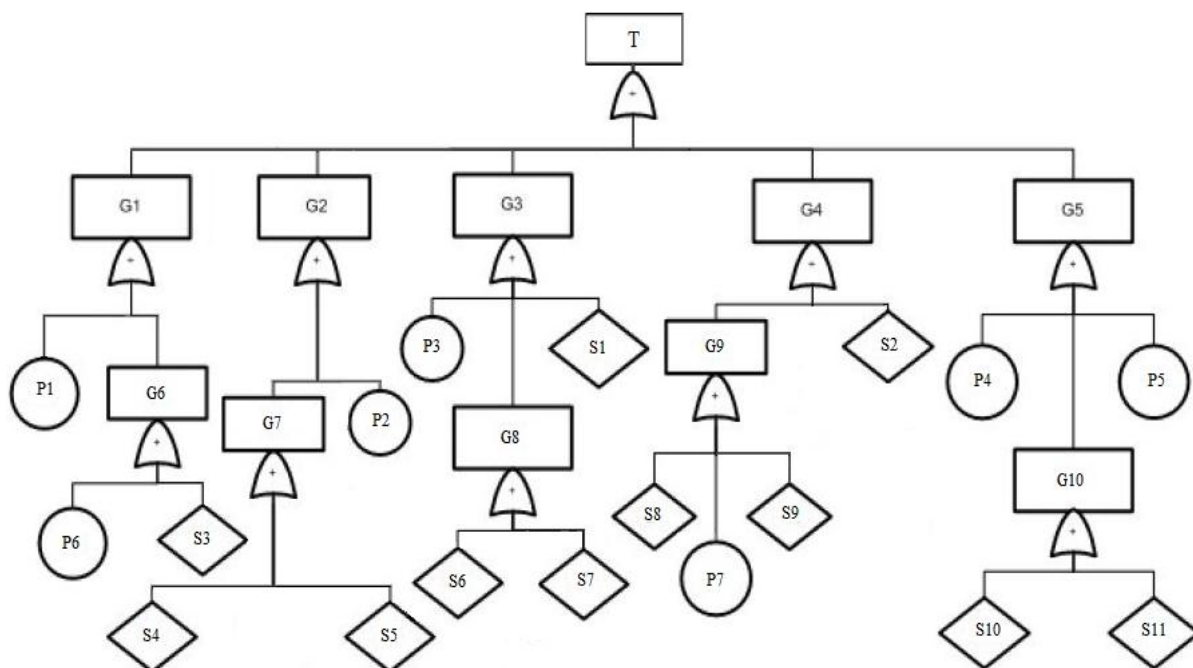
Применом описаног поступка на крају другог корака добијају се сви скупови пресека стабла, а на крају трећег корака сви минимални скупови пресека стабла. Другим речима, резултат корака два је дисјунктивна нормална форма, а резултат корака три минимална дисјунктивна нормална форма. Појам минимални скуп пресека везује се само за поменута кохерентна стабла отказа и њиховим добијањем завршена је прва и најважнија фаза квалитативне анализе.

Друга фаза квалитативне анализе стабла отказа се састоји у рангирању добијених минималних скупова пресека према броју чланова, тако што се на врх ставе они са најмањим, а на дно они са највећим бројем чланова. Затим је потребно анализирати значај сваког појединачног догађаја.

Веома велику улогу у квалитативној анализи стабла отказа има анализа заједничког узрока. Њоме се анализира понашање система који је подвргнут специјалним условима и секундарним узроцима. Секундарни узрок је онај догађај који може да допринесе појављивању неколико базичних догађаја у стаблу отказа.

Код подсистема горње платформе, сви секундарни узроци који доводе до базичних догађаја могу се сврстати у четири категорије [8]:

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



Слика 27. Развијање вршног догађаја „Отказа система за подизање платформе” преко посредних, до базичних догађаја

Ако се узме у обзир број елемената у систему, односно потенцијални број појављивања појединих начина отказа, добија се да проучавано стабло отказа садржи 7 примарних и 11 секундарних догађаја.

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

- услед неблаговременог одржавања настаје скуп догађаја:

$$A = (2S_3, P_2, 2S_4, 3S_1, S_6, S_2, S_9),$$

- услед дефектне израде настаје скуп догађаја:

$$B = (P_3, P_7, S_{10}),$$

- услед старења настаје скуп догађаја:

$$C = (P_4, 2S_5, 2S_7, 2S_{11}) \text{ и}$$

- услед преоптерећења система настаје скуп догађаја:

$$D = (P_1, P_6, S_8, P_5).$$

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

$T = (11 \text{ догађаја категорије } A, 3 \text{ догађаја категорије } B, 7 \text{ догађаја категорије } C, 4 \text{ догађаја категорије } D).$

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

$$\begin{aligned} RU_A &= \frac{A}{X} = \frac{11}{25} = 0,44, \\ RU_B &= \frac{B}{X} = \frac{3}{25} = 0,12, \\ RU_C &= \frac{C}{X} = \frac{7}{25} = 0,28 \text{ и} \\ RU_D &= \frac{D}{X} = \frac{4}{25} = 0,16, \end{aligned} \tag{6.3}$$

где је:

$$X = A+B+C+D, \tag{6.4}$$

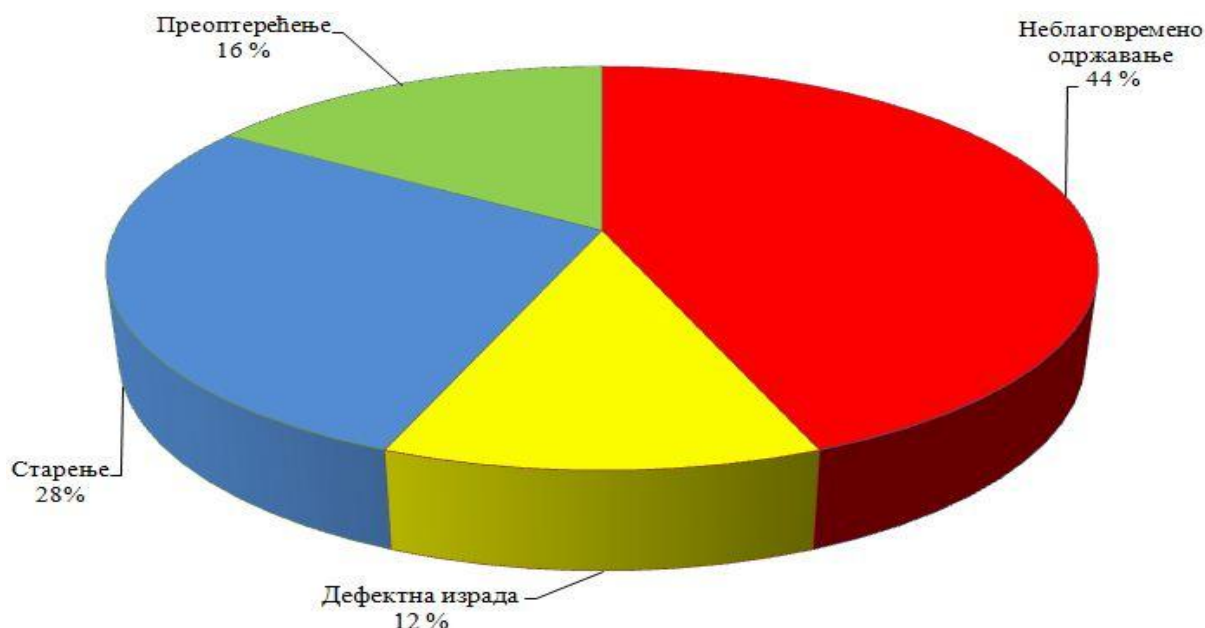
при чему је:

$$\sum_{i=A}^D RU_i = 1. \tag{6.5}$$

Графички приказ процентуланог учешћа секундарних узрока базичних догађаја дат је на слици 28.

На основу добијених података примећује се да највећи број елемената (44%) отказује услед неблаговремено одржавања, следећи узрок који највише доводи до отказа система је старење (28%), затим преоптерећење (16%) и дефектна израда (12%).

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



Слика 28. Дијаграм процентуалног учешћа секундарних узрока базичних догађаја

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

Повећањем трајне динамичке чврстоће материјала, или на пример повећањем отпорности на хабање додирних површина делова који се налазе у релативном кретању и слично, може се утицати на смањење или чак потпуно елиминисање отказа услед старења. Један од потенцијалних узрока убрзаног старења ове конструкције (платформе) и појединих елемената система за подизање је корозија.

Челична конструкција је подложна оксидацији и сматра се да значајан проценат масе објеката и машина у свету, нестаје годишње услед корозије. Посебно су корозији изложене конструкције под дејством атмосферских утицаја. Корозија је последица хемијских или електрохемијских реакција изазваних реакцијом са околином. Да би се корозија спречила користе се специјалне превлаке. Превлаке се деле на неметалне и превлаке са металима. Премази су ограниченог трајања. Припрема површина остварује се чишћењем које се изводи механичким поступцима чишћења, пескарењем или гасним пламеном. Средства - премази се састоје од сувог пигмента (сива боја), везивног средства (ланеног уља), додаци за згрушавање и додаци за убрзање сушења. Премази се изводе у више слојева.

Основни премаз штити од корозије, додатни штите основни премаз од механичког оштећења. Основни премаз од оловног минијума наноси се у два слоја. Заштитни слој је од оловног или цинковог белила, графита и алуминијума. Наношење превлака се врши премазивањем, прскањем и умакањем. Најефикасније наношење је премазивањем. Заштита прскањем се изводи када се штите велике површине и неприступачни простори. Бојење се изводи при одређеним климатским условима. Све површине се не премазују заштитним средствима. Додирне површине носећих спојева се премазују фрикционим материјалима. Заштитни премази имају трајање. Суве површине у загрејаним просторијама трају 30 година. Покривене површине у

спољашњој атмосфери штите се на 20 година. Површине изложене атмосферским утицајима премазују се на 10 година.

Избор средства и његово трајање зависи и од радног амбијента, а он може бити оксидациони, са високом влажношћу, температуром и вибрацијама. Стандарди дефинишу дебљине превлака (масу по јединици површине), брзину сушења, начин испитивања, присуство хемијских састојака значајних за отпорност на оксидацију, зауљеност и друге особине.

Преоптерећење које се може јавити у одређеним случајевима навоза аутомобила приликом подизања настаје услед непредвиђених режима рада система као и утицаја спољашњих фактора. Уколико се систем користи на начин на који је предвиђено и препоручено као и уз прописано одржавање, откази условљени преоптерећењем неће представљати велики проблем.

Такође, побољшањем технолошке дисциплине и контроле квалитета у свим фазама израде и монтаже елемената система, може битно да се утиче на релативну заступљеност дефектне израде у узроцима отказа елемената система.

7. ЗАКЉУЧАК

Циљ овог рада био је откривање отказа система горње платформе шлеп возила, као нежељеног догађаја, који има директан утицај на смањење поузданости система, а самим тим и на његов лошији квалитет. Због тога у циљу спречавања или откривања појаве отказа, као и побољшања квалитета, било је неопходно изанализирати појмове као што су: начин, узрок, последица, вероватноћу појаве, критичности итд., и на основу њихове анализе препоручити најбоље превентивне и корективне мере, а у циљу спречавања или отклањања појаве отказа.

У свим фазама животног циклуса производа возила са дуплом (горњом) платформом могуће је применити анализу система отказа у циљу утврђивања критичних елемената система на којима треба применити адекватне мере да би се смањио ризик отказа. У раду анализиран је отказ горње платформе и разматрани су узроци и последице таквих отказа.

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

Анализа заједничког узрока базичних догађаја стабла отказа извршена је путем четири секундарна узрока. Најчешћи узрок отказа разматраног система представља неблаговремено одржавање од 44%. На другом месту са 28% је старење система, а затим на трећем месту се налази преоптерећење са 16%. На крају се налази дефектна израда са 12%. На основу анализе намећу се неколико праваца за повећање поузданости система. Могућност за повећање поузданости проучаваног система потребно је уочити најпре у фази пројектовања система, као и у фази његове експлоатације.

Приказан модел анализе отказа представља прегледно сређену аналитичку шему поузданости где је претходно дата систематизација размишљања о целокупном процесу на једном месту што олакшава примену у инжењерској пракси. Ово се посебно односи на логичке и комплексне анализе, како квалитативне тако и квантитативне, односно добијање комплетних информација о стању процеса. Информација о укупној вероватноћи нежељеног догађаја, односно функцији поузданости система, добија се помоћу свих могућих путева и вероватноће сваког детаља.

У односу на друге моделе које се у теорији и пракси примењују за решавање дате проблематике, очигледна је предност примене Булове алгебре и њених закона, где се описивање и повезивање могућих догађаја односно логичких односа изводи логичким колима I и II, односно стандардизованим симболима, и на крају логичким релацијама. При овоме мора се разумети логичка структура конструкције посматраног система.

Анализа је показала да је за вршни догађај „Отказ горње платформе при дизању првог возиле“ критичан елеменат система хидроцилиндар који, сем што може довести до отказа целог система, може и деформисати надградњу. У циљу смањења ризика планиране су мере које треба спровести да би се смањио ризик, односно повећао квалитет производа. Тако је предвиђено да се спроведу следеће мере:

- пре почетка утовара возач је дужан да провери да ли није дошло до оштећења хидроцилиндара (удар са бока у шлеп другог возила или стање везе са платформом),
- при дефинисању квалитета гумица при пројектовању и при квалитативном пријему тражити квалитет гуме који је отпоран на хидраулично уље које је у систему. У том циљу тражити од испоручиоца сертификат о квалитету и
- у току експлоатације пратити отказе где је узрок хидроцилинар.

Приказани модел омогућује доношење објективних одлука чиме се избегава просуђивање на основу интуиције које је понекад неоправдано присуство у пракси. Исто тако утврђују се основни фактори који доприносе лошој производњи, односно алтернативна решења, што може такође имати практичан значај.

Примена FTA методе омогућава детаљно упознавање разматраног техничког система са становишта појаве отказа. Анализа отказа је нарочито важна код техничких система, чији откази доводе до угрожавања безбедности људи. Формирањем стабла отказа за довољно општи вршни догађај може се евидентирати већина потенцијалних начина отказа елемената система, дефинисање стања система и за израду плана одржавања машинског система. У фази експлоатације производа, стабло отказа може да послужи као дијагностичко средство за утврђивање највероватнијих узрока насталог отказа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] **Ивановић Г., Поповић П., Стојковић М.,** Примена анализе стабла отказа у пројектовању моторног возила, Моторна возила и мотори, бр.92/93; 1990.
- [2] **Зеленовић Д., Станивуковић Д.,** Поузданост система, Факултет техничких наука, Нови Сад, 1979.
- [3] **Гордић Д.,** Пренос снаге флуидом – Хидраулика, Машински факултет у Крагујевцу, 2007.
- [4] <http://moodle.mfkg.rs/mod/resource/view.php?id=1545> преузето 9.9.2013.
- [5] **Бабић М., Стојковић С.,** Турбомашине, Издавачко предузеће „Просвета” д.д. Београд, 1997.
- [6] **Ћатић Д.,** Методе поузданости машинских система, Крагујевац, 2009.
- [7] **Кецојевић С., Ивановић Г., Камберовић Б.,** Методи анализе отказа, Квалитет и стандардизација, 1-2; 1993.
- [8] **Ћатић Д.,** Развој поступака убрзаних експерименталних испитивања за оцену поузданости система у машинству, Магистарски рад, Машински факултет, Крагујевац, 1995.
- [9] **Вујошевић М.,** Анализа стабла неисправности: преглед основних појмова и техника, Техника 38, 1983.