

**Факултет инжењерских наука  
Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Машинско инжењерство**

**Ниво студија: Мастер академске студије**

**Модул: Машинске конструкције и механизација**

**Предмет: Компјутерска анализа конструкција**

**Број индекса: 329/2014**

**Марко Б. Антонијевић**

**Коришћење софтвера  
Autodesk Simulation Mechanical  
у процесу развоја нових производа  
мастер рад**

**Комисија за преглед и одбрану:**

- Др Мирко Благојевић, ван.проф., - ментор
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

Датум одбране: \_\_\_\_\_

Оцена: \_\_\_\_\_

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да:

1. Истакне улогу и област примене стубних дизалица као значајних машина прекидног транспорта.
2. Анализира конструкцију дизалице и њених виталних елемената са пратећим погонским уређајима и механизмима који омогућавају извршавање основних операција.
3. Представи тродимензионални приказ изабране дизалице овог типа у одговарајућем софтверском пакету.

Препоручена литература:

- [1] С. Тошић: *Прорачун машина непрекидног транспорта и дизаличних уређаја*, Машински факултет, Београд, 2001.
- [2] В. Николић: *Машински елементи: теорија, прорачун, примери*, Машински факултет, Крагујевац, 2004.

Крагујевац, 2017.год.

ментор:

Др Мирко Благојевић, ван. проф.

**Резиме:** Подизање и транспорт терета имало је јако велики значај за човека још од праисторијских времена. У савременом друштву изградња стамбених, али и других објеката практично је незамислива без коришћења одговарајуће дизаличне конструкције.

У оквиру овог мастер рада извршена је конструкција и анализа монтажне грађевинске дизалице као и њених саставних елемената. Извршен је опис реалне конструкције брзомонтирајуће грађевинске дизалице, као и процеса монтаже, елевације и демонтаже.

Креирање тродимензионалног модела дизалице извршено је у софтверском пакету *Autodesk Inventor 2015*. Стабилност конструкције против превртања као и основни узроци настајања статичких и динамичких оптерећења анализирана је у софтверском пакету *Autodesk Simulation Mechanical 2015*.

**Кључне речи:** подизање терета, грађевинска дизалица, оптерећење, анализа конструкције.

---

**Abstract:** Hoisting and transporting material was always highly important for a man from ancient times. In modern society construction of residential, and other public buildings is practically unthinkable without employment of adequate crane structure.

Within this document the construction and analysis of a crane and its basic components have been performed. A description of the real construction of a quick-mounting construction crane has been performed, as well as the processes of assembly, elevation and dismantling.

Three-dimensional model was created in Autodesk Inventor 2015 software package. Structural stability against overturning and basic causes of static and dynamic loads has been analyzed in the software package Autodesk Simulation Mechanical 2015.

**Keywords:** hoisting, consturction crane, tower crane, load lifting, structural analysis.

**Изјављујем да сам овај мастер рад урадио самостално, служећи се стеченим знањем и искуством као и наведеном литературом.**

**329/2014 Марко Антонијевић**

## Садржај

|      |                                                                                           |    |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.   | Увод .....                                                                                | 7  |
| 2.   | Основна улога и подела дизаличних конструкција .....                                      | 7  |
| 3.   | Дизалице.....                                                                             | 7  |
| 4.   | Мобилне грађевинске дизалице – услови и захтеви за безбедан рад.....                      | 8  |
| 5.   | Технички задатак.....                                                                     | 9  |
| 6.   | Елементи дизаличних механизма .....                                                       | 10 |
| 7.   | Функција машине .....                                                                     | 11 |
| 8.   | Радна својства .....                                                                      | 11 |
| 9.   | Извршилац функција.....                                                                   | 12 |
| 10.  | Концепција решења.....                                                                    | 12 |
| 11.  | Конструкција грађевинске дизалице .....                                                   | 13 |
| 12.  | Конструкција машине .....                                                                 | 17 |
| 12.1 | Електромотор.....                                                                         | 17 |
| 13.  | Примена софтвера <i>Autodesk Simulation Mechanical</i> .....                              | 22 |
| 13.1 | Увод .....                                                                                | 22 |
| 13.2 | Подржане врсте анализа .....                                                              | 23 |
| 13.3 | Оптерећења .....                                                                          | 25 |
| 13.4 | Улога рачунара у МКЕ .....                                                                | 26 |
| 14.  | Приказ основних функција софтвера .....                                                   | 26 |
| 14.1 | Формирање модела за анализу.....                                                          | 27 |
| 14.2 | Кључне карактеристике корисничког интерфејса .....                                        | 29 |
| 15.  | Приказ анализе елемената грађевинске дизалице при раду.....                               | 30 |
| 16.  | Детаљни приказ оптерећења које је задато и понашање конструкције при том оптерећењу ..... | 32 |
| 17.  | Анализа добијених резултата .....                                                         | 46 |
|      | Закључак .....                                                                            | 49 |
|      | Литература.....                                                                           | 50 |

## **1. Увод**

Дизалице и остала транспортна средства човечанству су позната још од најранијих дана. Изградња грађевина старог Рима, Грчке и Египта не би била могућа без њихове примене. У наредним вековима дошло је до еволуције дизаличних конструкција. Данас постоји огроман број најразличитијих дизалица које се и даље убрзано усавршавају јер је потреба за већим и моћнијим дизалицама све већа.

## **2. Основна улога и подела дизаличних конструкција**

Вертикално подизање и спуштање терета праћено његовим хоризонталним померањима представља основну улогу дизаличне конструкције. Функционисање наведених механизма најчешће се остварује применом ужади и склопа (склопова) котурача. За дизалице је карактеристичан рад у циклусима, па се стога може рећи да оне спадају у машине прекидног транспорта. Може се извршити груба подела у неколико најосновнијих категорија [1]:

1. грађевинске дизалице,
2. аутодизалице,
3. порталне дизалице,
4. мосне дизалице,
5. конзолне дизалице и
6. остале неконвенционалне и једноставније конструкције.

## **3. Дизалице**

У релативно кратком временском периоду становиништво је од примитивних грађевинских дизалица дошло до невероватне техничке развијености која му је олакшала и унапредила обављање многобројних послова. Без машина и опреме ни једно подручје савременог инжењерства, као ни савремени човек, не може функционисати [1]. Човек је свој опстанак у природи, прилагођавање природе својим потребама и напредак морао да олакшава различитим средствима. Дизалице представљају једну од најбитнијих машина у инжењерству.

Оне данас постоје у многобројним облицима и свака од њих је прилагођена за специфичну употребу. Понекад величине варирају у распону од најмањих конзолних дизалица које се користе у радионицама, до највиших торањских дизалица, које се користе за градњу високих зграда.

Сматра се да је први кран направљен још 3000. године пре нове ере. Прве грађевинске дизалице су измислили стари Грци, оне су биле покретане људском снагом, а касније и животоњама. Кранови су коришћени у средњовековној архитектури од 11. па све до краја 12. века, а сачувани су цртежи са приказом кранова тек од 13. века. Кранови су били потребни у градњи готичким стилем који потиче из Француске и који се веома брзо проширио Европом. Употреба кранова је имала значајно место у изградњи великих европских катедрала. У овом периоду дошло је до развоја

специјалних кранова који су постављани на деловима грађевина које су већ биле завршене [1,2].

Овај кран састојао се од греда, прибора за дизање, блока и дизалице, као и од ручице за подизање, у комбинацији са точком. Дизалица (кран) је врста машине, опремљене уређајима, ужадима или ланцима, тако да се могу подизати тешке ствари и транспортовати их на друга места. Дизалице се најчешће користе у индустрији превоза за утовар и истовар терета, у грађевинарству за премештање.

Модерне дизалице обично користе моторе с унутрашњим сагоревањем или електромоторе и хидрауличне системе и имају много већу способност дизања од „примитивних“ дизалица које је покретао човек. Дизалице данас постоје у многобројним облицима где су прилагођене за специфичну употребу. Понекад величине варирају, у распону од најмањих конзолних дизалица које се користе у радионицама, до највиших торањских дизалица, које се користе за градњу високих зграда. Мини-дизалице су такође коришћене за изградњу високих зграда, како би се олакшала градња кроз уске просторе.

У овом раду пажња је посвећена мањим грађевинским дизалицама. То су посебне врсте дизалица за пренос материјала на градилишту. Састоје се од непокретног дела и окретног тј. покретног дела, на коме се налази крак (грана, стрела) са системом котурача за дизање терета помоћу ужади. Цео овај механизам покреће електромотор.

#### **4. Мобилне грађевинске дизалице – услови и захтеви за безбедан рад**

Један од основних захтева за било који сигурносни програм дизалице укључује избор машине која ће одговорати захтевима посла. Ако основне карактеристике дизалице не одговарају захтевима посла онда се јављају несигурне околности пре него што се започне посао. Радници су тада присиљени за рад и импровизацију у таквим ситуацијама што води ка евентуалним незгодама. Ниједна машина не би требало бити одабрана да ради посебне послове док се њена величина и карактеристике сматрају неадекватним [3]:

1. тежине и димензије подизања најтежег и највећег терета,
2. максимална висина дизања и тежина терета са којим се може руковати,
3. број дизања који се морају направити и са којом учесталости,
4. типови подизања који се раде, прецизност смештања терета,
5. хоће ли се терет држати у ваздуху на дуже време,
6. услови градилишта, укључујући такве факторе као што су услови подлоге где ће машина бити смештена тј. постављена, доступан простор за рад и манипулацију, препреке које могу спречити правилан рад.

Препоручљиво је да изабрана машина:

1. буде способна радити сва подизања у својој стандардној конфигурацији. Машина и њени главни делови треба да буду одговарајуће дужине и капацитета за извршавање свих познатих задатака,
2. има најмање 5% радну границу у односу на капацитет терета код сваког дизања,
3. има довољно слободног простора између терета и крака (стреле) и стандардан размак између терета и било које ременице потребне за подизање.

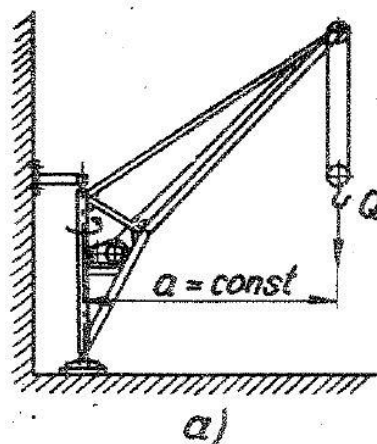
Избор дизалице за било који посао треба направити само након разматрања свих укључујућих фактора. Један од примарних захтева сигурносног програма дизалице је да осигура да сва неопходна опрема буде на машини и да је исправна. Ако неки део опреме или информација недостаје онда је одговорност власника опреме да то омогући и постави на дизалицу.

## 5. Технички задатак

Концепција мобилне грађевинске дизалице представља модификацију већ постојећих машина.

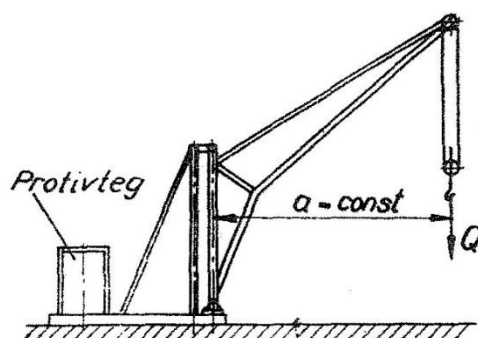
Грађевинске дизалице раде периодично, са прекидима, и оне премештају терете одвојеним кретањима мењајући при томе радни и повратни ход. Период рада дизаличне машине састоји се од: операције качења терета о носећи део дизалице, радног хода (дизање, премештање терета и спуштање терета), скидања терета са носећег елемента дизалице и од повратног хода до места поновног захватања терета [3,4].

Ове дизалице обртањем преносе терете са једног места на друго. На слици 1 је приказана шема обртне дизалице са непокретном основом (централним стубом). Дохват оваквих дизалица је сталан, тј. оне преносе терете по једном луку полупречника  $a$ .



Слика 1 - Приказ окретне дизалице са непокретним стубом

Ако су окретне дизалице постављене на отвореном простору, не може се применити иста конструкција као и на слици 1, јер не постоји могућност ослањања горњег лежишта на зид зграде. За такве случајеве примењују се конструкције дизалица приказане на слици 2.



Слика 2 - Приказ окретне дизалице на отвореном простору

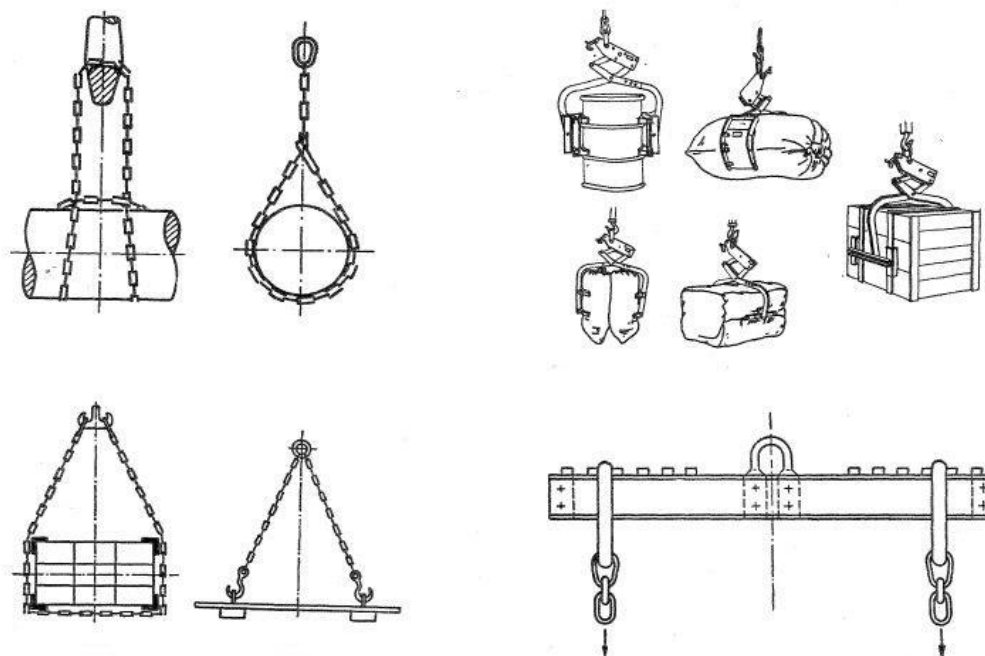
## 6. Елементи дизаличних механизма

Уређаји или прибори за дизање терета служе да се терет веже за савитљиви елемент (уже), или да се терет захвати самим уређајем и преноси без икаквог даљег везивања. Ако дизалица треба да диже и преноси терете различите и по облику и по физичким особинама, онда је она опремљена универзалним прибором за дизање терера. Уколико дизалица треба да преноси одређене терете који су једнаки по димензијама, тежини и физичким својствима, онда оне могу бити опремљене специјалним прибором за хватање тј. дизање терета који ће омогућити знатно брже, лакше и једноставније одвијање радних операција утовара и истовара материјала [3,4].

Универзални, општи, прибор за дизање терета је кука и уже које се везује за куку.

Као радни елементи прибора за дизање терета користе се (слика 3):

1. ужад или ланци за везивање,
2. теретне платформе,
3. клешта или хватачи,
4. специјалне кофе или слично.



Слика 3 - Елементи дизаличних механизма

## 7. Функција машине

Функција и употреба дизалице која ће бити представљена у оквиру овог мастер рада је модификација окретних грађевинских дизалица, које преносе терет са једног места на друго.

Рад грађевинске дизалице се састоји од качења терета о носећи део дизалице, затим радног хода (дизање, премештање терета и спуштање терета), скидања терета са носећег елемента дизалице и од повратног хода до места поновног захватања терета.

## 8. Радна својства

Мобилна грађевинска дизалица треба да обухвати што већи опсег примене у раду, као и да се прилагоди различитим захтевима у току рада.

Носивост, као једна од главних карактеристика дизаличних машина, у овом случају зависи од више различитих параметара који су дефинисани јачином електромотора,

максималном носивошћу ужета (сајле), брзином дизања терета, максималном висином дизања терета и осталих параметара који ће бити споменути у даљем тексту.

## 9. Извршилац функција

Погонски уређај дизалице је електромотор који преко пужног преносника даје потребну снагу и брзину на излазном делу вратила које је повезано са витлом (добошом) на који је намотано уже.

Подизање терета се врши путем ужета преко система катурача.

Елементи за подизање терета су разни уређаји или прибори за дизање терета који служе да се терет веже за савитљиви елемент (уже), или да се терет захвати самим уређајем и преноси без икаквог даљег везивања.

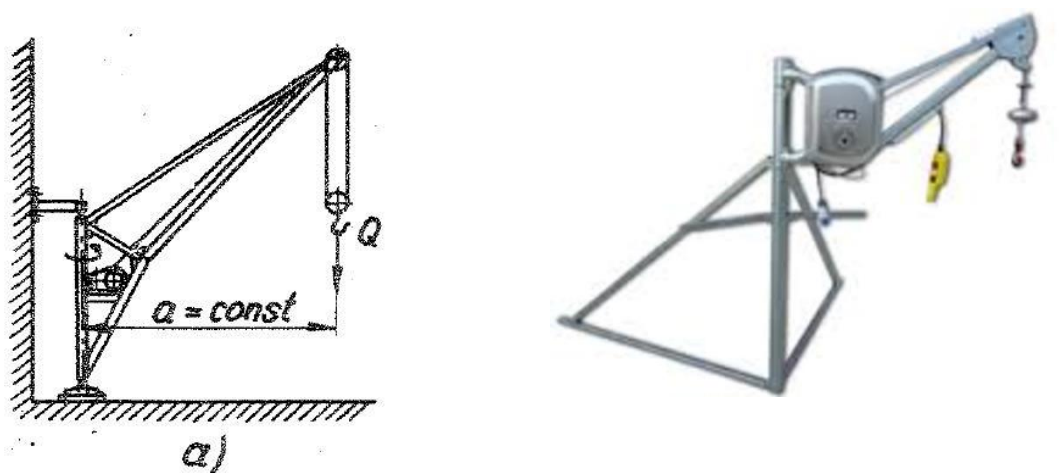
Подизање, заустављање и спуштање терета се одвија померањем специјално направљене ручице (напред-назад) којом се такође и укључује и искључује електромотор.

## 10. Концепција решења

Концепција решења мобилне грађевинске дизалице је приказана на слици 4 са кратким објашњењем процеса рада.

Концепција ове дизалице се заснива на модификацији грађевинске дизалице, с тим што се ослањање и везивање врши на објекту на којем се монтира конструкција дизалице. На тај начин се постиже једноставност конструкције и постављања дизалице на објекат.

Целу носивност терета који се диже на објекат носи главни тј. носећи стуб. На њега се монтирају елементи који обезбеђују ослањање и стабилност конструкције, као и део који служи за манипулацију терета (крал-стрела).



Слика 4 - Концепција решења – крак - стрела

Цео овај механизам покреће електромотор преко пужног преносника који даље преноси снагу и брзину на витло на ком је намотано уже (челична сајла), слика 5.



Слика 5 - Концепција решења – погонска група

## 11. Конструкција грађевинске дизалице

Тродимензионални приказ конструкције грађевинске дизалице је урађен у оквиру софтверског пакета *Autodesk Inventor*, на основу приказаног решења [5].

Укупно оптерећење мобилне грађевинске дизалице носи непокретни стуб ове конструкције, на који се везују (монтирају) остали елементи, слика 6.



Слика 6 - Непокретни (носећи) стуб

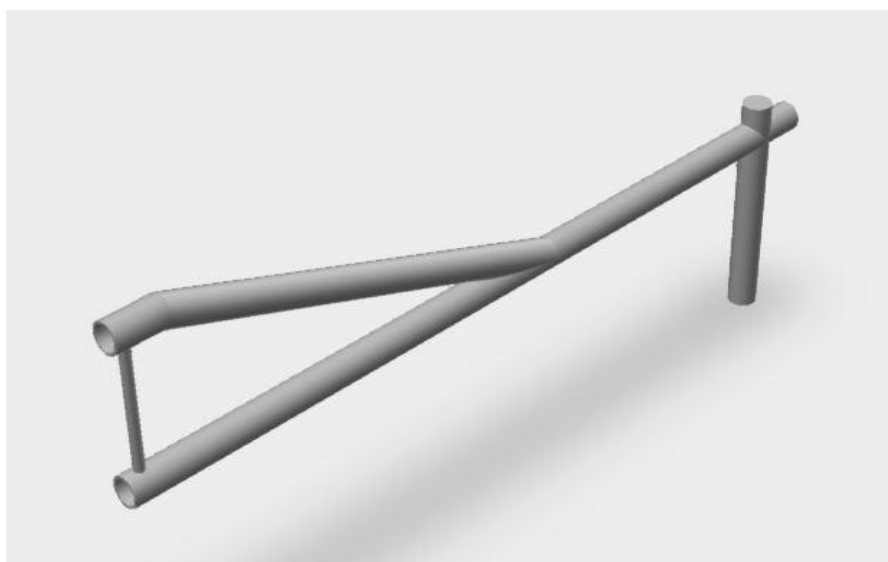
На овај непокретни стуб, се затим монтирају два елемента који дизалици дају стабилност. Крак који служи да се конструкција учврсти за објекат на коме се налази и крак за ослањање су елементи који се везују за главни стуб.

Крак који служи да се учврсти предвиђена конструкција (слика 7), везује се једним делом за главни стуб, а други крак се елементима за везивање везује за непокретни део објекта.



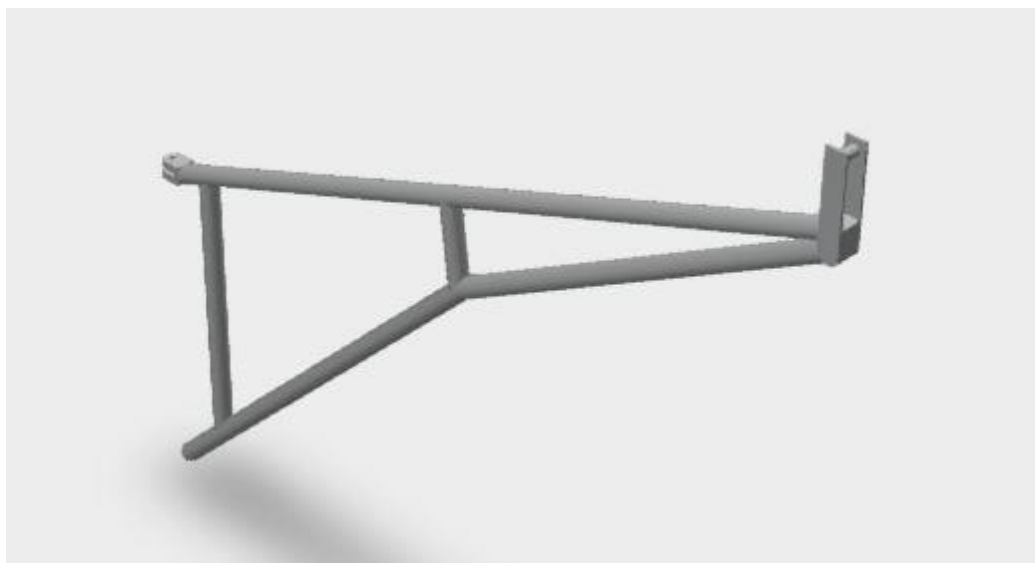
Слика 7 - Крак који се везује за непокретни део објекта

Други крак који је предвиђен за ослањање даје конструкцији стабилност и оптерећен је на притисак (слика 8), за разлику од дела који је везан за објекат и који је оптерећен и на затезање и на притисак.



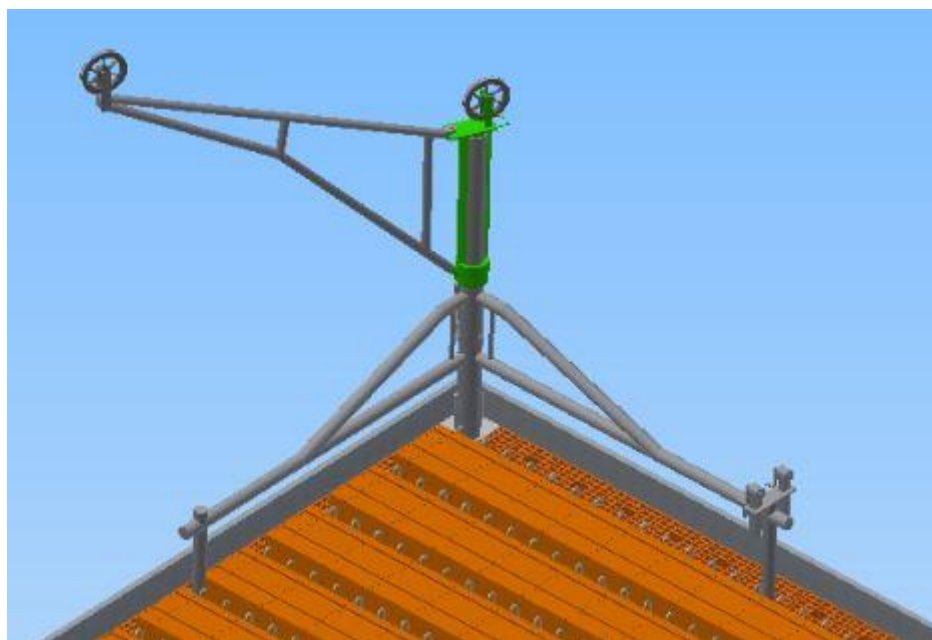
Слика 8 – Крак за ослањање конструкције

Након монтирања ових елемената, на самом крају се монтира крак (стрела) којом се врши манипулација терета, тј. лучно померање терета при подизању и спуштању (слика 9).



Слика 9 - Крак (стрела) која врши лучно померање терета

Склоп целе конструкције грађевинске дизалице изгледа као на слици 10.



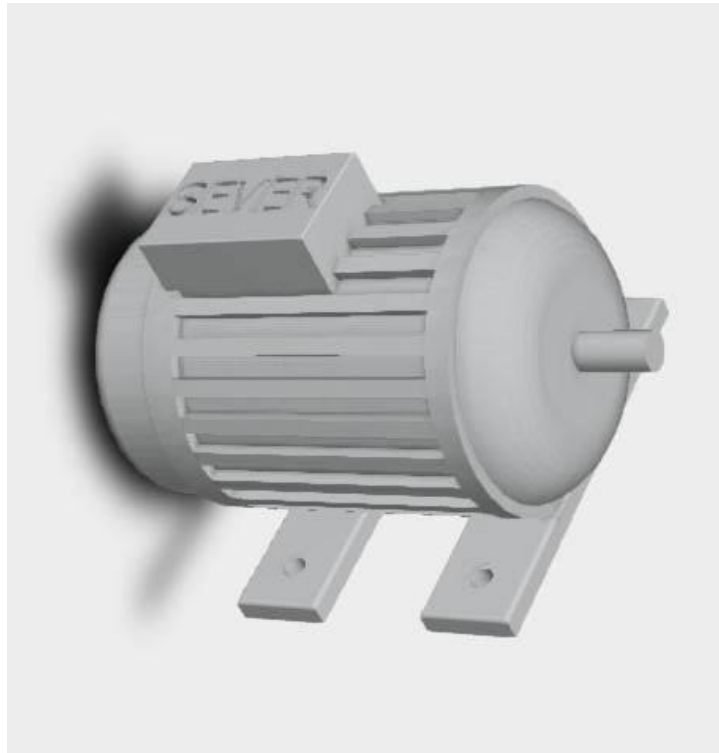
Слика 10- Склоп целе конструкције грађевинске дизалице

## **12.Конструкција машине**

Конструкција машине која се налази на тлу састоји се од електромотора који покреће пужни преносник, а који је даље повезан са витлом на које је намотано уже (челична сајла) која омогућује подизање и спуштање терета преко система катурача.

### **12.1 Електромотор**

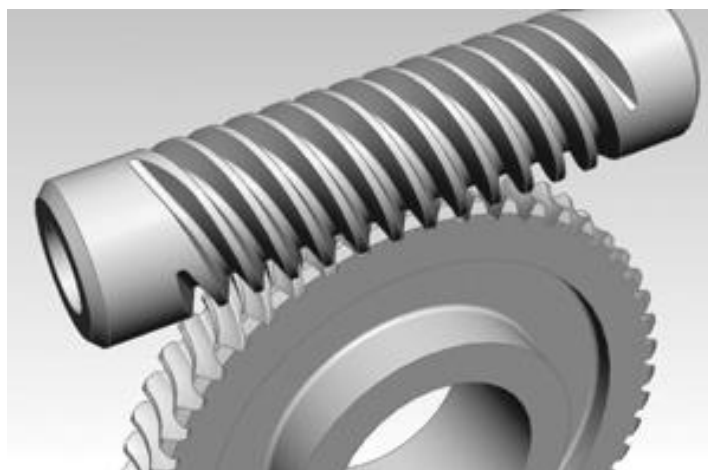
Електромотор (слика 11) који се користи за погон ове дизалице је трофазни мотор, како би омогућио кретање терета у оба смера, тј. спуштање и подизање терета.



*Слика 11 - Електромотор*

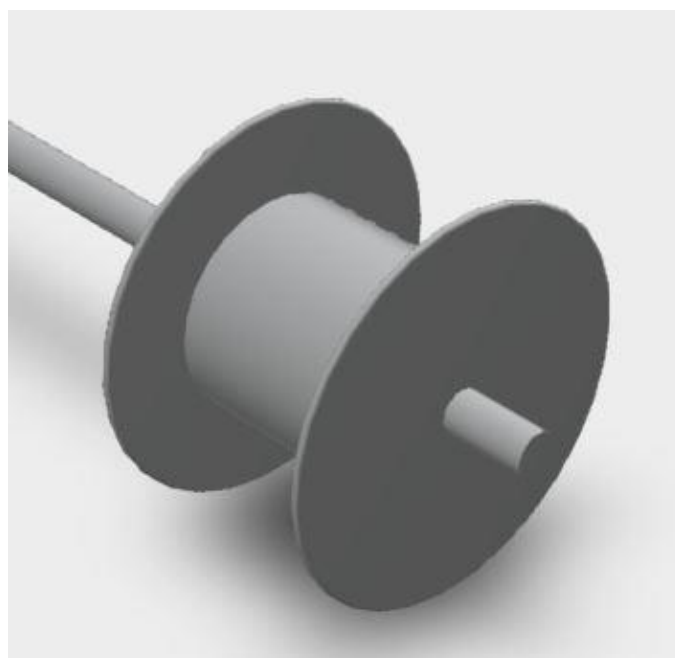
Иза електромотора се налази пужни преносник (слика 12) који преноси снагу и кретање од електромотора на витло машине.

Овај преносник смањује брзину електромотора, а повећава обртни момент за подизање терета.



*Слика 12 - Приказ пужног преносника*

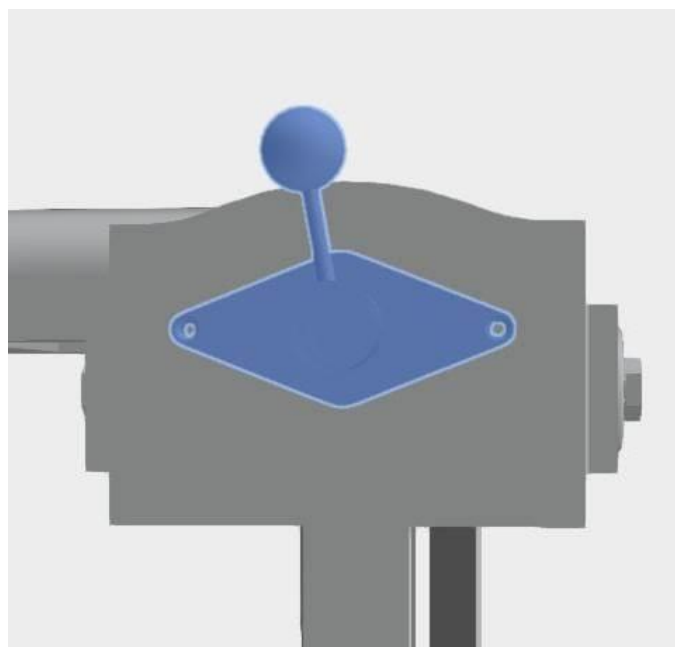
Са излазним вратилом пужног преносника повезано је витло на које је намотано уже (слика 13).



*Слика 13 - Приказ витла (добоша) на које се намотава уже (челична сајла)*

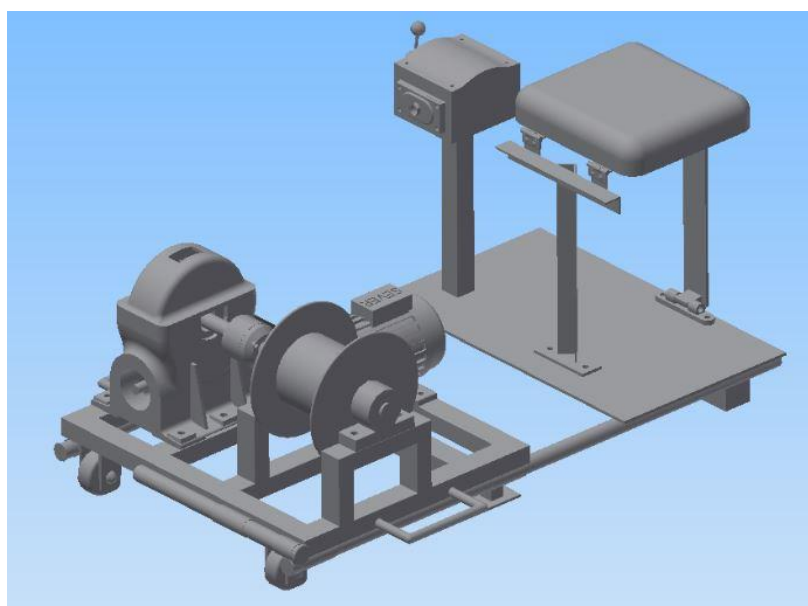
Цео овај механизам функционише на основу давања контакта и сигнала мотору за извршење одређене операције.

Померањем ручице (слика 14) дефинише се рад мотора. Ручица има свој јасно дефинисан ход, који представља: подизање терета, искључивање мотора и спуштање терета.

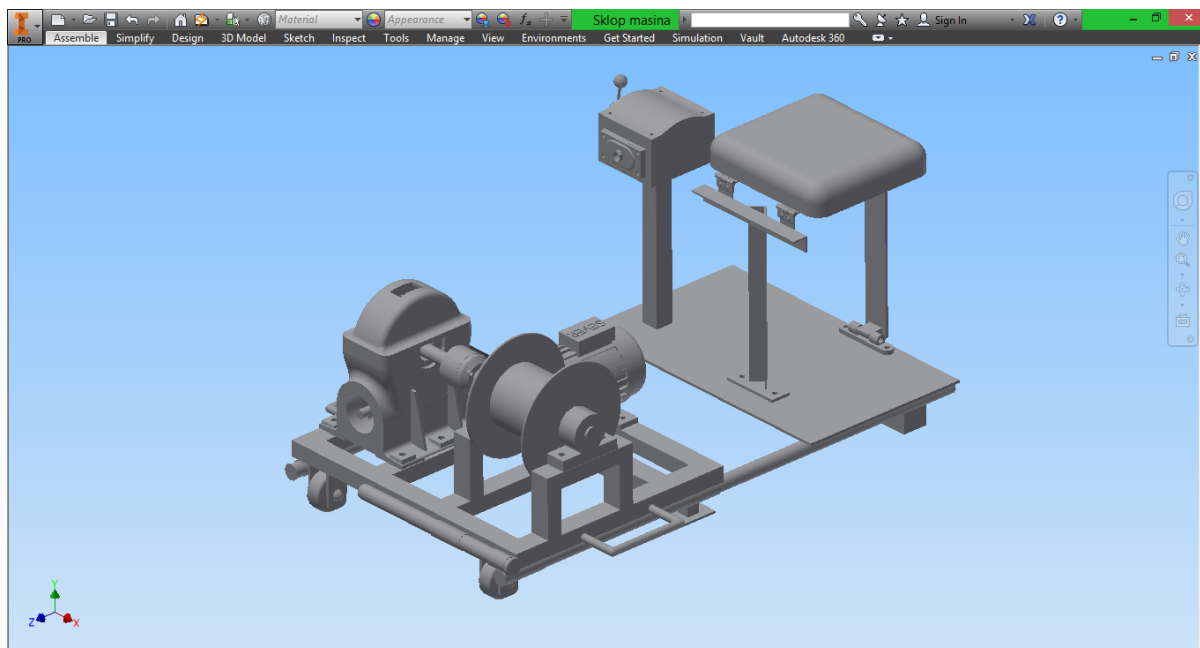


Слика 14 - Ручица за управљање електромотора

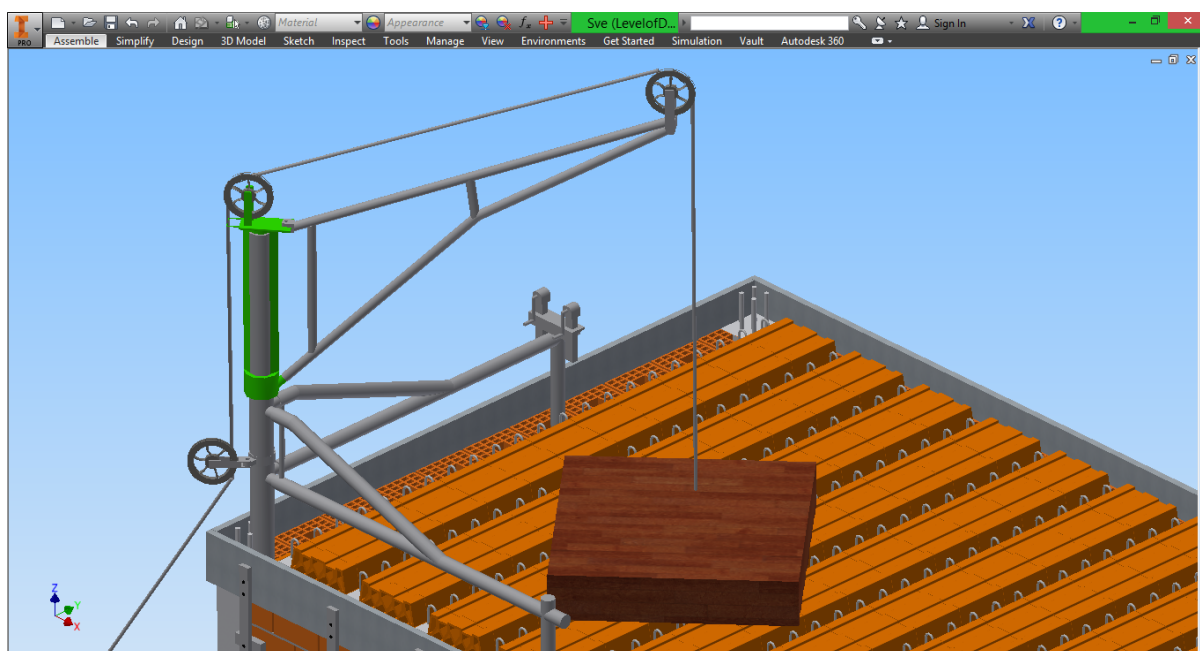
Склоп целе машине која врши подизање и спуштање терета приказан је на сликама 15, 16, 17, 18, 19.



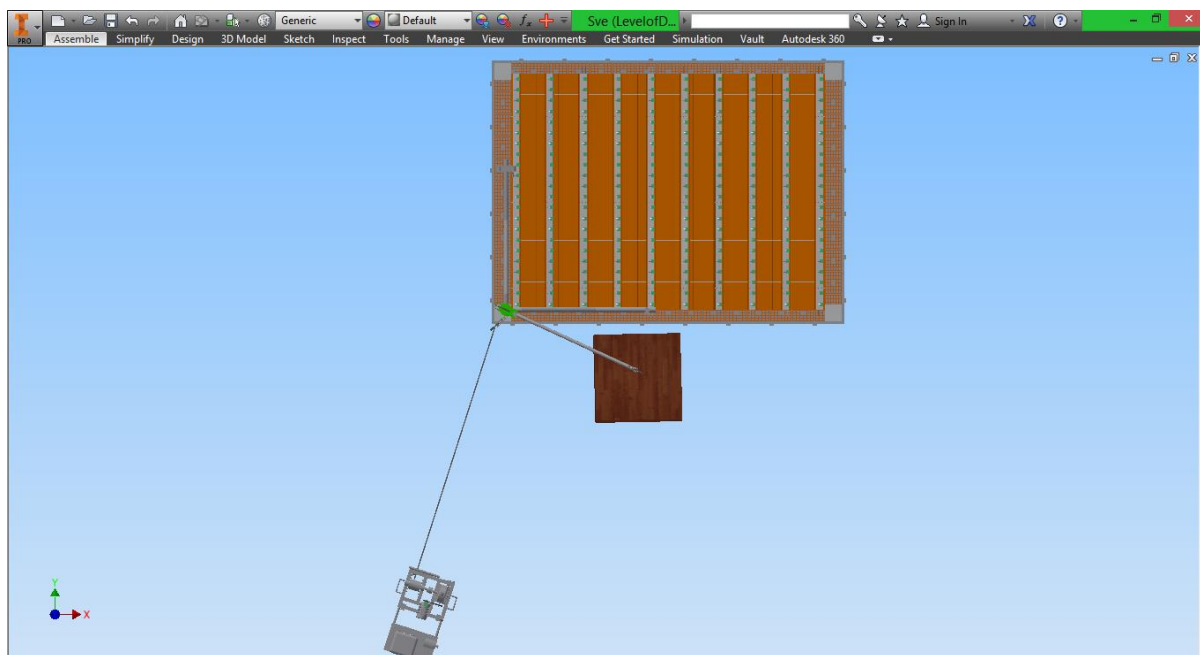
Слика 15 - Склоп машине



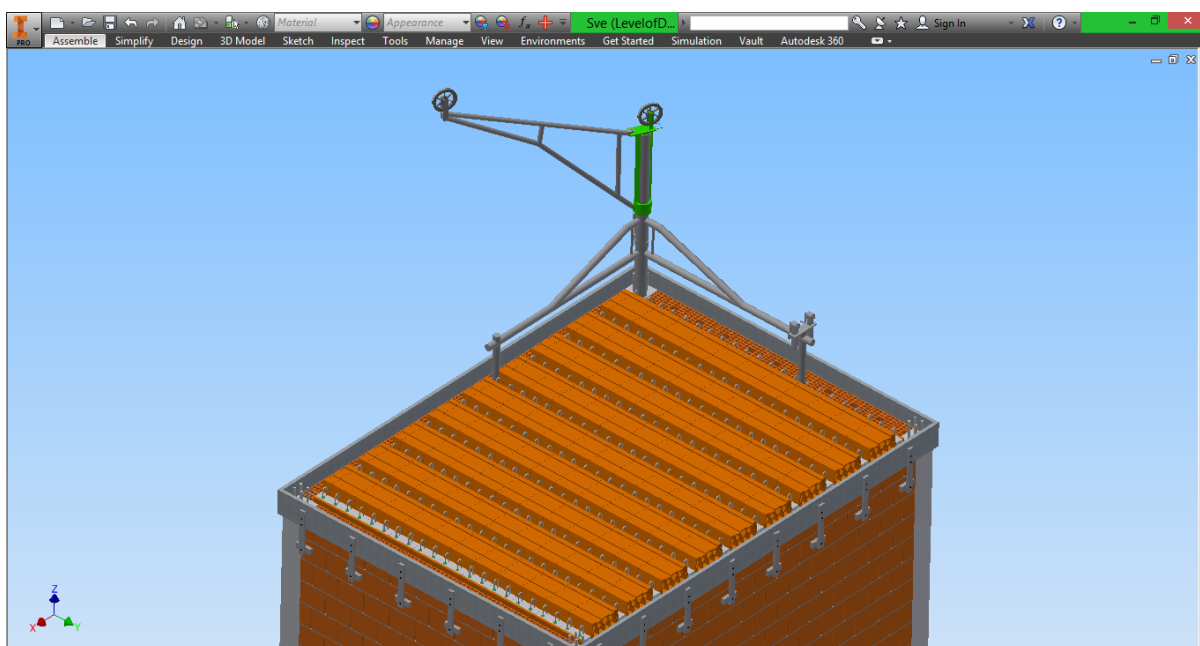
Слика 16 - Изглед машине која врши дизање и спуштање терета



Слика 17 - Изглед машине (током рада) монтиране на објект



Слика 18 - Изглед машине (током рада) монтиране на објекат-вертикални поглед



Слика 19 - Изглед машине монтиране на објекат

## 13. Примена софтвера *Autodesk Simulation Mechanical*

У оквиру софтверског пакета *Autodesk Simulation Mechanical* постоји модул намењен прорачуну и анализи делова [6].

### 13.1 Увод

У овом делу су наведене основне информације о анализи методом коначних елемената као и о коришћењу софтвера. У даљем тексту су приказане различите врсте анализа доступних у софтверу и како се на основу креираног модела оне примењују.

Метода коначних елемената представља нумерички поступак решавања инжењерских проблема и проблема математичке физике.

Методом коначних елемената врши се анализа структура, рачунају температурна поља, ток флуида, транспорт маса итд.

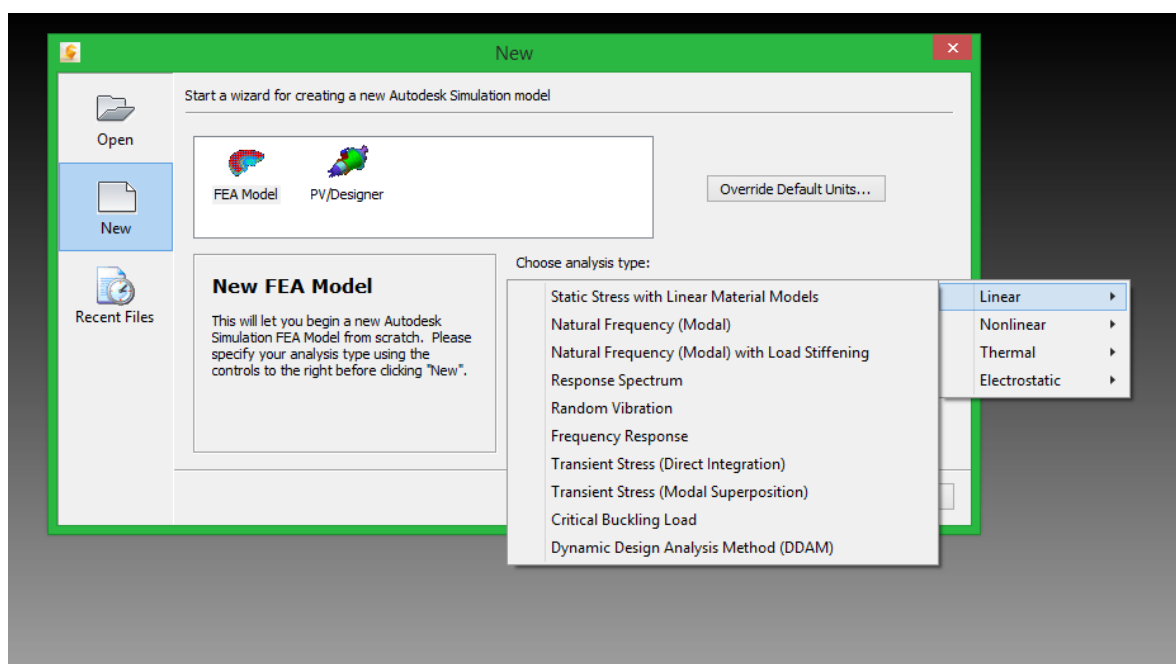
У највећем броју случајева када анализирана структура има сложену геометрију, када је сложено оптерећење и када су структуре од различитих материјала, није могуће наћи решење у аналитичком облику. Аналитичко решење подразумева добијање аналитичких израза за рачунање тражених карактеристика на различитим местима структуре (померање, температура, напон и сл.). За добијање таквих података треба решавати диференцијалне или парцијалне диференцијалне једначине. То је могуће урадити само за врло једноставне проблеме. За сложену геометрију и сложено оптерећење није могуће наћи решења у аналитичком облику. Због тога се користе нумеричке методе, а једна од њих, најчешће коришћена је метода коначних елемената (МКЕ). Решавање проблема методом коначних елемената своди се на решавање система алгебарских једначина.

Добијена решења су приближна и односе се на одређене тачке структуре. Процес моделирања састоји се од дискретизације континуума (тела или структуре). Такав модел састоји се од коначних елемената, који су повезани чворовима (штапни елементи), по граничним заједничким линијама (равански елементи), или заједничким површинама (просторни елементи). За сваки коначни елемент постављају се једначине, а њиховом комбинацијом добију се једначине целе структуре [6].

## 13.2 Подржане врсте анализа

**Линеарне анализе (слика 20):**

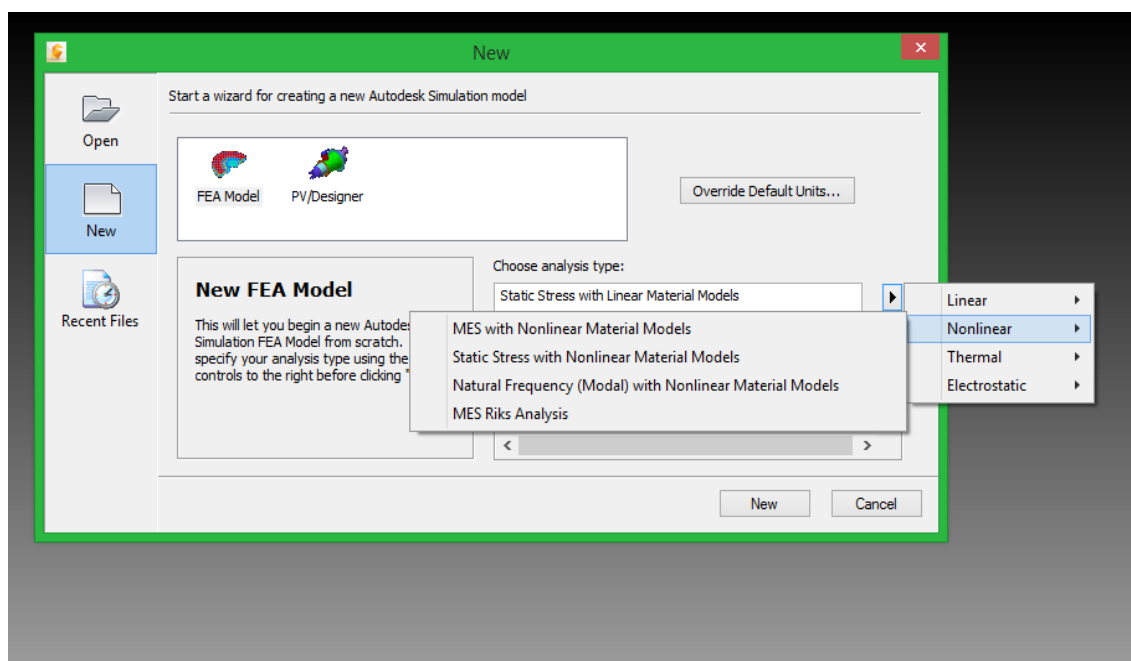
1. *Static Stress with Linear Material Models,*
2. *Natural Frequency (Modal),*
3. *Natural Frequency (Modal) with Load Stiffening,*
4. *Response Spectrum,*
5. *Random Vibration,*
6. *Frequency Response,*
7. *Transient Stress (Direct Integration),*
8. *Transient Stress (Modal Superposition),*
9. *Critical Buckling,*
10. *Dynamic Design Analysis Method (DDAM).*



Слика 20 - Приказ линеарних анализа

**Нелинеарне анализе (слика 21):**

1. *MES with Nonlinear Material Models,*
2. *Static Stress with Nonlinear Material Models,*
3. *Natural Frequency (Modal) with Nonlinear Material Models,*
4. *MES Riks Analysis.*



Слика 21 - Приказ нелинеарних анализа

### **13.3 Оптерећења**

У МКЕ се могу задавати различите врсте оптерећења. У структурној анализи оптерећење делује у чворовима. Дистрибуирано оптерећење и почетне деформације могу бити задати на једнодимензионалним елементима, деловање притиска на дво и тродимензионалним елементима. Ту су и сила гравитације, центрифугална сила и термално оптерећење [6].

#### **1. Директно оптерећење**

Силе и моменти могу се наносити директно у чворним тачкама дискретизоване структуре. Правац задатих сила и момената дефинише се са три међусобно нормалне компоненте у координатном систему.

#### **2. Континуално оптерећење**

Континуално оптерећење може бити распоређено по дужини једнодимензионалног елемента или по површинама дво или тродимензионалних елемената.

#### **3. Гравитационо и центрифугално оптерећење**

Гравитационо оптерећење потиче од властите тежине тј. убрзања гравитације или неког другог равномерног убрзања.

#### **4. Термално оптерећење**

Општи облик термалног оптерећења представљају температуре и термални коефицијенти ширења. Другим подацима могу се дефинисати средња температура и/или температурни градијенти по дужини или кроз попречни пресек и дебљину дво или тродимензионалних елемената.

#### **5. Динамичко оптерећење**

Принудно оптерећење је временски променљиво директно оптерећење које делује у чворовима или је дистрибуирано по елементу исто као у статичкој анализи. Оно се уноси у прорачун као хармонијска функција.

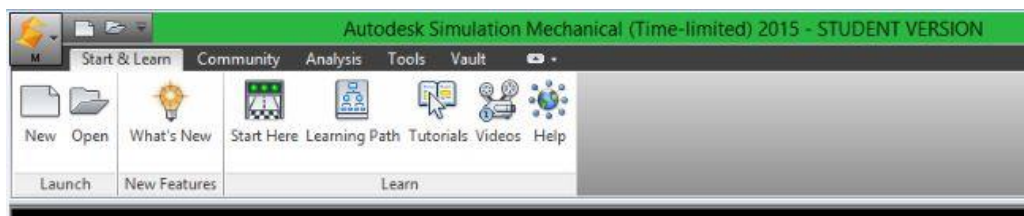
### 13.4 Улога рачунара у МКЕ

У модерном машинству користе се различити компјутерски CAD софтвери (*Computer Aided Engineering*) како би се оценила конструкција у сваком кораку у процесу дизајнирања. CAE алати се користе за анализе кинематичких или динамичких карактеристика конструкције. На тржишту постоји низ моћних CAD софтвера. Први програми нису имали могућност визуализације и даље су се развијали и добили нове верзије NASTRAN, SAP, ABAQUS ANSYS, IDEAS, FLOW CATIA, ALGOR итд. Софтвери су се развијали зависно од подручја за које су намењени или за универзалну примену (статичку, динамичку, термичку анализу).

Ранија примена МКЕ односила се само на структуралну механику да би се касније проширила на решавање проблема преноса топлоте, електростатички потенцијал, механику флуида, вибро анализу и разне друге проблеме у машинству. Данас се развијају софтвери у подручју бризгања пластике који су у могућности да покажу дистрибуцију температурног поља и пуњење калупа течном масом.

### 14.Приказ основних функција софтвера

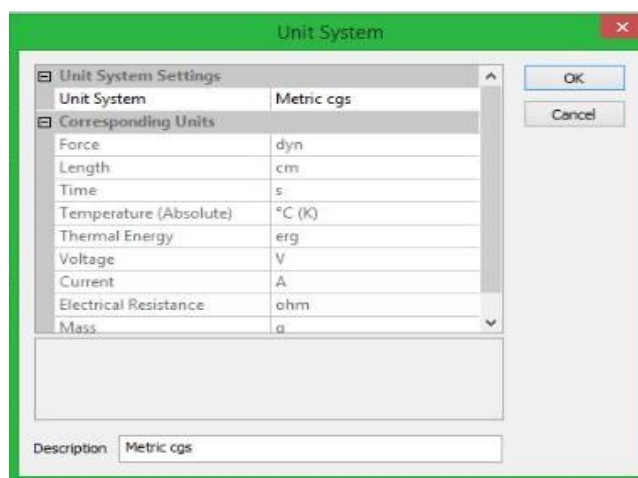
При стартовању програма, појављује се почетни мени (слика 22). На њему се за почетак уочава само картица на којој постоји могућност да се отвори већ постојећи модел (*Open*), као и да се креира потпуно нов модел (*New*) који ће се користити при анализи.



Слика 22 - Приказ стартног прозора

Уколико се активира команда *New* отвара се нов прозор у којем се појављују параметри који се морају унети како би се наставила анализа модела.

У овом прозору (слика 23) се уносе параметри који омогућавају јасно читавање задатих вредности као и резултата. То су параметри везани за мерне јединице и јединице у којима ће се резултати приказивати (сила, дужина, време, температура, маса).



Слика 23 - Приказ уноса параметара

### 14.1 Формирање модела за анализу

Формирање дискретног модела је припремна фаза - процедура пре анализе методом коначних елемената. Формирањем дискретног модела ствара се осмишљена, усклађена и повезана група коначних елемената којом је описан континуум, који је предмет анализе. Формирање модела за анализу има четири фазе реализације:

1. формирање геометријског модела,
2. формирање идеализованог модела,
3. формирање модела зона и
4. формирање дискретног модела.

Геометријски модел креира конструктор у неком PLM софтверу. Тиме настаје датотека података који реално описују геометрију објекта са свим потребним детаљима за израду. Геометријски модел може да садржи геометријске елементе који немају значаја за анализу јер не утичу на напонско-деформациону слику објекта. Ради тога се формира идеализован модел у коме су одбачени неважни детаљи [6].

Идеализован модел је упрошћен модел који не мора да представља целину објекта уколико може да се његовим симетричним формама представи функција и начин оптерећења целине. Идеализован модел се увек формира са захтевом мањег обима континуума за анализу. Основа развоја рационалних идеализованих модела је апстракција. Апстракција је сагледавање модела од стране аналитичара којом се поставља концепт модела, уклањају детаљи, препознаје симетрија, редукује модел, прилагођавају модалитети уношења оптерећења.

Модел зона представља идеализован модел расчлањен на правилније целине – зоне које дозвољавају поделу континуума на коначне елементе према стандардном - познатом алгоритму генерисања или пресликавања.

Дискретни модел се развија на бази модела зона и усклађеног броја елемената контактних површина зона. Дискретни модел подразумева одређивање чворова, коначних елемената, података о материјалу, дискретном оптерећењу и дискретним граничним условима. Дискретни модел има потребна прилагођавања мреже коначних елемената граничним условима ослањања и тачкама и површинама дејства спољашњих сила. Развијена мрежа коначних елемената се оцењује параметрима облика мреже. То су геометријски оквири у којима је примењен коначан елемент (деформисаност облика), правилност развоја мреже (континуалност промене правца и облика елемента), правилност промене величине елемента (континуалност промене геометрије). На бази ових параметара врши се побољшање мреже пре него што се формира коначан дискретан модел. Коначним дискретним моделом врши се анализа.

Развој мреже коначних елемената може се реализовати [6]:

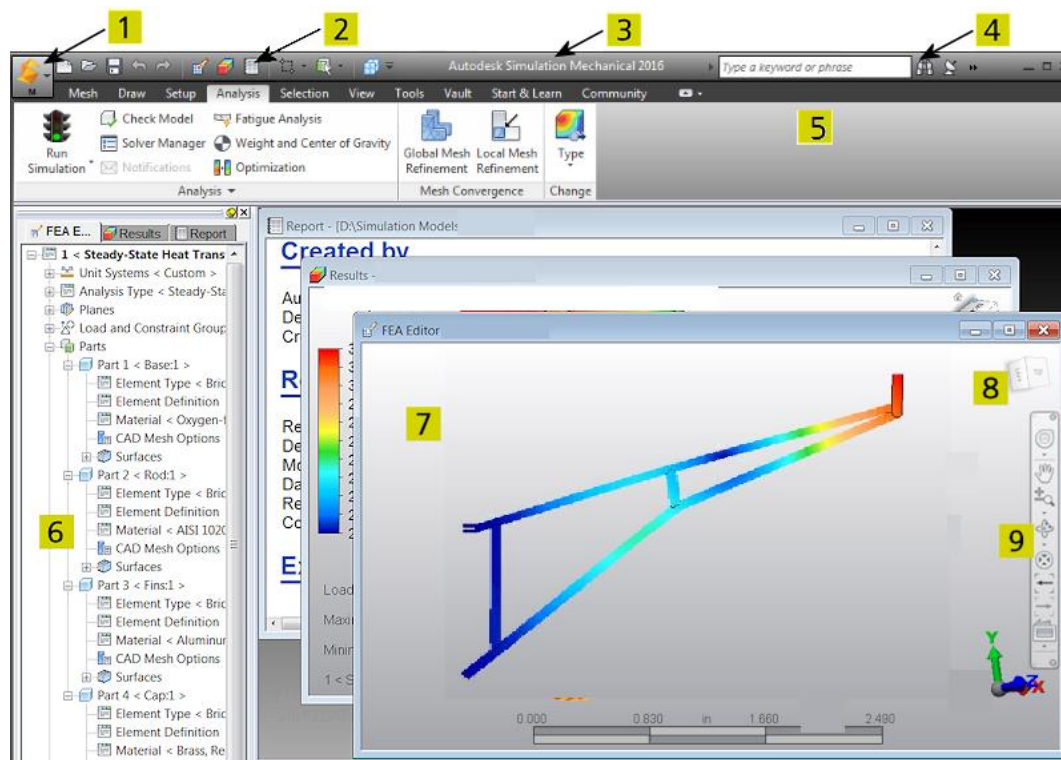
1. *ручним путем* (појединачним дефинисањем чворова и елемената),
2. *полуаутоматским путем* - када се на бази постављеног концепта модела задају појединачне команде аутоматског генерисања коначних елемената у зонама. Полуаутоматски генератори су интерактивног типа – заснивају се на инструкцијама дефинисаним кроз дијалог.
3. *аутоматска процедура* подразумева генерисање мреже као целине једном командом којом настаје цео дискретни модел из задатог геометријског модела и негеометријских инструкција о ослоњцима, оптерећењу, материјалу и физичким особинама. Аутоматско генерисање карактерише најсавременије моделе. Зато је основни програмски алат за одређивање зона у којима се генерише мрежа – генератор граница. Аутоматски генератори користе три методе за формирање мрежа: методу спајања чворова, методу прилагођавања узорка мреже и методу декомпозиције.

Софтвер за анализу, сходно начину моделирања, може да се развија као интегрални и модуларни. Интегрални подразумева софтверски потпуно интегрисане све фазе развоја модела, анализе и постпроцесирања. Модуларни приступ подразумева развој, коришћење и дистрибуцију софтверских модула за појединачне етапе анализе (геометријско моделирање, препроцесирање, постпроцесирање, анализа).

Процесори су програми предвиђени за рад са геометријским подацима, оптерећењима, граничним условима, напонима, деформацијама, векторима, пољима, графичким типовима геометријских модела, анимацијом, грешкама анализе. Процесори су увек засновани на графичком интерфејсу и на тај начин омогућавају анализу по различитим основама, истраживачким циљевима.

Генератори мрежа могу генерисати дводимензионалне или тродимензионалне мреже коначних елемената. Дводимензионе мреже се користе за решавање раванских и оносиметричних задатака. Тродимензионе мреже су најопштија категорија мрежа и у домену машинства њима се покрива континуум објеката који су увек 3D.

## 14.2 Кључне карактеристике корисничког интерфејса



Слика 24 – Кориснички интерфејс

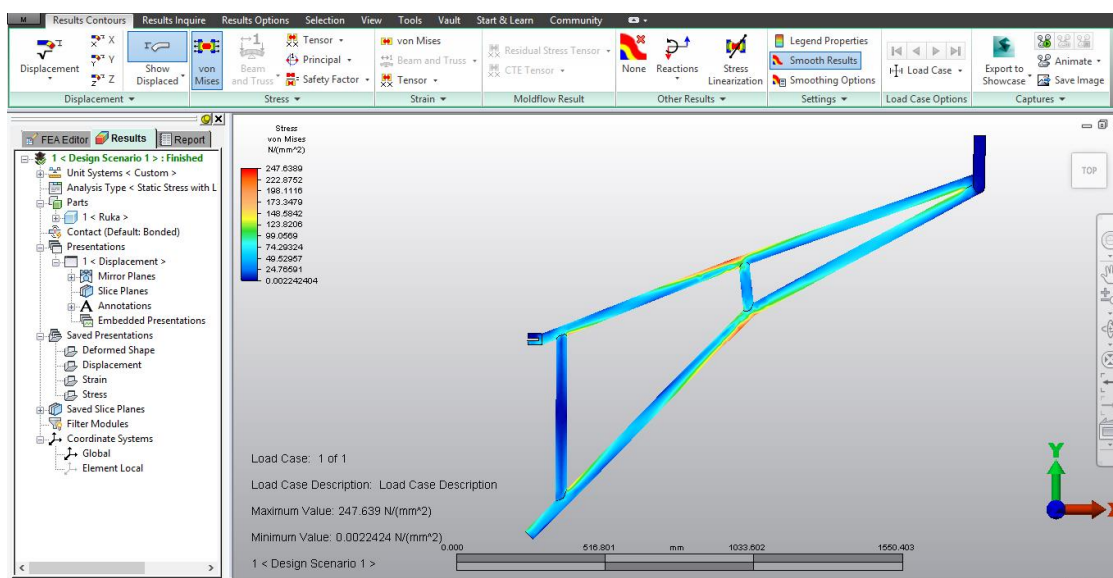
1. **Тастер за покретање падајућег менија:** Отвара мени апликација. Користи се да би се приступило отварању датотека, затварању и меморисању команди.
2. **КАТ:** Картица која се може прилагодити тако да садржи апликације које се често користе.
3. **Насловна (главна) табела:** Стандардна табела која приказује назив програма. Ако је област екрана максимизирана, насловна линија такође приказује име модела.
4. **Информације:** Картица на којој се може затражити информација тј. помоћ преко интернета у вези коришћења алата при анализи.
5. **Ribbon:** Налази се одмах испод насловне траке и садржи команде, организоване у логичке табове и панеле унутар табова. Помоћ за појединачне језичке картице. Може се приступити користећи везе на дну ове странице.
6. **Browser:** Приказује различите поставке програма и анализа (као што су системи за анализу и јединице), оптерећења и ограничења, поставке контакта и још много тога. Свака од окружења, означена са три језичка на врху претраживача, врши другу функцију и укључује различите садржаје претраживача.
7. **Display Area:** Део где се одвија активност моделирања. Насловна трака овог прозора приказује окружење у употреби и име модела. Активирање једне од картица на прегледачу активира одговарајућу област приказа и обрнуто.
8. **ViewCube:** Користи се за манипулацију приказа модела.
9. **Navigation Bar:** Скуп алата за навигацију и манипулацију приказа модела.

## 15. Приказ анализе елемената грађевинске дизалице при раду

После отварања већ готовог модела, прелази се у подручје рада, где се налазе опције за разне врсте анализа, а овде ће бити приказан поступак за анализе статичког оптерећења.

По отварању нове симулације почиње се са уношењем ограничења и сила потребних за израду овакве врсте прорачуна и симулације. Бира се опција помоћу које се одређује где је крак тј. носач терета ослоњен. У овом случају носач је фиксиран на дну (крај цеви), као и на делу где се ослања на главни стуб.

Оптерећење ће бити дефинисано на делу на којем се налази котурача и преко које се врши подизање и спуштање терета (слика 25).



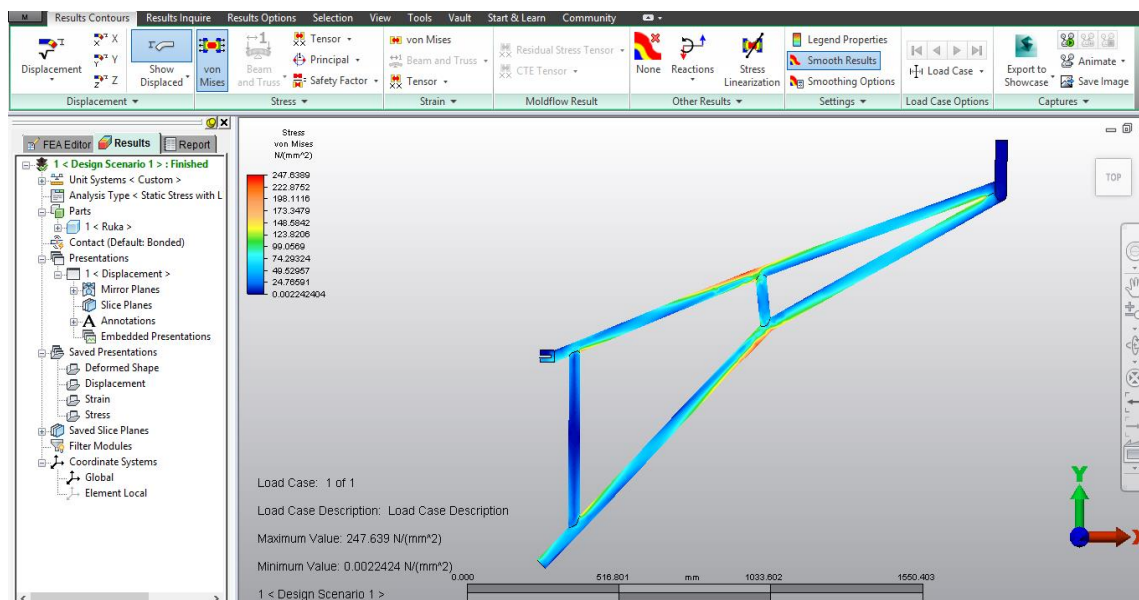
Слика 25 – Радно окружење софтвера

По одабиру ослонаца прелази се на дефинисање оптерећења, опција *Force*, у којој се бирају правац и смер (у односу на координатни систем X, Y, Z) силе, интензитет силе.

По одабиру врсте силе, оптерећења и ограничења, прелази се на опцију за симулирање оптерећења, која приказује да је модел спреман за израду симулације. По завршетку симулације, у стаблу модела појавиће се сви прорачуни и симулације које су урађене овим поступком.

После овог поступка одлази се на нов прозор у којем је приказан комплетан прорачун за све силе и моменте, сва напрезања, у свим правцима, попуњено у табелама са свим бројним вредностима.

На свакој слици поред модела налази се назив добијеног резултата, скала са вредностима, почевши од плаве боје до црвене са тачним вредностима, где плава показује најнижу вредност, а црвена највишу (слика 26).



Слика 26 - Резултати напонске анализе

Von Mises-ов напон је еквивалентни напон који се најчешће користи при анализи конструкција. Приликом ове анализе види се да се највећи напон јавља на месту савијања цеви и попречне цеви која даје укрућење конструкцији, а најмањи на цеви која трпи промене при затезању.

Displacement – померање, је један од најбитнијих параметара у овом прорачуну. Представља померање (угиб) у нападној тачки, у овом случају и најкритичнијој, при одређеној сили. Пошто у овом случају сила делује по Y оси ту ће бити и највеће померање, које је при овим габаритима крака и величине силе скоро занемарљиво, и тако се закључује да ова конзола може несметано носити предвиђени терет. Приказана су померања по свим осама.

## 16. Детаљни приказ оптерећења које је задато и понашање конструкције при том оптерећењу

Димензионисање челичних конструкција се изводи на бази познавања распореда спољашњих оптерећења (сила и момената) и аналитичког утврђивања распореда унутрашњих сила и момената, односно простирања напрезања унутар конструкције. Ови утицаји се одређују на основу теорија отпорности (еластичности) материјала. Одређивање распореда оптерећења унутар конструкције врши се методама анализе статике и динамике конструкција. Утврђивање способности конструкција да пренесе задата оптерећења врши се на основу карактеристика материјала - допуштених напона. Допуштени напони су прописани за челичне конструкције и одређују се у функцији изабраног материјала и карактера спољашњег оптерећења.

Понашање конструкционог челика при статичком затезању је карактеристично по неколико закона промене деформација од унутрашњег напона.

Прва зона је зона еластичности у којој постоји линеарна промена  $\sigma$ - $\epsilon$ .

Даљим затезањем прелази се граница пропорционалности и еластичности (при којој је стална - пластична деформација  $\epsilon = 0.01\%$ ) и почиње развлачење материјала. То је зона пластичности у којој постоји доња и горња граница развлачења. Код основних конструкционих челика ова граница иде од  $0.15 \div 3\%$ . Течење материјала траје приближно при сталном напону.

Након тога наступа трећи период рада: ојачање челика, када челик пружа већи отпор даљем развлачењу, све до границе максималног отпора затезању након чега почиње разарање материјала. Ова граница максималног отпора назива се границом кидања (за  $\check{C}.0361$   $\epsilon = 15 \div 20 \%$ ). Прекид материјала наступа нешто касније при  $\epsilon = 20 \div 30\%$ .

У челичним конструкцијама практичан значај има доња граница развлачења у односу на коју се дефинишу дозвољени напони. За носеће структуре очување форме - геометрије је од посебног значаја па се конструкција доводи највише до границе еластичности. Поуздано познавање распореда унутрашњих напона има посебан значај јер омогућава боље искоришћење челика.

У овом делу је представљена анализа носивости конструкције при раду, у зависности од попречног пресека профила цеви.

Конструкција је анализирана од цеви следећих димензија:

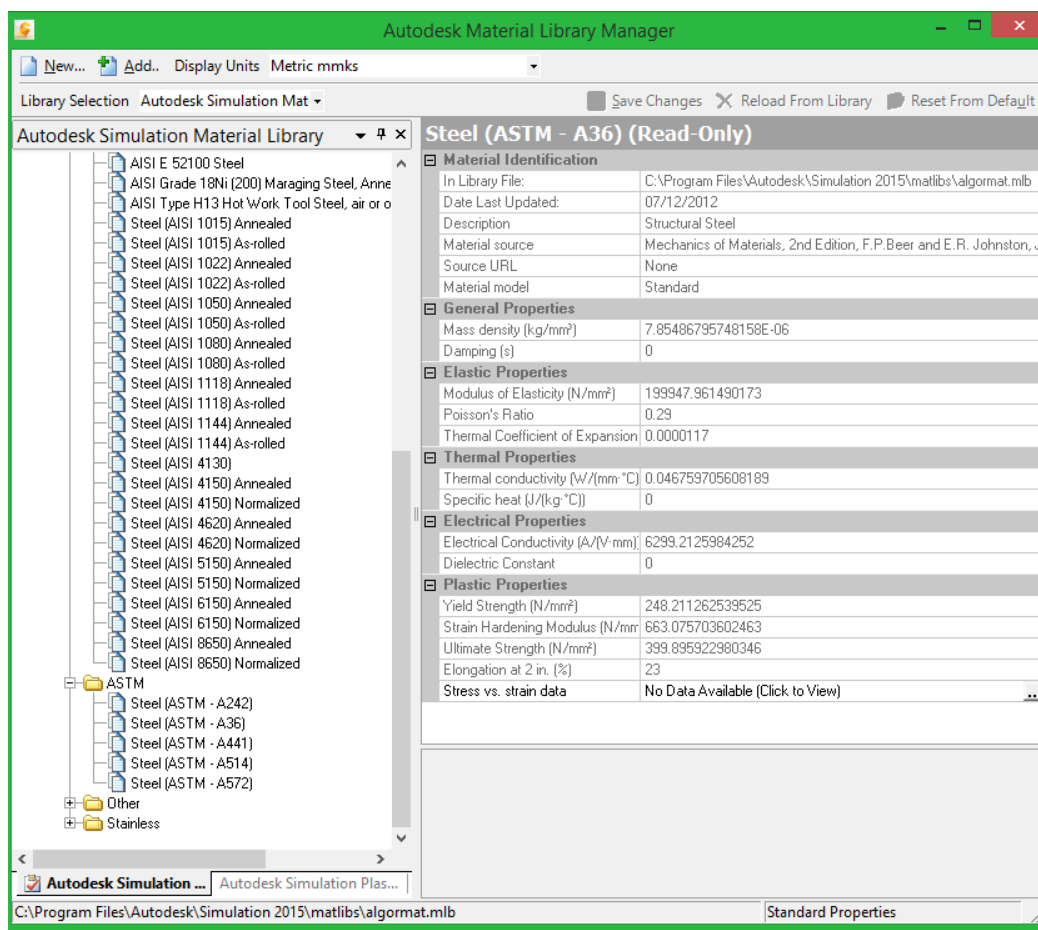
- $\varnothing 30 \times 1,5 \text{ mm}$
- $\varnothing 30 \times 3,0 \text{ mm}$
- $\varnothing 40 \times 1,5 \text{ mm}$
- $\varnothing 40 \times 3,0 \text{ mm}$

Материјал за израду шавних цеви ових димензија јесте  $\check{C}.0361$  (S235).

Све врсте конструкција су моделиране у програмском пакету *Autodesk Inventor* а затим су коришћене у програмском пакету *Autodesk Simulation Mechanical* где је даље извршено анализирање.

Након моделирања ове конструкције, притупа се увозу модела у програмски пакет *Autodesk Simulation Mechanical*. Након тога, програм нуди кориснику палету материјала са карактеристикама и својствима (слика 27).

За одабир материјала при анализи коришћен је челик према ASTM стандарду, еквивалент челику Č.0361 за шавне цеви.



Слика 27 - Приказ палете материјала са основним карактеристикама

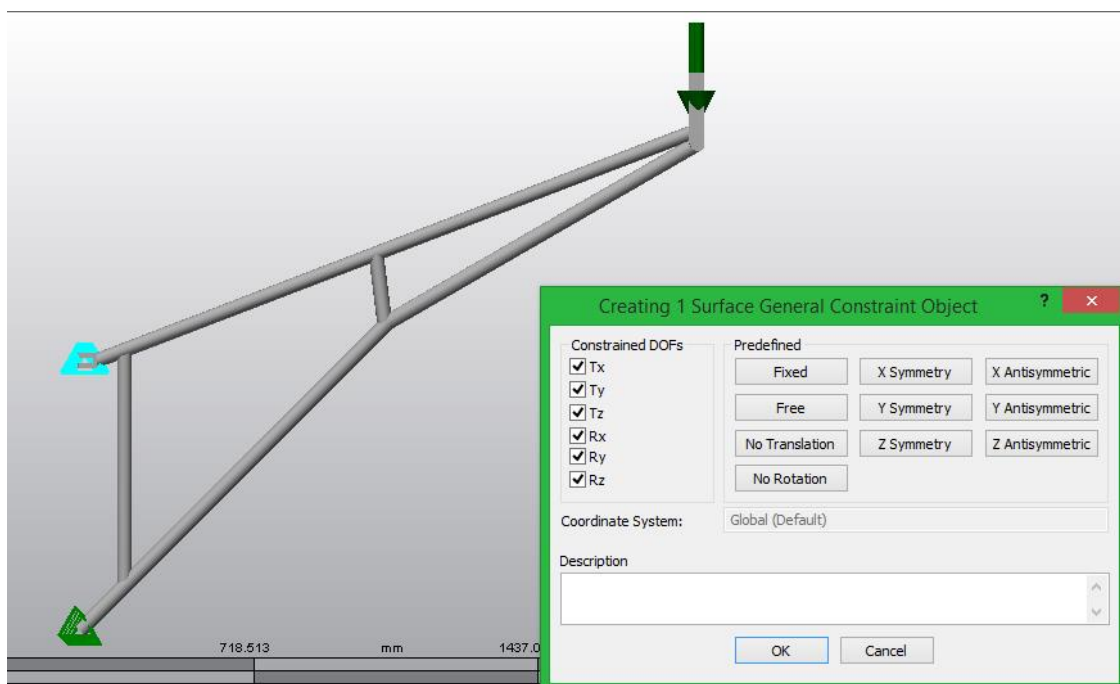
По дефинисању материјала наставља се са уношењем ограничења и сила потребних за израду овакве врсте прорачуна и симулације.

Дефинисање ослоња се налази у палети *Setup*, а затим се коришћењем алата *General Constraint* дефинишу жељени ослонци (слика 28).



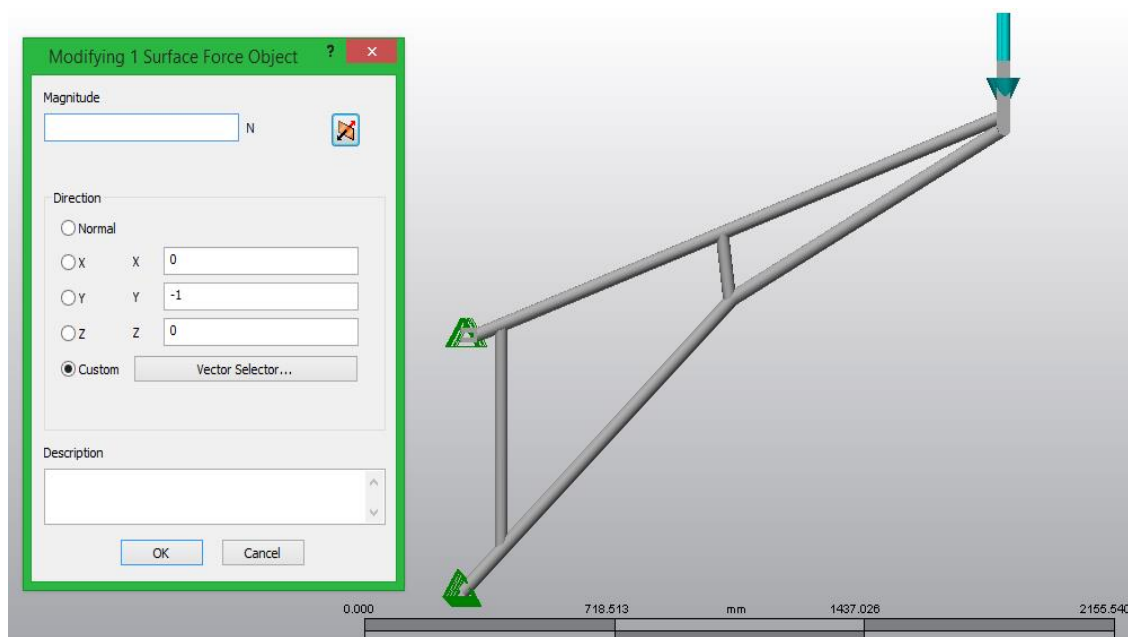
Слика 28 - Приказ палете алата за дефинисање оптерећења и ослонаца

У овом случају конструкција ће бити фиксирана на дну (крај цеви), као и на делу где се ослања на главни стуб (слика 29).



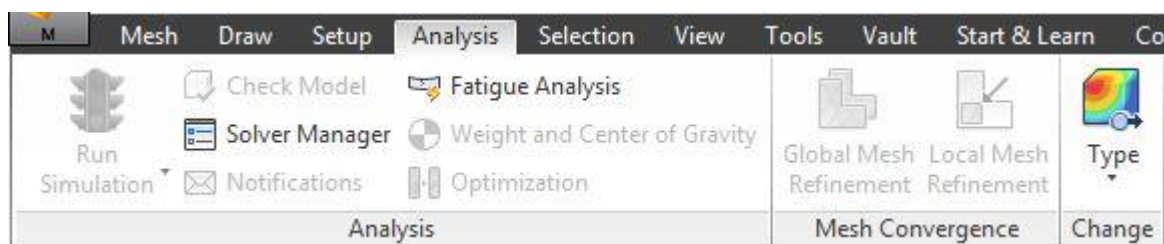
Слика 29 - Приказ дефинисања ослоња за анализирану конструкцију

Оптерећење се дефинише кликом на команду *Force*, и оно ће бити дефинисано на делу на којем се налази котурача и преко које се врши подизање и спуштање терета (слика 30). Дефинисано оптерећење за анализу јесте  $F = 100 \text{ kg}$  ( $1000\text{N}$ ).



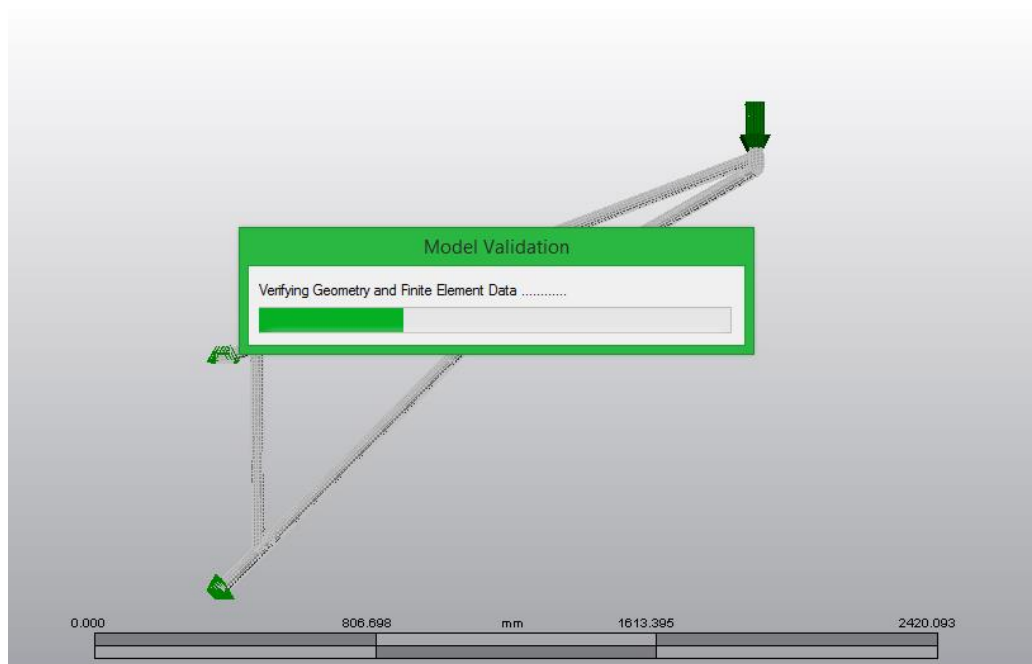
Слика 30 - Приказ дефинисања оптерећења за анализирану конструкцију

Након дефинисања параметара који су били објашњени у претходном делу, приступа се аутоматском проверавању модела кликом на команду *Analysis, Check model* (слика 31).



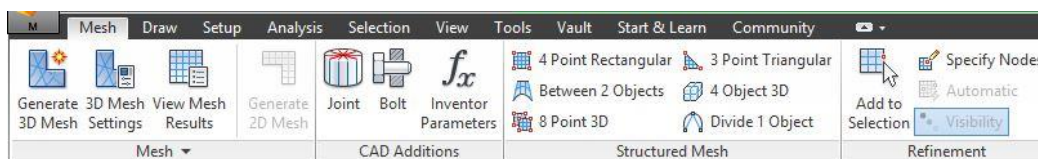
Слика 31 - Приказ алатке за аутоматско проверавање модела

Тако програм дефинише све податке који су му задати како би извршио задату анализу оптерећења (слика 32).



Слика 32 - Аутоматско проверавање модела

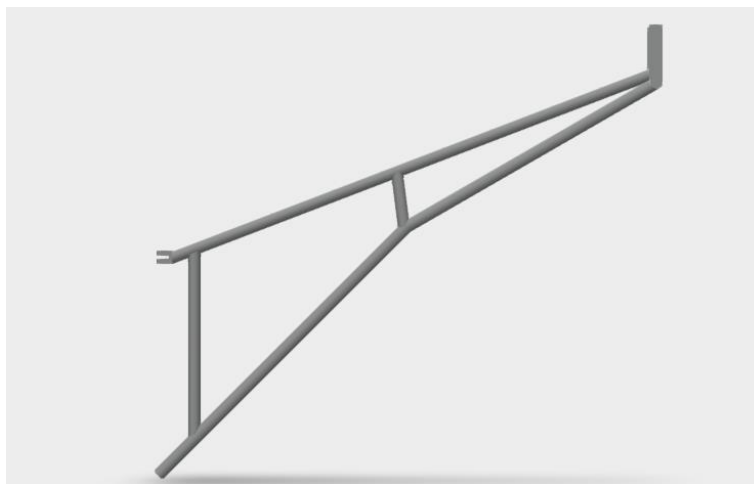
Након тога, кликом на команду *Generate 3D mesh* у палети алата *Mesh*, програм генерише све задате податке и представља резултате на основу тога (слика 33).



Слика 33 – Палета Mesh

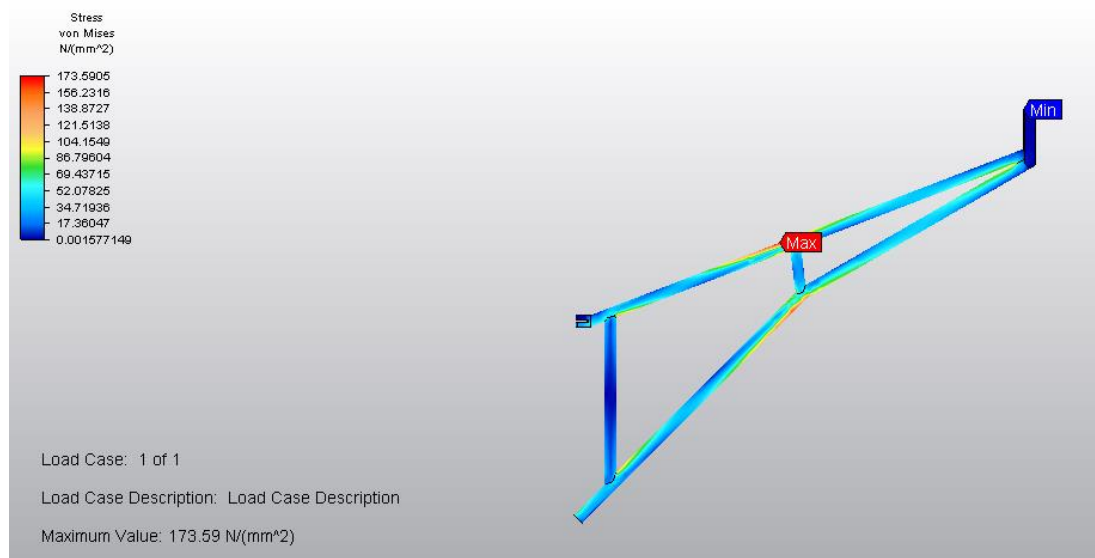
Прва анализа је рађена са цевима чије су димензије  $\varnothing 30 \times 1,5 \text{ mm}$ , односно са цевима  $\varnothing 30 \times 3,0 \text{ mm}$ .

На слици 34 је приказана геометрија заварене конструкције од цеви димензија  $\varnothing 30 \text{ mm}$  са дебљином зида од  $1,5 \text{ mm}$ .



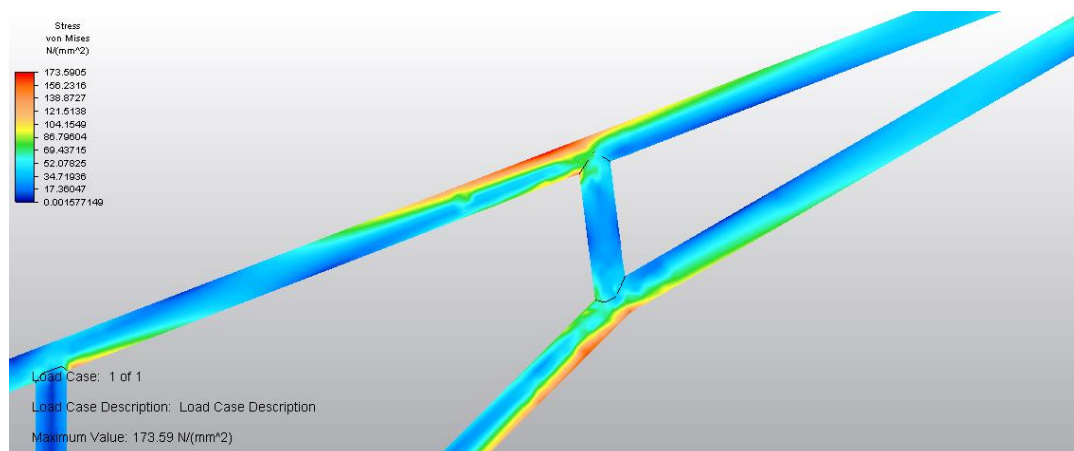
Слика 34 - Модел заварене конструкције

На слици 35 је приказана расподела *Von Mises*-ових напона. Приликом ове анализе види се да се највећи напон јавља на месту савијања цеви и попречне цеви која даје укружење конструкцији, а најмањи на цевима која трпи промене при затезању.



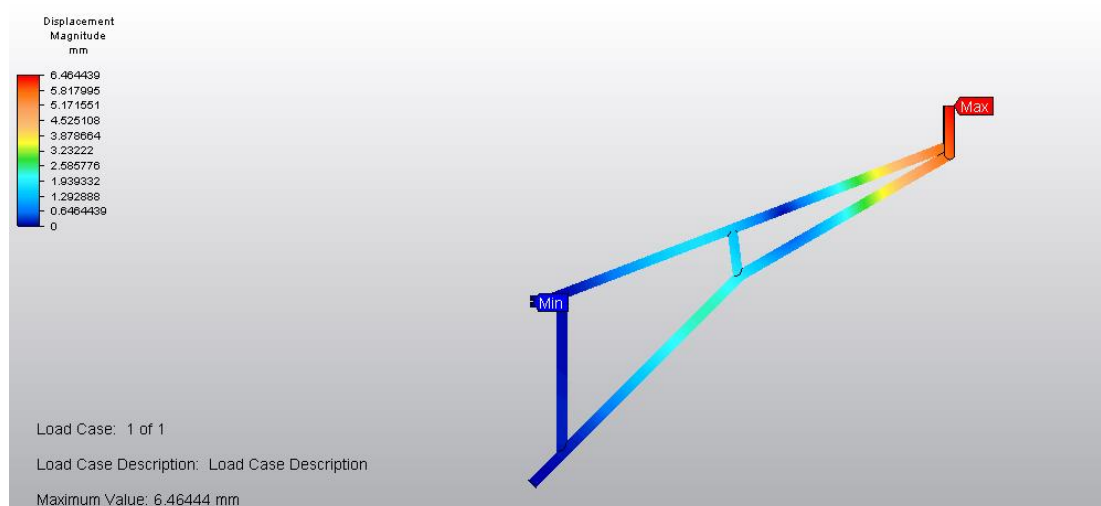
Слика 35 - Приказ *Von Mises*-ових напона ( $\varnothing 30 \times 1,5 \text{ mm}$ )

Највећи напон који се јавља је на месту завареног споја савијене цеви и укрућења износи 174 МПа (слика 36).



Слика 36 – Увеличан приказ расподеле Von Mises–ових напона (Ø 30 x 1,5 mm)

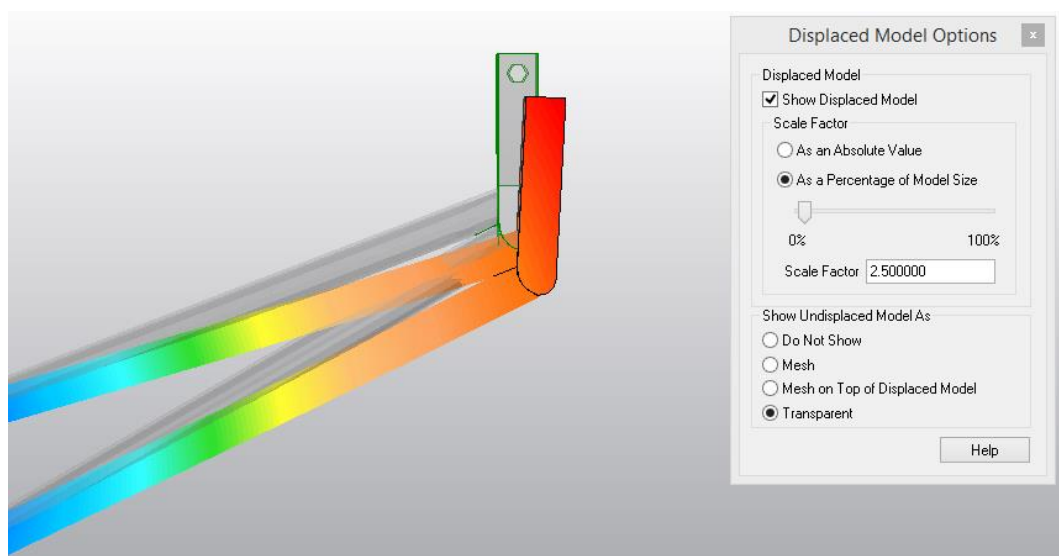
*Displacement* – померање је један од најбитнијих параметара у овом прорачуну. Представља померања (угиб) конструкције. Пошто у овом случају сила делује по Y оси ту ће бити и највеће померање (слика 37).



Слика 37 – Приказ расподеле померања (Ø 30 x 1,5 mm)

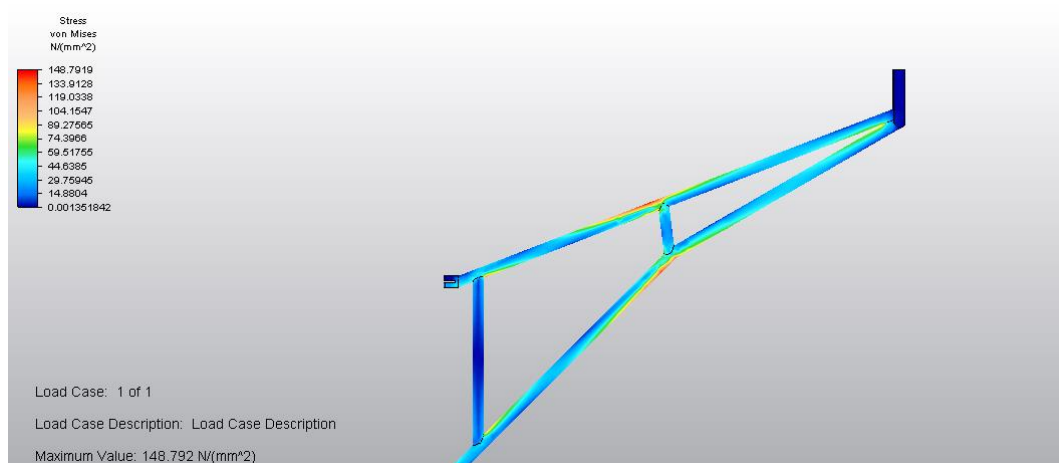
Померање је представљено на слици 38, увећано 2,5 пута како би се што јасније уочило какво се померање јавља на том месту.

Највеће померање износи 6,5 mm.



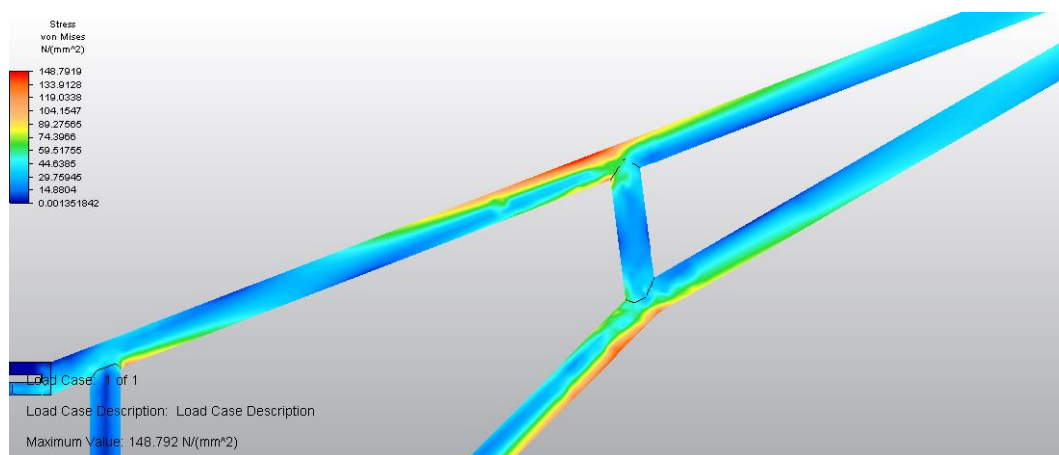
Слика 38 – Увећани приказ расподеле померања ( $\varnothing 30 \times 1,5 \text{ mm}$ )

На слици 39 је приказана расподела Von Mises-ових напона за цев димензија  $\varnothing 30 \times 3,0 \text{ mm}$ .

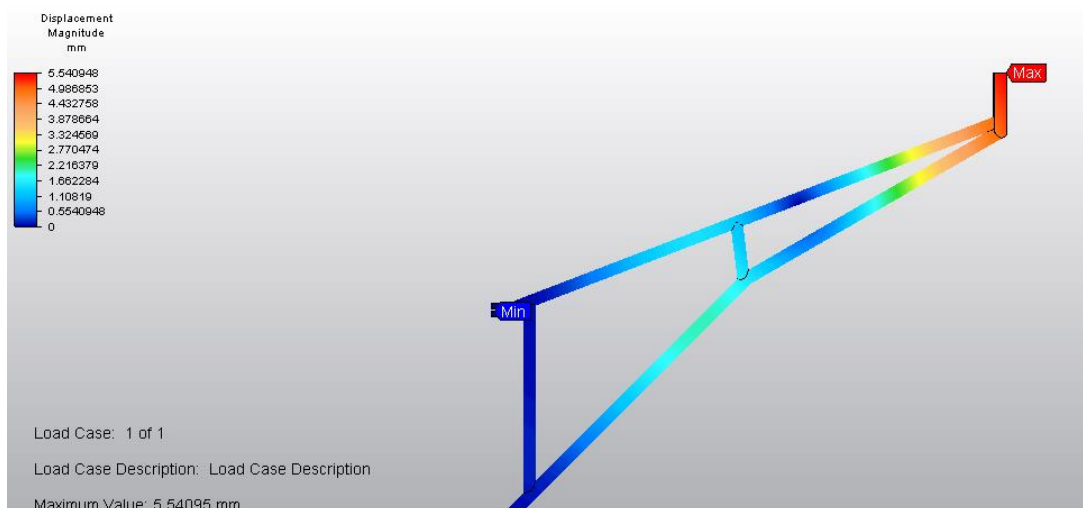


Слика 39 – Приказ расподеле Von Mises-ових напона ( $\varnothing 30 \times 3,0 \text{ mm}$ )

Највећи напон који се јавља је на месту завареног споја савијене цеви и укрућења износи 150 МПа (слика 40).



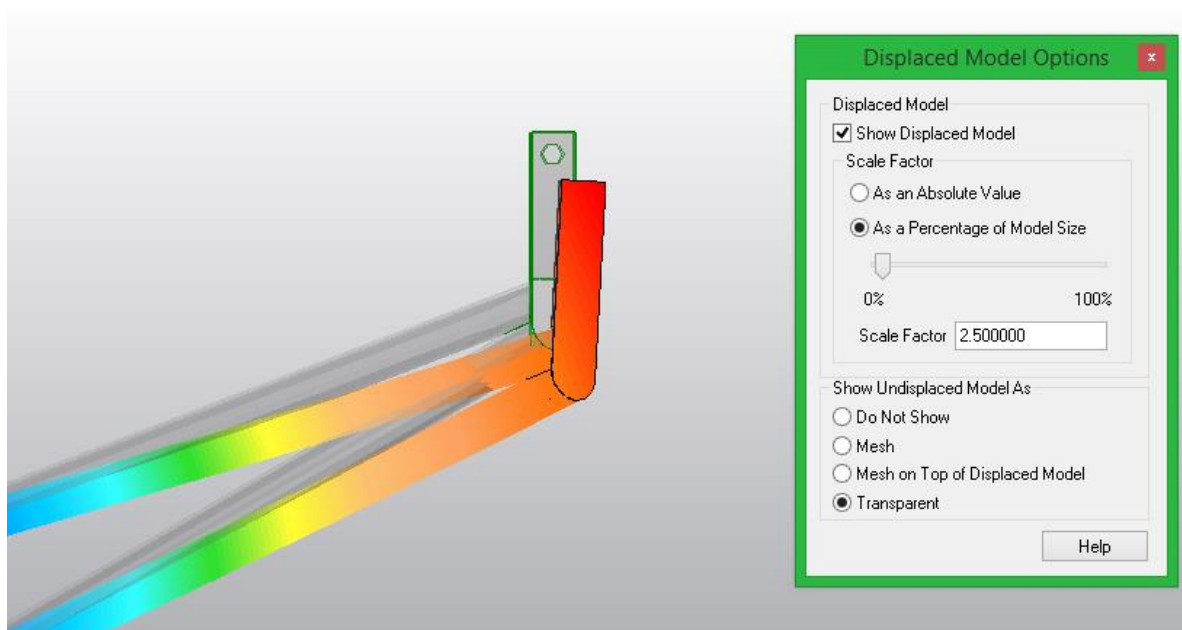
Слика 40 – Увећани приказ расподеле Von Mises–ових напона ( $\varnothing 30 \times 3,0 \text{ mm}$ )



Слика 41 - Расподела померања ( $\varnothing 30 \times 3,0 \text{ mm}$ )

Померање је представљено на слици 42, увећано 2, 5 пута како би се што јасније уочило какво се померање јавља на том месту.

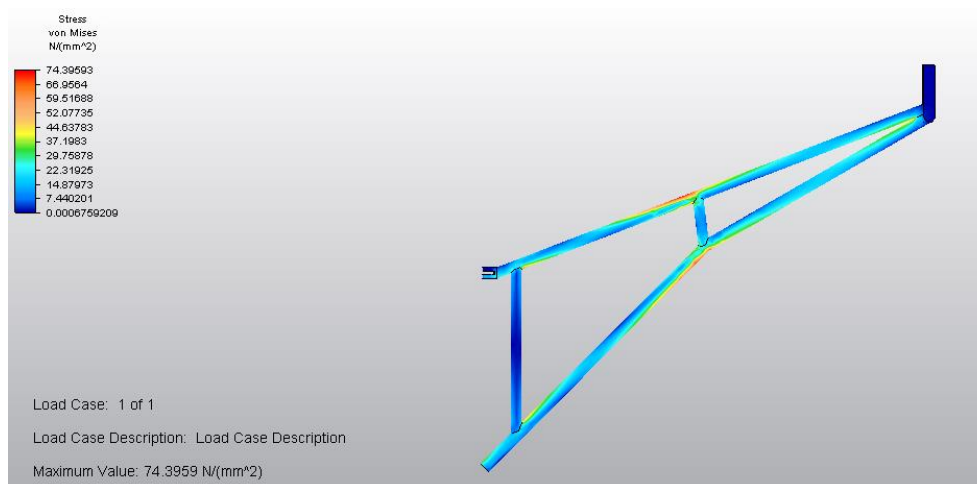
Највеће померање износи 5,5 mm.



Слика 42 – Увећана слика расподеле померања ( $\varnothing 30 \times 3,0 \text{ mm}$ )

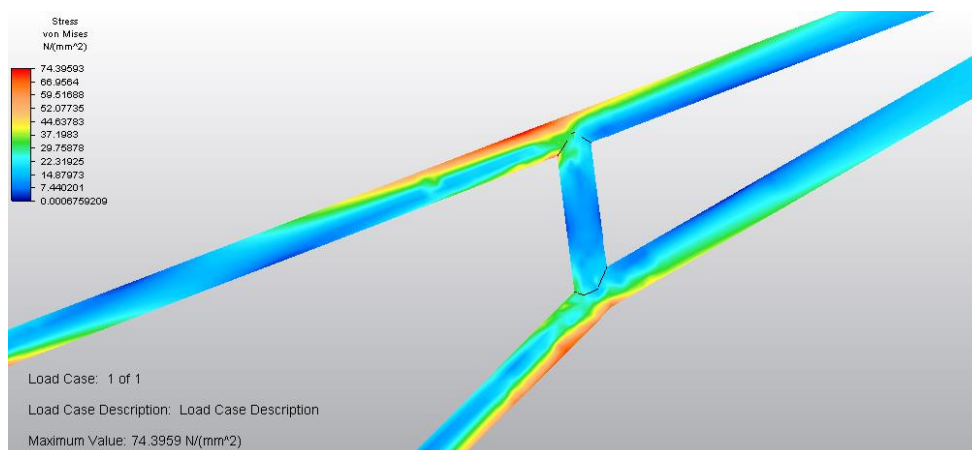
Друга анализа је рађена са цевима чије су димензије  $\varnothing 40 \times 1,5 \text{ mm}$ , односно са цевима  $\varnothing 40 \times 3,0 \text{ mm}$ .

На слици 43 је приказана расподела *Von Mises*-ових напона за цев димензија  $\varnothing 40 \times 1,5 \text{ mm}$ .



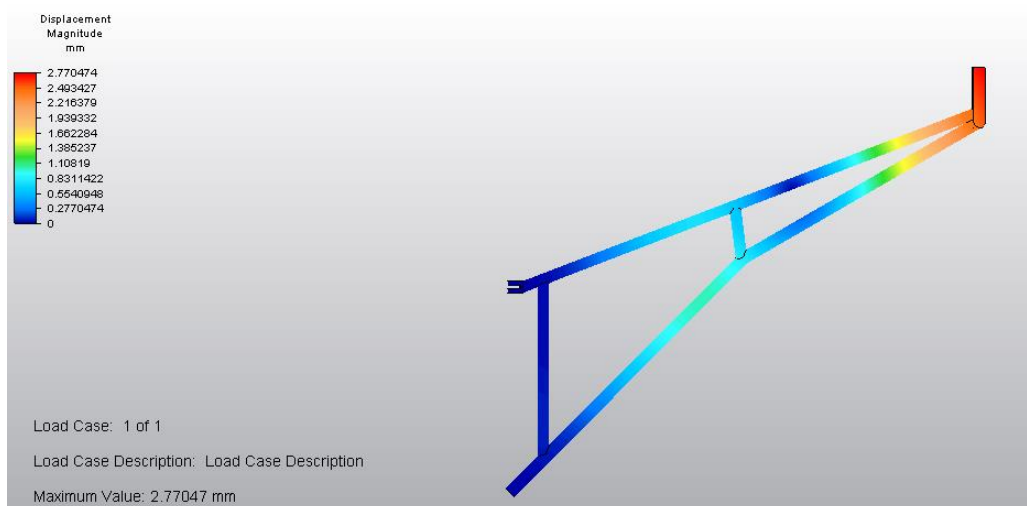
Слика 43 – Расподела *Von Mises*-ових напона-  $\varnothing 40 \times 1,5 \text{ mm}$

Највећи напон који се јавља је на месту завареног споја савијене цеви и укрућења износи 75 МПа (слика 44).



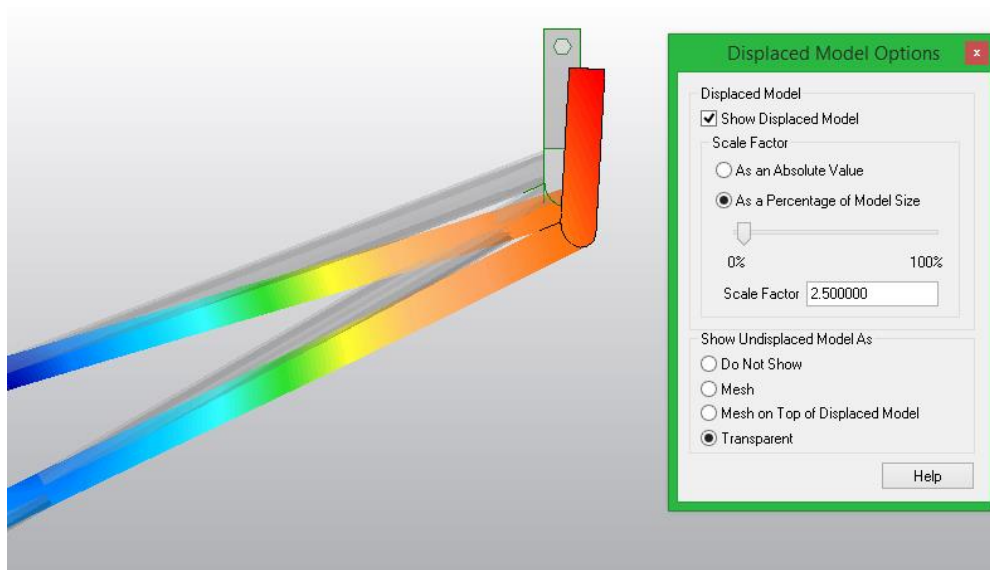
Слика 44 - Расподела Von Mises-овог напона- Ø 40 x 1,5 mm (деталј)

Расподела померања је приказана на слици 45.



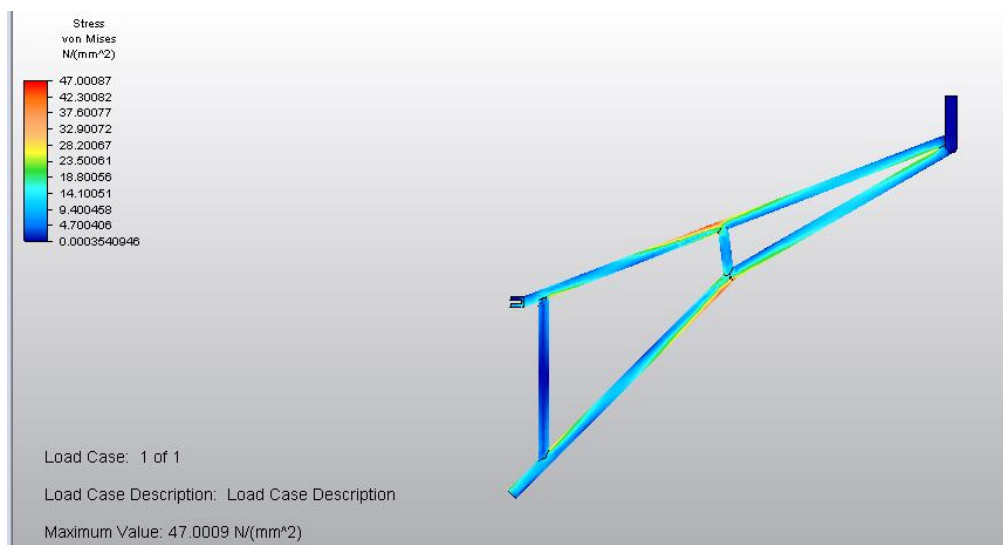
Слика 45 - Расподела померања- Ø 40 x 1,5 mm

Највеће померање износи 2,8 mm (слика 46).



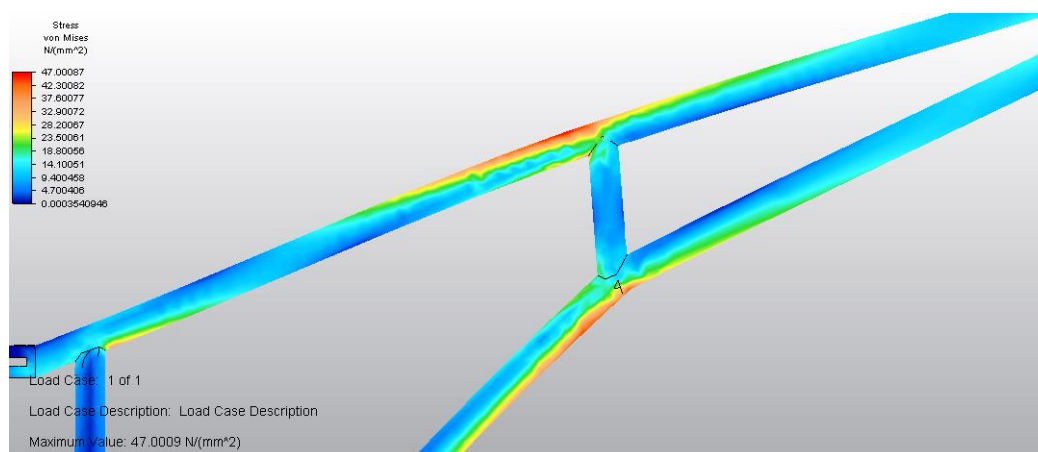
Слика 46 – Увећана слика расподеле померања ( $\varnothing 40 \times 1,5 \text{ mm}$ )

На слици 47 је приказана расподела *Von Mises*-ових напона за цев димензија  $\varnothing 40 \times 3,0 \text{ mm}$ .



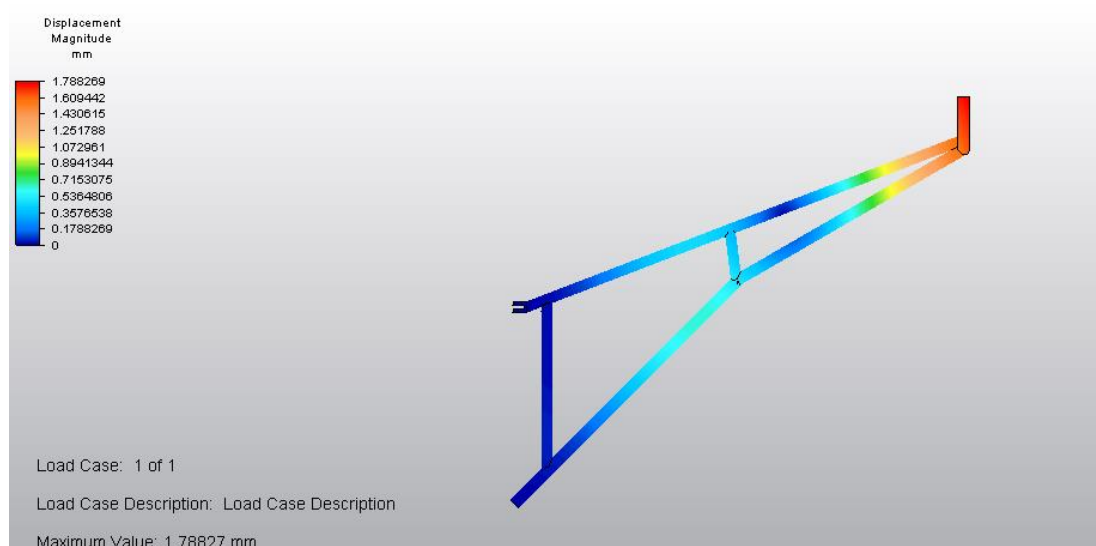
Слика 47 - Расподела *Von Mises*-овог напона-  $\varnothing 40 \times 3,0 \text{ mm}$

Највећи напон који се јавља је на месту завареног споја савијене цеви и укрућења износи 47 МПа (слика 48).



Слика 48 - Расподела Von Mises-ових напона- Ø 40 x 3,0 mm (деталј)

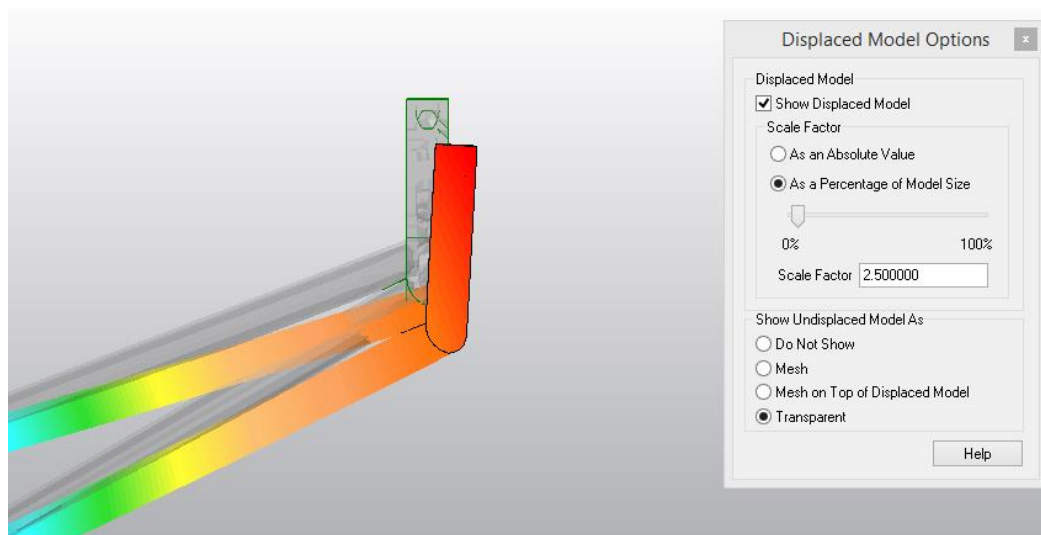
Расподела померања је приказана на слици 49.



Слика 49 – Расподела померања- Ø 40 x 3,0 mm

Померање је представљено на слици 50, увећано 2, 5 пута како би се што јасније уочило какво се померање јавља на том месту.

Највеће померање износи 1,8 mm.



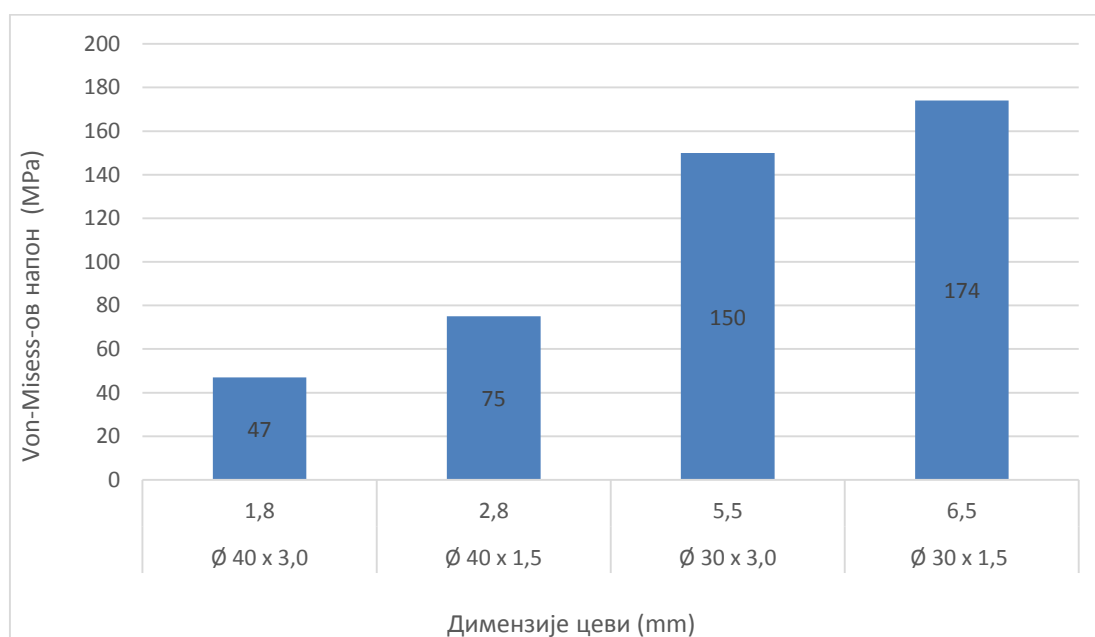
Слика 50 – Увећана слика расподеле померања (Ø 40 x 3,0 mm)

## 17.Анализа добијених резултата

У овом делу је извршена упоредна анализа свих добијених резултата у програмском пакету *Autodesk Simulation Mechanical* у зависности од димензија цеви заварене конструкције.

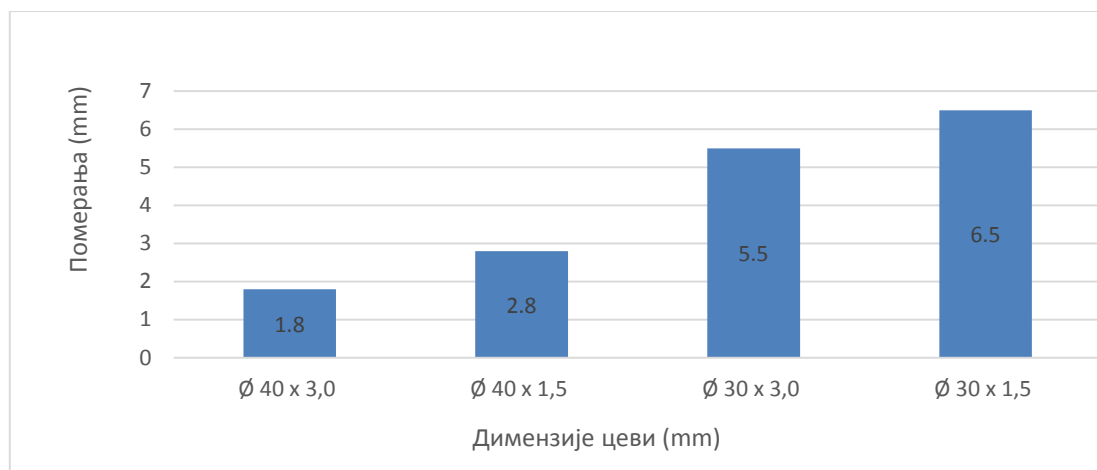
На дијаграму 1 је приказана упоредна вредност напона и деформација у зависности од различитих димензија цеви за исту вредност спољашњег оптерећења.

На основу анализа и дијаграма може се увидети разлика која се јавља уколико се за иста оптерећења примењују различите димензије цеви.



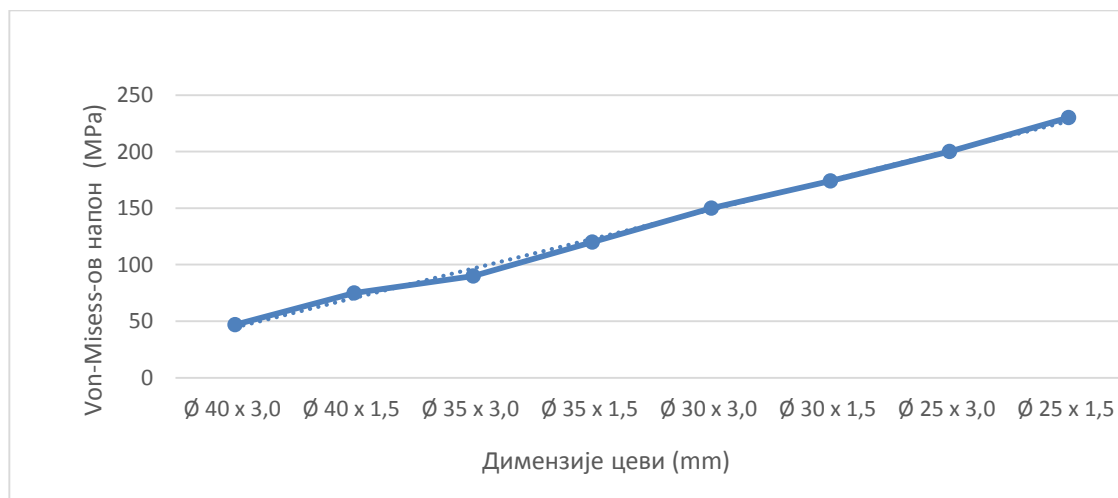
Дијаграм 1 – Расподела еквивалентног напона у зависности од димензија профила цеви

На дијаграму 2 су приказане упоредне вредности померања профила цеви конструкције у зависности од различитих димензија цеви уколико је сила која оптерећује конструкцију увек иста.



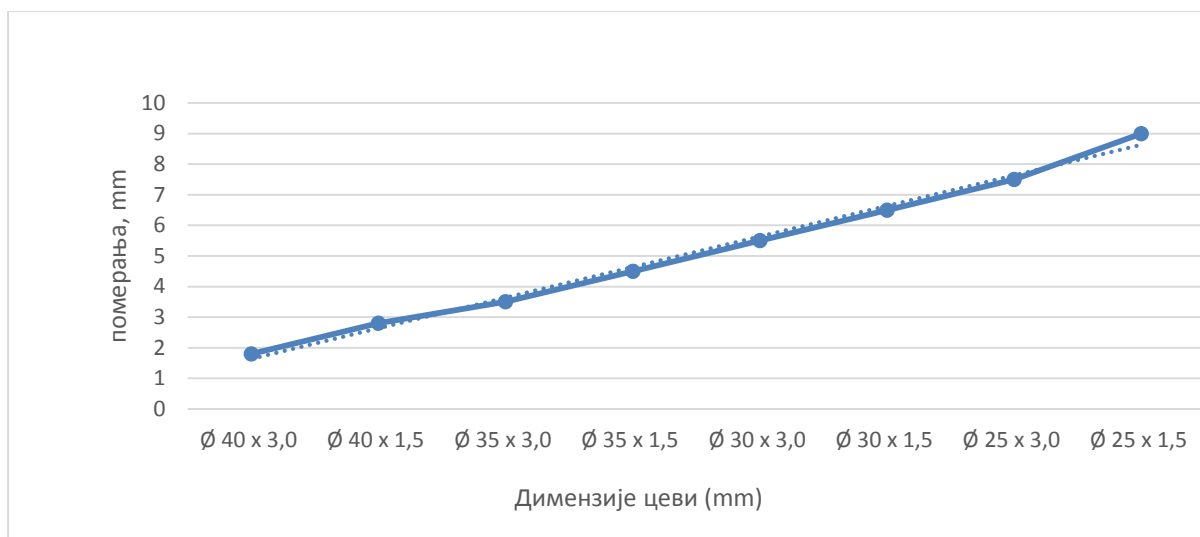
Дијаграм 2 – Расподела померања у зависности од димензија профила цеви

На основу добијених резултата, као и упоредних вредности напона и деформација, на дијаграму 3 је приказано како се вредности напона мењају у функцији димензија цеви.



Дијаграм 3 – Приказ расподеле напона у зависности од димензија профила цеви

Такође, може се добити и расподела померања у функцији димензија цеви (дијаграм 4).



Дијаграм 4 – Приказ расподеле померања у зависности од димензија профила цеви

## Закључак

Дизалице и остала транспортна средства човечанству су позната још од најранијих дана. Изградња грађевина старог Рима, Грчке и Египта не би била могућа без њихове примене. У наредним вековима дошло је до еволуције дизаличних конструкција. Данас постоји огроман број најразличитијих дизалица које се и даље убрзано усавршавају јер је потреба за већим и моћнијим дизалицама све већа.

У релативно кратком временском периоду становништво је од примитивних грађевинских дизалица дошло до невероватне техничке развијености која му је олакшала и унапредила обављање многобројних послова.

У овом раду пажња је посвећена мањим дизалицама – грађевинским. То су посебне врсте дизалица за пренос материјала на градилишту. Састоје се од непокретног дела и окретног тј. покретног дела, на коме се налази крак (грана, стрела) са системом котурача за дизање терета помоћу ужади. Цео овај механизам покреће електромотор.

Тродимензионални приказ конструкције грађевинске дизалице је урађен у оквиру софтверског пакета *Autodesk Inventor*, а у оквиру софтверског пакета *Autodesk Simulation Mechanical* извршена је анализа напона и деформација.

Задатак овог рада био је да се изврши анализа напона и деформација које се јављају приликом оптерећења које делује на приказану заварену конструкцију.

У овом раду је извршено моделирање и испитивање грађевинске дизалице. На основу одређених габарита, димензија, врсте материјала и функционалности извршена је анализа напона и деформација у задатом софтверском пакету.

Из резултата се јасно може видети који су делови конструкције највише оптерећени, као и на којим се местима јавља највећи напон, односно померање.

Такође, направљен је упоредни приказ зависности напона и померања која се јављају у односу на задато оптерећење уколико се користе различите димензије цеви.

На основу урађених анализа изводи се закључак да је конструкција способна да са сигурношћу извршава своју функцију, уз правилно одабране врсте материјала и димензије профила.

## Литература

- [1] С.Б. Тошић: *Прорачун машина непрекидног транспорта и дизаличних уређаја*, Машински факултет, Београд, 2001.
- [2] В. Николић: *Машински елементи: теорија, прорачун, примери*, Машински факултет, Крагујевац, 2004.
- [3] Р. Мијајловић: *Дизалице основе*, Машински факултет, Ниш, 1994.
- [4] С. Дедијер: *Транспортни уређаји*, Сарајево, 1976.
- [5] Autodesk Inventor Professional, <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products>
- [6] Autodesk Simulation Mechanical, <https://knowledge.autodesk.com/support/simulation-mechanical>