

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Увод у механику лома

Број индекса: 305/2017

Драгана С. Бировеско

Анализа напонско – деформационог стања алуминијумског држача са прслином Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Весна Марјановић, ванредни професор–ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Оквирни садржај мастер рада:

Рад треба да садржи основне поставке Механике лома и њене примене на анализу напонско-деформацијског стања једне конкретне лаке конструкције. При овоме је потребно користити софтверски пакет ИНВЕНТОР ради лакшег добијања резултата за анализу напона и деформација, без и са прслином. Као прилог потребно је дати комплетну техничку документацију коришћене конструкције.

Препоручена литература:

1. Николић Р., Вељковић Ј., Марјановић В.: МЕТАЛНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ-збирка решених задатака, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу САД Лабораторија, 2013.
2. Марјановић В., Основне поставке Механике лома, скрипта у електронском облику, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2018.
3. Николић Р., Марјановић В.: Металне конструкције – Приручник за прорачуне, Машински факултет Крагујевац, 1998.

Крагујевац,
јул, 2019

Предметни наставник:
Др Весна Марјановић, ванредни професор

САДРЖАЈ

1. Увод.....	2
1.1 Подела механике лома	4
1.2 Основни облици стварања површине лома	5
1.3 Настанак и раст прслине.....	6
1.3.1 Узрочници лома и методе ојачања и повећања века конструкције	6
1.3.2 Одређивање величине иницијалне прслине и њеног даљег раста	7
1.3.3 Испитивање на замор.....	8
2. Линеарно-еластична механика лома	9
2.1 Фактор интензитет напона KI	9
2.2 Расподела напона у околини врха прслине	10
2.3 Критична вредност фактора интензитета напона (жилавости лома) - KIC	12
2.4 Одређивање фактора интензитета напона - KI	13
2.5 Одређивање жилавости лома - KIC	16
3. Еласто – пчастична механика лома	17
3.1 Проблем кртог лома <i>Griffith</i> – ово решење.....	17
3.2 Пластичност врха прслине	18
3.3 J - интеграл.....	19
3.4 Поље у околини врха прслине	20
3.5 J – интеграл на почетку раста прслине	21
3.6 Крива отпора раста прслине (R - крива)	22
4. Анализа покретног држача за телевизор	24
4.1 Монтажа покретног држача за телевизор	24
4.2 Анализа покретног држача за телевизор са инерцијалном прслином	30
4.3 Анализа завртњева на елементу 6 са иницијалном прслином.....	42
5. Закључак	53
Литература.....	54
Прилог	55

Списак слика:

Слика 1. Троугао механике лома [2]

Слика 2. Поједностављени приказ структуре механике лома [2]

Слика 3. Нооке - ови дијаграми [1]

Слика 4. Модови (облици) површине лома [3]

Слика 5. а) Геометрија површинске и унутрашње прслине; б) Шематски приказ расподеле напона дуж пресека $X' - X'$ [2]

Слика 6. Расподела напона у околини врха прслине [2]

Слика 7. Расподела напона у околини врха прслине [2]

Слика 8. Елиптичка прслина у унутрашњости и полу – елиптичка прслина на површини узорака [2]

Слика 9. Криеријум Грифита за случај константног померања: а) Плоча са прслином и укљештеним крајевима; б) Дијаграм сила – померање и еластична енергија [3]

Слика 10. а) Пластично деформисано подручје око врха прслине и дебелој затегнутој плочи; б) Његова величина за жилав, крт и жилаво – крт материјал [3]

Слика 11. Произвољна путања интеграције Γ за J интеграл [3]

Слика 12. HRR поље у околини врха прслине [2]

Слика 13. Утицај J - интеграла на процесну зону лома [2]

Слика 14. Затупљивање и стабилан раст прслине [2]

Слика 15. R – крива [2]

Слика 16. Примена R – криве [2]

Слика 17. Фактори који утичу на еласто - пластичну R – криву [2]

Слика 18. Елемент 1

Слика 19. Поклопац за кутијасте профиле

Слика 20. Елемент 2

Слика 21. Елемент 3

Слика 22. Елемент 4

Слика 23. Елемент 5

Слика 24. Иверица

Слика 25. Клин

Слика 26. Скоп наведених елемената: 1- елемент 1, 2- поклопац, 3 – елемент 2, 4 – елемент 3, 5 – елемент 4, 6 – елемент 5, 7 - иверица, 8 – клин, 9 – точак.

Слика 27. Елемент 6

Слика 28. Елемент 7

Слика 29. Елемент 8

Слика 30. Елемент 9

Слика 31. Скоп горњих елемената

Слика 32. Цео склоп модела: 1 - елемент 1, 2 - поклопац, 3 - елемент 2, 4 - елемент 3, 5 - елемент 5, 6 - елемент 5, 7 – иверица. 8 – клин, 9 – елемент 6, 10 – елемент 7, 11 – елемент 8, 12 – елемент 9, 13 – точак.

Слика 33. Вон Мизесов напон

Слика 34. Детаљан приказ Вон Мизесовог напона

Слика 35. Нормални напон

Слика 36. Детаљан приказ нормалног напона

Слика 37. Померање

Слика 38. Детаљнији приказ померања

Слика 39. Степен сигурности
Слика 40. Вон Мизесов напон
Слика 41. Детаљан приказ Вон Мизесовог напона
Слика 42. Нормални напон
Слика 43. Детаљан приказ нормалног напона
Слика 44. Померање
Слика 45. Детаљан приказ померања
Слика 46. Степен сигурности
Слика 47. Вон Мизесов напон
Слика 48. Детаљнији приказ Вон Мизесовог напона
Слика 49. Нормални напон
Слика 50. Детаљан приказ нормалног напона
Слика 51. Померање
Слика 52. Детаљнији приказ померања
Слика 53. Степен сигурности
Слика 54. Приказ завртња који се анализира
Слика 55. Вон Мизесов напон
Слика 56. Нормални напон
Слика 57. Померање
Слика 58. Степен сигурности
Слика 59. Приказ завртња који се анализира
Слика 60. Вон Мизесов напон
Слика 61. Нормални напон
Слика 62. Померање
Слика 63. Степен сигурности
Слика 64. Приказ завртња који се анализира
Слика 65. Вон Мизесов напон
Слика 66. Нормални напон
Слика 67. Померање
Слика 68. Степен сигурности
Слика 69. Приказ завртња који се анализира
Слика 70. Вон Мизесов напон
Слика 71. Нормални напон
Слика 72. Померање
Слика 73. Степен сигурности

Списак табела

Табела 1. Типови лома код неких материјала [1,2]

Табела 2. Зависност фактора интензитета напона - K_I од специфичних димензија узорака [1,2]

Табела 3. Жилавост лома - K_{IC} за неке материјале [2]

Табела 4. Добијени резултати

Табела 5. Добијени резултати завртњева

РЕЗИМЕ

У оквиру мастер рада дат је прво приказ теоријских основа механике лома са посебним освртом на основне параметре лома, како у линеарно-еластичној тако и у еласто-пластичној механици лома. Као пример анализе напона и деформација са и без иницијалне прслине дат је алуминијумски покретни држач за телевизор. Поред резултата и њихове анализе на крају је приложена и комплетна техничка документација коришћене конструкције.

Кључне речи: механика лома, параметри лома, покретни, телевизор.

ABSTRACT

In the master's thesis, the theoretical fundamentals of fracture mechanics is shown, with special emphasis on the basic parameters of the fracture, both in the linear-elastic and in the elastic-plastic fracture mechanics. As an example of stress analysis and deformation with and without an initial crack, the movable holder for the TV made out of aluminum is provided. In addition to the results and their analysis, the complete technical documentation of the construction is also included.

Key words: fracture mechanics, parameters of the fracture, moveable, tv.

1. Увод

Механика лома је наука која се бави проблематиком појаве прслина у структури материјала, кртим и квази кртим телима. Уобичајни концепт прорачуна не узима у обзир чињенице да је материјал нехомоген услед грешака и прслина насталих у процесу добијања материјала и његове обраде као и претходним фазама експлоатације [1].

Развој механике лома, као науке, почео је почетком XX века, и то захваљујући радовима Inglis-а о концентracији напона, односно радовима Griffith-а о брзини ослобађања енергије. Средином XX века свој допринос развоју ове науке, дао је и он је поставио темеље линеарноеластичне механике лома Irwin. Дакле, Irwin уводи фактор интензитета напона, као и његове критичне вредности. Теоријске основе су нашле своју примену у пракси дајући значајне резултате објашњавајући узроке лома брода “Liberty” и авиона “Comet I” [2].

Корени механике лома могу се тражити у првим описима испитивања механичких особина и лома. Леонардо да Винчи је користио уређај за испитивање отпорности гвоздених жица различитих дужина и утврдио да отпорност опада са повећањем дужине жице која се испитује [1].

Ова наука даје објашњење за еласто – пластичну област испред врха прслине и то увођењем адекватних параметара као што су: брзина ширење врха прслине и J – интеграл. Механика лома налази примену код конструкција изложеним радним условима истакнутим за раст прслине као што су замор и корозија.

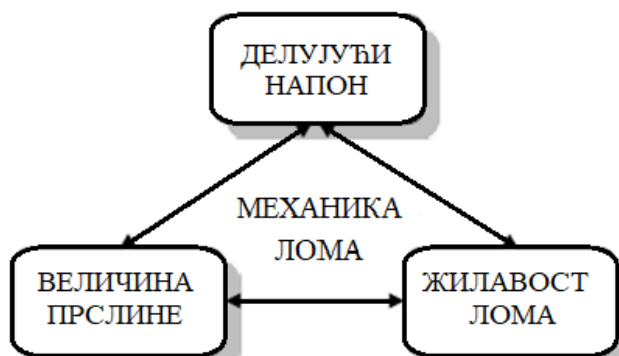
Термин механика лома има двојаки смисао. У ужем смислу се односи на истраживање услова развоја пукотине. У ширем смислу он обухвата и део отпорности материјала, који се односи на завршну фазу процеса деформисања под дејством оптерећења. Због тога се у механици лома проучавају изузетно важни проблеми отпорности и лома конструкција.

На темељима механике лома темељи се и интегритет конструкције. Ово је нова научна дисциплина. Механика лома је нашла широку примену у решавању инжењерских проблема који се називају и интегритет конструкције. Интегритет конструкције може се представити троуглом механике лома (слика 1). Интегритет конструкције у ширем смислу обухвата анализу стања и дијагностику понашања и попуштања, процену радног века конструкције. Ова дисциплина се бави следећим стварима:

- Анализом напонско-деформационог стања у структури без прслина, применом методе коначних елемената–МКЕ (ФЕМ-Фините Елемент Метход), чиме се добија прецизна и детаљна расподела напона, померања и деформација у структури. На тај начин могуће је утврдити „слаба“ места и предупредити појаву прслина, као и њихов даљи раст.
- Анализом ширења већ постојеће прслине у структури, као и даље понашање конструкције под дејством делујућег оптерећења. Утврђивање стабилности раста у структури, ако и примена мере у циљу спречавања појаве лома [2].

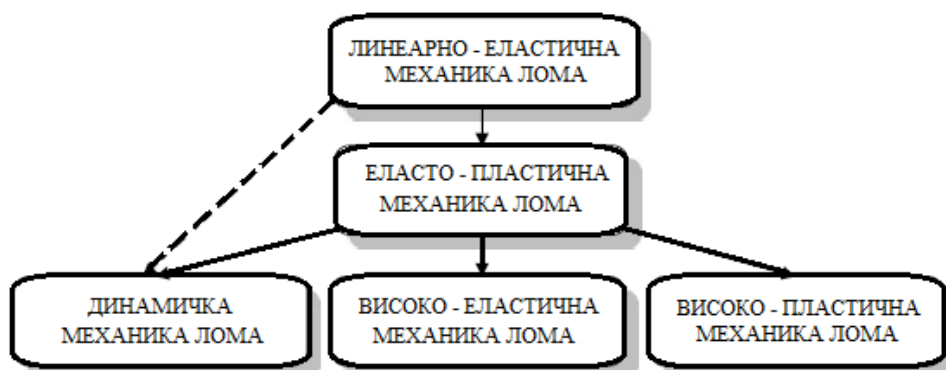
Како би инжењерима било лакше да решавају проблеме везане за механику лома користе следеће софтверске пакете: *ANSYS* и *Abaqus*. Пакети су конципирани на методи коначних елемената. Елемент који се испитује моделира се у другом адекватном пакету, затим се врши прорачун структуре.

Проблем који може да се нађе при експлоатацији елемента који се испитује, је раст прслине. Да би се решио проблем, потребно је применити механику лома и да упореди са анализом раста силе прслине и отпорности материјала. На основу добијених резултата могуће је извршити процену даљег понашање конструкције.



Слика 1. Троугао механике лома[2]

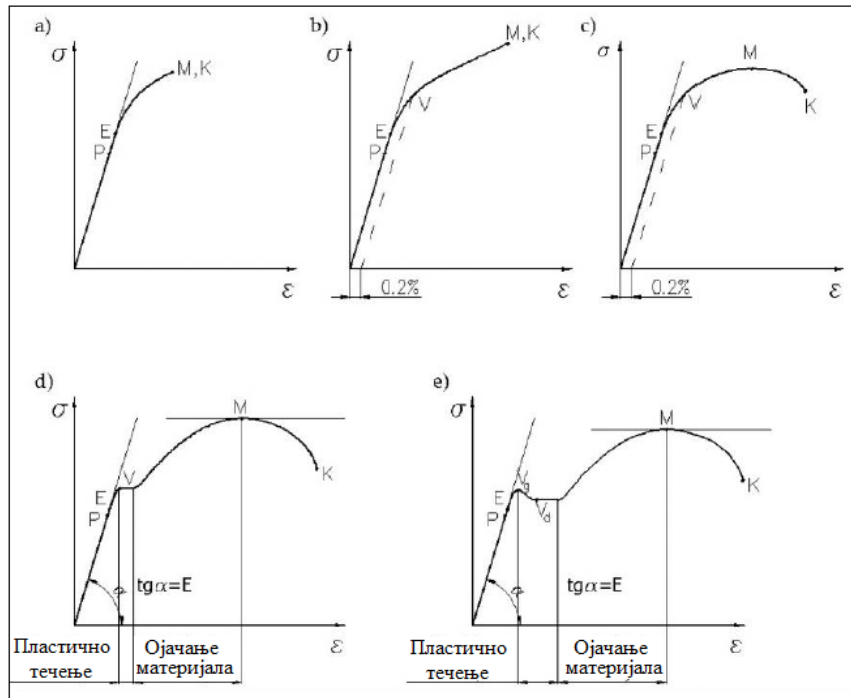
Основе механике лома, односно основни концепт линеарно – еластичне и еласто – пластичне механике лома (слика 2) [2].



Слика 2. Поједностављени приказ структуре механике лома[2]

1.1 Подела механике лома

Проучавање механике лома је понашање материјала под дејством оптерећења. Веза између напона - σ и деформације - ε дефинисана је *Hooke* – овим законом (слика 3) [1,2].



Слика 3. *Hooke* - ови дијаграми[1]

На овом дијаграму, тачка Р представља границу пропорционалности, односно тачку до које је веза између напона - σ и деформације - ε линеарна, што се може приказати следећом једначином:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

Где је: E – *Young*– ов модул еластичности (карактеристика материјала)

Граница еластичности се представља тачком Е (тачка еластичности), што значи да се структура по престанку дејства оптерећења враћа у првобитно стање. Веза између напона и деформације није више линеарна. Након границе еластичности је подручје пластичности, што значи да се структура не враћа у првобитно стање након растерећења (долази да њеног пластичног деформисања).

На основу ових карактеристичних тачака *Hooke* – овог дијаграма, имамо поделу механике лома на следеће подобласти:

- Механика линеарно–еластичног лома бави се проучавањима структуре у подручју линеарне еластичности материјала (до тачке Р). У оквиру еластичног понашања материјала широко су развијене научне дисциплине, као што су : виско – еластичност и термо – еластичност (до тачке Р).
- Од 1960. године развијене су различите теорије механике лома о феномену пластичног понашања материјала: теорија пластичности, виско – пластичност и термо – пластичности (до тачке Р) [1].

У табели 1 дат је приказ типова лома код неких материјала на температури околине [2].

Табела 1. Типови лома код неких материјала [1,2]

МАТЕРИЈАЛ	ТИП ЛОМА на температури околине
Челок велике чврстоће	Линеарно – еластичан
Челик ниске и средње чврстоће	Еластично – оластичан / потпуно
Аустенит нарђајуи челик	Потпуно еластичан
Алуминијум отворднут таложењем	Линеарно – еластичан
Метали при високим температурама	Виско – пластично
Метали при великим брзинама	Динамичко – високо – пластичан
Полимери (испод T_g)*	Линеарно – еластицан / високо – еластичан
Полимер (изнад T_g)*	Виско - пластичан
Монолитна керамика	Линеарно – еластичан
Керамички композит	Линеарно – еластичан
Керамика при високим температурама	Виско - пластичан
* T_g – температура прелаза (за стакло)	

У случају постојања прслина и / или зареза у структури, долази до прерасподеле напона у близини њиховог врха (појава концентрације напона). Под дејством повишене вредности напона у тој зони настаје пластична деформација. Базирајући се на овој предпоставци даља анализа настанка и раста прслине је обрађена на бази теоријских принципа механике линеарно – еластичног лома. За област у близини врха прслине врши се корекције засноване на бази теорије пластичности [2].

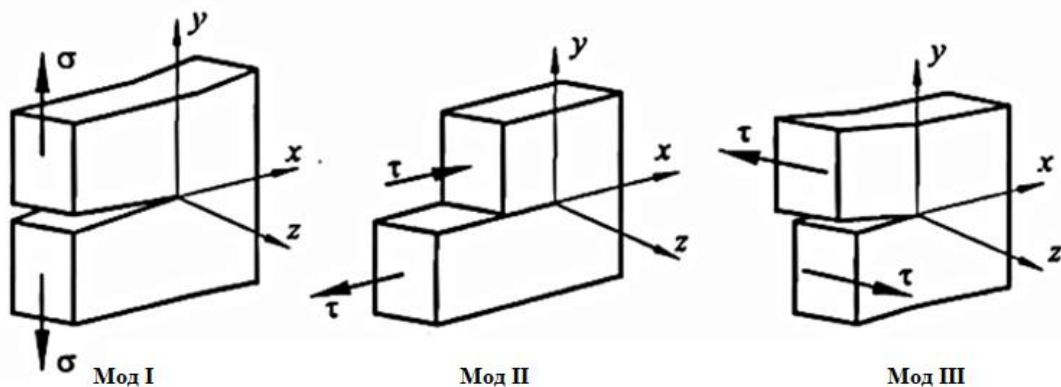
1.2 Основни облици стварања површине лома

Раст прслине зависи од напонско – дефинисаног стања у околини њеног врха. Расподела напона у поменутој области зависи од облика образованих површина лома. Површина лома представља неоптерећену границу напрегнутог тела [2,3].

Код изотропских материјала разликују се три основна облика померања површина прслине (слика 4).

- **Мод I (истезање):** прслина настаје цепањем (раздвајањем површина лома дуж у – осе, симетрично у односу на првобитно раван прслине (раван xz)).
- **Мод II (смицање у равни):** развој прслине клизањем представља померање једне површине лома према другој у истој равни (раван xz). Код овог облика, површине клижу једна по другој и то у правцу x – осе, али у супротним смеровима.

- **Мод III (смицање ван равни):** прслина се образује бочним смицањем и то померањем једне површине по другој дуж чела прслине (z - осе). При том, тачке које су пре настанка прслине биле у истој вертикалној xy – равни. Код овог облика долази до међусобног клизања површина у правцу z – осе [3].



Слика 4.Модови (облици) површине лома[3]

Најзаступљенији облик стварања површине лома приликом пројектовања и експлоатације конструкције јесте облик I. При оптерећењу машинског елемента на затезање долази до појаве прслине цепањем материјала, а затим и до њеног неконтролисаног раста. Даљим растом прслине долази до лома конструкције. Углавном се јављају комбинације сва три случаја лома.

1.3 Настанак и раст прслине

1.3.1 Узрочници лома и методе ојачања и повећања века конструкције

Током пројектне фазе немогуће је у обзиру на све факторе, веома је тешко тачно одредити реалан спектар оптерећења: интензитет и функционалну зависност од експлоатационе учесталости. Одређивање се своди на домен статистике и вероватноће (предвиђање догађаја) [2].

Главни узрочници лома конструкције су:

- Дефект у материјалу;
- Недостаци при изради (у току производње);
- Непрецизност при пројектовању и конструисању;
- Оштећења настала неадекватном монтажом и транспортом;
- Оперативно преоптерећивање;
- Неадекватно и непотпуно одржавање;
- Заморни лом;
- Утицај окружења (температура, влага, корозија).

Током пројектовања конструкције, потребно је сагледати све аспекте у којима се иста користи, а потом у циљу остваривања што је могућег дужег века, тежити ка следећем:

- Пројектовати конструкцију тако да радни напон буде знатно мањи у односу на напон течења;
- Ако је могуће, дефинисање адекватне геометрије и избор адекватног материјала, постићи што равномернију расподелу деформације, напона и енергије;
- Дефинисати геометрију конструкције тако да се избегну места која узрокују концентрацију напона у структури: нагле промене попречног пресека, оштре ивице;
- Избежавати спајање помоћних елемената и осталих делова структуре на местима високог напона;
- Користити материјал са што већом дуктивношћу и жилавошћу.

Ток добијања примерака је од изузетног значаја на својству материјала: резање или пластично деформисање. Резањем се добија прекид влакна, што проузрокује смањење чврстоће и динамичке особине. Неадекватна израда примерака ливењем може довести до појаве оштећења на површини али и у материјалу, нехомогености и појаве локалног прегревања.

Брзина расте прслине зависи од:

- Периодичности и интензитета оптерећења;
- Особина материјала;
- Утицај околине (температура, влага, корозија);
- Структурног распореда: да ли у структури постоје ојачања која успоравају раст прслине.

1.3.2 Одређивање величине иницијалне прслине и њеног даљег раста

Величина иницијалне прслине - a_0 (прслина која постоји у структури пре њеног увођења у експлоатацију) се одређује на више начина као што су:

- Једносмерном струјом;
- Пенетрацијом;
- Магнетном методом;
- Радиографски;
- Ултразвучно.

Критична величина прслине - a_c се одређује на основу примењеног напона - σ и жилавости лома - K_{IC} . Дозвољена величина прслине одређује се дељењем критичне величине прслине a_0 коефицијентом сигурности [4].

1.3.3 Испитивање на замор

Замор је постајао све више релевантан за технолошки развој у аутомобилској индустрији, на конструкцијама, пумпама, турбинама, итд., где се понављају оптерећења и вибрације. Сви механички кварови могу се преписати замору у 90% случајева. Посебно је опасно када дође до замору, јер се јавља без икаквих проблема и очигледних упозорења. Због тога је методологија предвиђања кварова има огроман значај у индустрији и преакси [1,2,5].

Ломови и кварови су уобичајени проблеми код индустријске опреме. У науци о савременим материјалима, механика лома је важан алат у побољшању механичких перформанси механичких компоненти.

Прслине могу настати због замора а структуре су тако распоређене да прслине неће довести до тог неуспеха структуре пре него што се открију и поправе. Главни предност је у томе што замор није проблем сигурности, већ одржавање проблем [3,5].

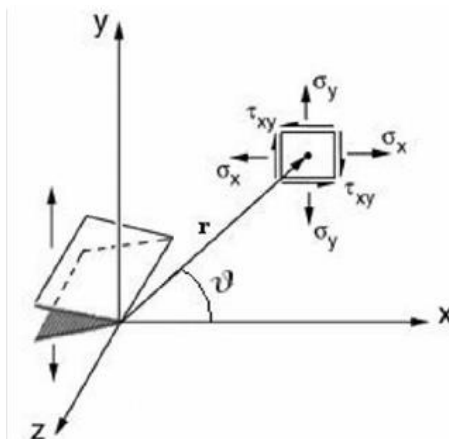
Претпоставља се да ће доћи до прслине узрокованих замором и користи анализе механике лома и испитивања како би проверио да ли ће такве прслине расти довољно да произведу грешке пре него што се открију периодичним прегледом. Другим речима, то укључује дизајнирање под претпоставком да недостаци постоје у структури. Раст прслине гарантује сигурност рада. Потребно је проценити два главна критична аспекта анализе: животни век прслине и преостала чврстоћа. Како прслина расте под цикличним оптерећењем, преостала снага се смањује. Величина прслине зависи од материјала, околине, компоненте и конфигурације прслине, локације и начина раста прслине. Брзина раста заморне прслине је најважнија, треба је проценити за конструкцију толеранције оштећења конструкцијских компоненти које се могу користити.

За примену концепта толеранције оштећења потребно је направити поуздану процену броја циклуса оптерећења потребних за ширење прслине од минималне детектабилне величине до критичне величине. Интервали инспекције морају да се заснивају на овој процени или замору ширење прслине на критичну величину, треба да траје толико времена да покрива читав радни век.

Ширење прслине брзина и лом се контролишу интензитетом напрезања на врху прслине. Безбедан или оштећен толерантан, дизајн се може постићи коришћењем ефективне баријере за брзо успоравање ширење прслине у нормалним радним условима (нивои напрезања). Поље напона у близини врха прслине пружа област ниског интензитета напрезања на путу ширења прслине. Истраживачким напорима се развијају методе анализе за пројектовање сигурних конструкција различитих структурних геометрија под различитим условима оптерећења [1,2,3,5].

2.2 Распoдела напона у околини врха прслине

Вредност напона и деформација зависе од : спољашња оптерећења, дужина прслине a , као и димензије узорка. Помоћу фактора интензитета напона могу се бити обједињени поменути утицаји. Фактор интензитета напона је доминантан у околини врха прслине такозвани ‘ K – доминантној области’ (слика 7). Уз сам врх се налази пластична област у оквиру које долази до појаве жилавог лома [1,2,3].



Слика 6. Распoдела напона у околини врха прслине[2]

Са слике 6 види се један елемент у близини врха прслине, као и вредности нормалног напона у правцу x и y – осе (σ_x , σ_y) и напона смицања у xy – равни (τ_{xy}), као и вредности одговарајућих померања у правцу x и z – осе. Вредности су дате у функцији фактора интензитета напона K_I за облика I (Irwin и Klintok):

$$\sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \cdot \sin \frac{3\theta}{2} \right) \quad (7)$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \cdot \sin \frac{3\theta}{2} \right) \quad (8)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(\sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{3\theta}{2} \right) \quad (9)$$

$$u_x = \frac{K_I}{2\mu} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \cos \frac{\theta}{2} \left[k - 1 + 2 \cdot \sin^2 \left(\frac{\theta}{2} \right) \right] \quad (10)$$

$$u_y = \frac{K_I}{2\mu} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \sin \frac{\theta}{2} \left[k + 1 - 2 \cdot \cos^2 \left(\frac{\theta}{2} \right) \right] \quad (11)$$

Где су: $\mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$ – модул клизања; E – Young – ов модул еластичности, ν - Poisson - ов коефицијент, $k = \frac{3-\nu}{1+\nu}$ – за равно стање напона; $k = 3 - 4 \cdot \nu$ – за равно стање деформације [2].

Свака од компоненти напона зависи од константе K_I . У колико знамо вредност фактора интензитета напона позната нам је и расподела напона у околини врха прслине [2].

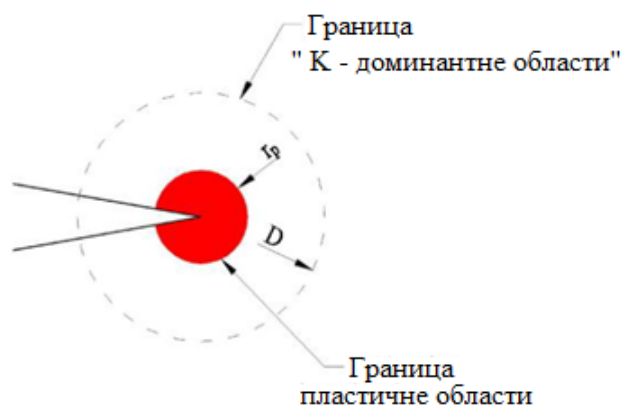
Из једначине 8 за $\theta = 0$ следи:

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot r_p}} = \frac{K_I}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot (a-x)}} \quad (12)$$

Димензије пластичне области је $r = r_p$ добија се када се напон σ_y (при $\theta = 0$) изједначи са напонам на граници течења σ_t за случај равног стања напона: $r_p = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_I}{\sigma_t} \right)^2$. За случај стања равне деформације, напона се изједначава са $\sqrt{3}\sigma_t$, што следи:

$$r_p = \frac{1}{6\pi} \left(\frac{K_I}{\sigma_t} \right)^2.$$

Пластично деформисање налази унутар К – доминантној области: $r_p \ll D$, тада се овај случај назива случајем са сразмерно малим течењем (слика 7).



Слика 7. Расподела напона у околини врха прслине [2]

Даљом анализом утврђено је да унутар ‘К – доминантној области’ напони и деформације не зависе од оптерећења и геометрије дела. Параметар који дефинише напонско – деформационо стање у близини врха прслине је фактор интензитета напона – К. Поменути фактор је одговоран за даље ширење прслине. Ако у неком машинском елементу дође до појаве убрзаног раста прслине, при вредности критичног фактора интензитета напона - K_C , то значи да су у другом машинском елементу може очекивати појава наглог раста прслине када фактор интензитета напона – К достигне критичну вредност K_C [2,3].

2.3 Критична вредност фактора интензитета напона (жилавости лома) - K_{IC}

Фактор интензитета напона представља силу раста прслине, узима у обзир оптерећење као и геометрију конструкције укључујући прслину. Лом настаје када вредност напона на врху прслине достигне критичну вредност напона. Када се јавља неконтролисани раст прслине, фактор K_I достиже критичну вредност K_{IC} . Критична вредност фактора интензитета напона - K_{IC} , односно жилавост лома подразумева ону вредност фактора интензитета напона- K_I , која одговара критичној вредности напона, односно критичној дужини прслине [2]:

$$K_{IC} = \beta \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \quad (13)$$

Где је: β – бездимензиони параметар који зависи од димензија узорака и прслине;
 σ – примењени нормални напон; a – дужина прслине.

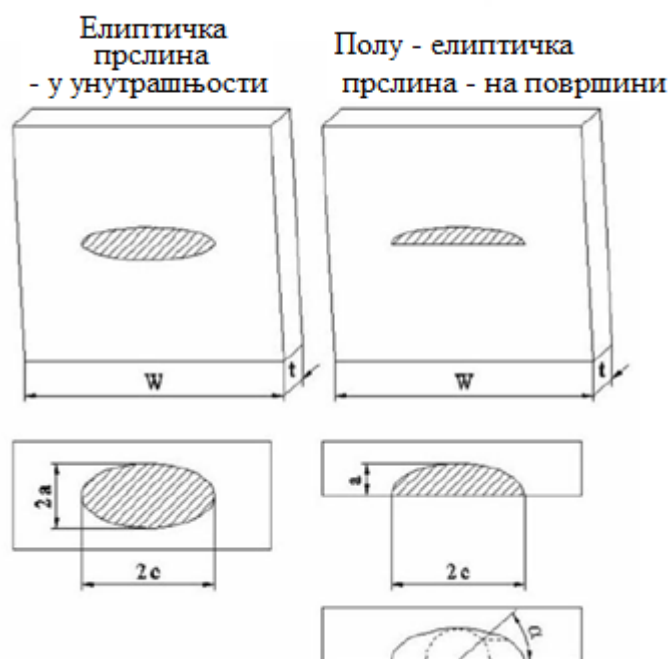
Прслине елиптичког облика (слика 8), фактор β се може преставити помоћу производа три различита параметара:

$$\beta = \beta_0 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \quad (14)$$

Па се добија:

$$K = \beta_0 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \sigma \cdot \sqrt{a} \quad (15)$$

Где су: $\beta_0 = 1$, $\beta_0 = \lambda_c = \left[1.13 - 0.09 \cdot \left(\frac{a}{c}\right)\right] \cdot [1 + (1 - \sin \alpha)]^2$ – за полу - елиптичку прслину; $\beta_1 = \sqrt{\frac{1}{Q}}$ при чему је: $Q = 1 + 1.464 \cdot \left(\frac{a}{c}\right)^{1.65}$; $\beta_2 = \left(\sin^2 \alpha + \frac{a^2}{c^2} \cdot \cos^2 \alpha\right)^{\frac{1}{4}}$



Слика 8. Елиптичка прслина у унутрашњости и полу – елиптичка прслина на површини узорака[2]

Димензије прслине су мале у односу на димензије узорка. Када се димензије прслине повећавају, димензије узорка се смањују, спољашње границе врше утицај на расподелу напона у близини врха прслине. Овај ефекат се узима у обзир преко фактора β , који се може сматрати као корекциони фактор између фактора интензитета напона за равну плочу брсконачних димензија и фактора интензитета напона за равну плочу реалних димензија под дејством оптерећења $-\sigma$.

Вредност фактор β је 1 за лочу бесконачне ширине (вредност 1.1 за полу – бесконачну плочу). Када је дебљина узорка много већа у односу на дужину прслине, фактор интензитета напона за мод I - K_I , се назива интензитета напона при равној деформацији (жилаваост лома прслине при равној деформацији).

Бездимензиони параметар $-\beta$ зависи од: материјала, геометрије узорка, геометрије и положаја прслина, односно дужине прслине и ширине узорка $\frac{a}{W}$, типа оптерећења (затезање или савијање) и интензитета примењеног оптерећења $-\sigma$.

У случају равне деформације жилавости лома - K_{IC} се може приказати у следећем облику:

$$K_{IC} = \beta \cdot \frac{F}{W \cdot t} \quad (16)$$

Где мора бити задовољен захтев у вези величине узорка, да би се добио валидан резултат за K_{IC} .

$$(a, t, W - a) \geq 2.5 \cdot \left(\frac{K_{IC}}{\sigma_t} \right)^2 \quad (17)$$

Где су: F – оптерећење на затезање, a – димензије прслине, W – ширина плоче, t – дебљина плоча, σ_t – напон на граници течења.

Овакав услов је заснован на експерименталним запажањима код челика и алуминијума. Захтев дебљине обезбеђује услов равног стања деформације, док захтев по питању деформација обезбеђује линеарно – еластично понашање. Како би се достигао услов равног стања деформације пластична зона мора да буде мала у поређењу са дебљином узорка. У супротном, када пластична зона достигне значајни део дебљине узорка (што је случај код танкозидних структура), стање на ивици пластичне зоне представља равно стање напона. Када се то деси материјал показује већу отпорност на раст прслина [2,3].

2.4 Одређивање фактора интензитета напона - K_I

Локална структура анализа настанка и раста у конструкцијама своди се на упоређивање карактеристика напонско – деформационог стања у околини врха прслине са карактеристиком материјала. Постоје две врсте анализа [2,3]:

- Одређивање вредности критичног оптерећења - σ_c која ће изазвати раст инерцијалне прслине дужине $-a$.
- Одређивање критичне дужине прслине - a_c за унаред задато оптерећење $-\sigma$.

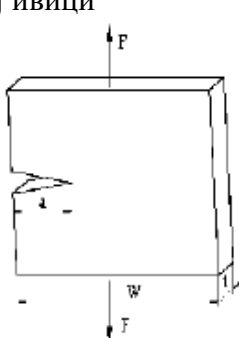
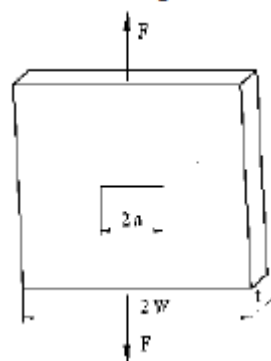
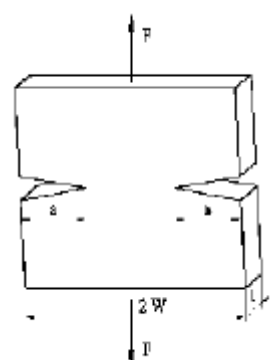
Фактор интензитета напона - K_I и жилавост лома - K_{IC} су од изузетног значаја у области механике лома и утичу на век ипоузданост конструкције.

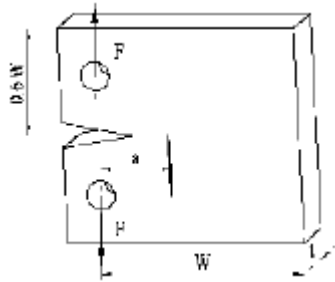
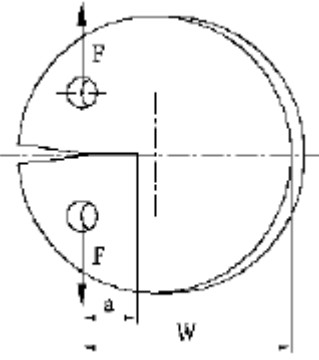
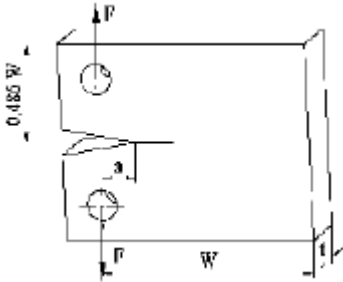
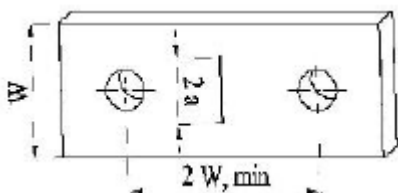
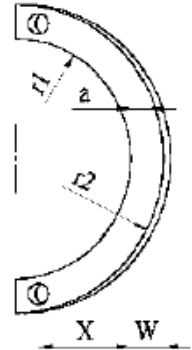
Фактор интензитета напона K_I може се представити у следећем облику:

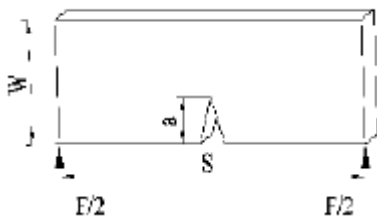
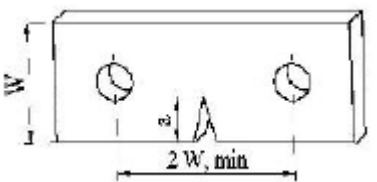
$$K_I = \frac{F}{t\sqrt{W}} \cdot f\left(\frac{a}{W}\right) \quad (18)$$

Примери узорака, као и зависност фактора интензитета напона - K_I од специфичних димензија, односно у функцији од фактора - $f\left(\frac{a}{W}\right)$ дате су у табели 2.

Табела 2. Зависност фактора интензитета напона - K_I од специфичних димензија узорака [1,2]

Тип	Фактор интензитета напона - K_I
1.Затезање са жлебом на једној ивици 	$K_I = \frac{F}{t \cdot W^{1/2}} \cdot f\left(\frac{a}{W}\right)$ $f\left(\frac{a}{W}\right) = \frac{\sqrt{2 \cdot \tan\left(\frac{\pi a}{2W}\right)}}{\cos\left(\frac{\pi a}{2W}\right)} \cdot \left[0.752 + 2.02 \cdot \frac{a}{W} + 0.37 \cdot \left(1 - \sin\left(\frac{\pi a}{2W}\right)^3 \right) \right]$
2.Затезање са централном прслином 	$K_I = \frac{F}{t \cdot W^{1/2}} \cdot f\left(\frac{a}{W}\right)$ $f\left(\frac{a}{W}\right) = \sqrt{\frac{\pi a}{4W}} \cdot \sec\left(\frac{\pi a}{2W}\right) \cdot \left[1 - 0.025 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^2 + 0.06 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^4 \right]$
3.Затезање са жлебом на обе ивице 	$K_I = \frac{F}{t \cdot W^{1/2}} \cdot f\left(\frac{a}{W}\right)$ $f\left(\frac{a}{W}\right) = \frac{\sqrt{\frac{\pi a}{2W}}}{\sqrt{1 - \frac{a}{W}}} \cdot \left[1.122 - 0.561 \cdot \left(\frac{a}{W}\right) - 0.205 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^2 + 0.471 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^3 + 0.190 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^4 \right]$

4.Компактан узорак 	$K_I = \frac{F}{t \cdot W^{1/2}} \cdot f\left(\frac{a}{W}\right)$ $f\left(\frac{a}{W}\right) = \frac{\left(2 + \frac{a}{W}\right)}{\left(1 - \frac{a}{W}\right)^{3/2}} \cdot \left(0.886 + 4.64 \cdot \frac{a}{W} - 13.32 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^2 + 14.72 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^3 - 5.6 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^4 \right)$
5.Компактан узорак у облику диска 	$K_I = \frac{F}{t \cdot W^{1/2}} \cdot f\left(\frac{a}{W}\right)$ $f\left(\frac{a}{W}\right) = \frac{\left(2 + \frac{a}{W}\right)}{\left(1 - \frac{a}{W}\right)^{3/2}} \cdot \left(0.76 + 4.8 \cdot \frac{a}{W} - 11.58 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^2 + 11.43 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^3 - 4.08 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^4 \right)$
6.Клинасто отворен узорак 	$K_I = \frac{F}{t \cdot W^{1/2}} \cdot f\left(\frac{a}{W}\right)$ $f\left(\frac{a}{W}\right) = \frac{\left(2 + \frac{a}{W}\right)}{\left(1 - \frac{a}{W}\right)^{3/2}} \cdot \left(0.8072 + 8.858 \cdot \frac{a}{W} - 30.23 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^2 + 41.088 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^3 - 24.15 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^4 + 4.951 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^5 \right)$
7.Узорак са централном прслином 	$K_I = \frac{F \cdot \sqrt{\pi a}}{t \cdot W} \cdot f\left(\frac{a}{W}\right)$ $f\left(\frac{a}{W}\right) = \sqrt{\sec\left(\frac{\pi a}{W}\right)}$
8.Узорак у облику лука 	$K_I = \frac{F}{t \cdot W^{1/2}} \cdot \left(3 \frac{X}{W} + 1.9 + 1.1 \frac{a}{W} \right) \cdot \left[1 + 0.25 \cdot \left(1 - \frac{a}{W}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{r_1}{r_2}\right) \right] \cdot f\left(\frac{a}{W}\right)$ $f\left(\frac{a}{W}\right) = \frac{\left(\frac{a}{W}\right)^{1/2}}{\left(1 - \frac{a}{W}\right)^{1/2}} \cdot \left(3.74 + 6.3 \cdot \frac{a}{W} + 6.32 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^2 - 2.43 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^3 \right)$

9. Узорак под дејством савојног оптерећења 	$K_I = \frac{F \cdot S}{t \cdot W^{3/2}} \cdot f\left(\frac{a}{W}\right)$ $f\left(\frac{a}{W}\right) = \frac{3 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^{1/2}}{2 \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{a}{W}\right) \cdot \left(1 - \frac{a}{W}\right)^{3/2}} \cdot \left[\frac{1.99 - \left(\frac{a}{W}\right) \cdot \left(1 - \frac{a}{W}\right)}{2.15 - 3.93 \frac{a}{W} + 2.7 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^2} \right]$
10. Узорак са жљебом 	$K_I = \sigma \sqrt{a} \cdot \left(\frac{1.99 - 0.41 - \left(\frac{a}{W}\right) + 18.7 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^2}{-38.48 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^3 + 53.85 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^4} \right)$

Из једначине 16 и 18 следе:

$$\beta = f\left(\frac{a}{W}\right) \cdot \sqrt{\frac{W}{\pi \cdot a}} \quad (19)$$

Величина K_I која одговара оптерећењу нестабилног развоја прслине је величина K_{IC} одређена при испитивању. Величина K_{IC} зависи од температуре и брзине деловања оптерећења. Утврђено је да ниво K_{IC} већине конструкцијских материјала не зависи од облика и мере епрувете, под условом да су испуњени захтеви за важеће одређивање K_{IC} .

2.5 Одређивање жилавости лома - K_{IC}

Жилавост лома представља карактеристику материјала. Потребни подаци се добијају на бази серија испитивања за дати материјал.

У табели 3 дате су вредности жилавости лома - K_{IC} за неке материјале [1,2,6].

Табела 3. Жилавост лома - K_{IC} за неке материјале [2]

Материјал	K_{IC}	
	$MPa\sqrt{m}$	$psi\sqrt{m}$
Легура челика (4340, на температури од 260°C)	50	45800
Легура алуминијума (2024 – T351)	36	33000
Легура титанијума (T_i – 6Al – 4V	44 – 66	40000 - 60000
Алуминијум – оксид	3 – 5.3	2700 – 4800
Сода – везиво – стакло	0.7 – 0.8	640 - 730
Бетон	0.2 – 1.4	180 - 1270
Поли – метал мета - крилат	1	900
Синтетичка гума	0.8 – 1.1	730 - 1000

Карактеристике материјала утичу на следеће фактора:

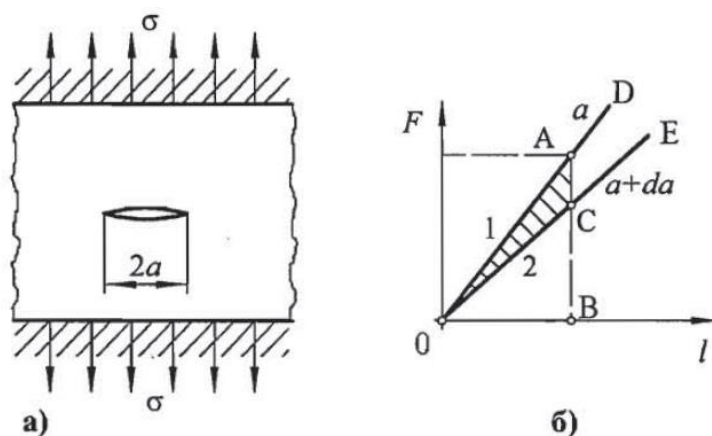
- Утицај спољашње средине (утицај на жилавост лома). Сврха овог коефицијента јесте да се у прорачуну узме утицај раста прслине у структури.
- Утицај орјентације материјала: параметри који се користе у једначинама раста прслине, не зависе само од врсте материјала конструкционог елемента, већ и од начина добијања полуфабриката: ливење, ваљање, ковање.

3. Еласто – пчастична механика лома

Када се зона пластичности у околини врха прслине прошири у значајној мери, напонско стање врха прслине није могуће адекватно описати фактором интензитета К. Ово је разлог због кога се уводе нови параметри који нису ограничени линеарно – еластичним понашањем материјала, а то су: ширење врха прслине – δ и J –интеграл [1,3,6].

3.1 Проблем кртог лома *Griffith*– ово решење

У механици лома посебно место има Грифитов рад, зато што се његова основна једначина до које је он дошао и данас користи. Посматра се идеално еластична бесконачна плоча јединичне дебљине са средишњом прслином дужине $2a$ (слика 9а) [1,3,6].



Слика 9. Критеријум Грифита за случај константног померања: а) Плоча са прслином и укљештеним крајевима; б) Дијаграм сила – померање и еластична енергија [3]

Крајеви плоче су укљештени и на њих делује оптерећење напона σ . Еластична енергија коју плоча садржи представљена је површином троугла ОАВ на дијаграму сила – померање (слика 9б).

У случају када се дужина прслине повећа за da на једном крају, смањиће се крутост плоче (права ОСЕ), значи да оптерећење мора да се смањи јер су крајеви плоче укљештени. Развој прслине за дужину da ослободиће еластичну енергију која одговара

површини троугла ОАС. Уколико је оптерећење плоче било веће, развојем прслине за величину da ослободиће се већа еластична енергија.

Грифит је утврдио да ће до развоја прслине доћи ако је енергија ослобођена порастом прслине довољна да обезбеди укупну енергију потребну за развој прслине. Ако се то не деси, за даљи развој прслине мора да се повећа оптерећење. Величина енергије расположиве за развој прслине дефинисана је углом између правих OD и OE.

Услов развоја прслине је:

$$\frac{dU}{da} = \frac{dU_{\gamma}}{da} \quad (20)$$

Где је: U – еластична енергија, U_{γ} – енергија потребна за развој прслине.

Инглисове једначине за напонско поље око елиптичне прслине, Грифит је добио следећи израз:

$$\frac{dU}{da} = \frac{2\pi\sigma^2 a}{E} \quad (21)$$

Где је E модул еластичности.

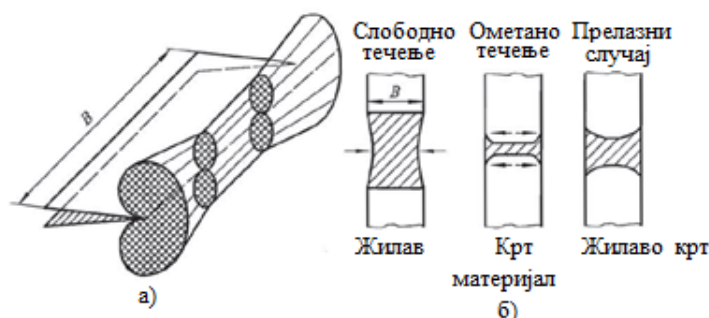
Уобичајно је да се користи величина G :

$$G = \frac{\pi\sigma^2 a}{E} \quad (22)$$

Назива се (брзина ослобађања еластичне енергије или сила раздвајања прслине), и има димнзију силе по јединици дужине. Грифитов поступак је доста сложен зато што је праћена промена енергије целог тела [3].

3.2 Пластичност врха прслине

На слици 10 приказано је пластично деформисање око врха прслине.



Слика 10. а) Пластично деформисано подручје око врха прслине и дебелој затегнутој плочи; б) Његова величина за жилав, крт и жилаво – крт материјал[3]

Само у условима равнoг стања деформације може се занемарити утицај пластичне деформације, што је битно са аспекта примене линеарно – еластичне механике лома. Дакле, у случају настанка шире зоне пластичност око врха прслине, параметри линеарно – еластичне механике лома нису довољна да би описали поље напона и деформације. Стога је неопходно увођење параметара, као што су: отварање прслине и J – интеграла.

3.3 J - интеграл

Теоријске основе J –интеграла је поставио Rice 1968. године, по коме је и назван Рајсов контурни интеграл. Овај интеграл је знатно допринео разумевању еласто – пластичног лома. J – интеграл је нашао широку примену у процени заморног века и интегритета конструкције.

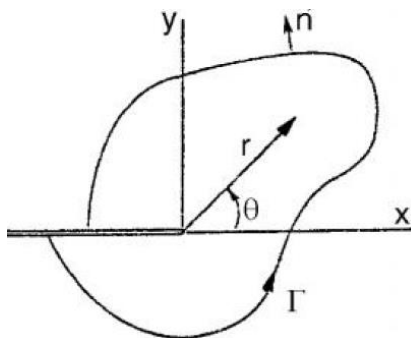
Битне карактеристике J – интеграла су:

- Могућност примене како у линеарно – еластичној, тако и пластичној области;
- Може се одредити и аналитичким, нумерички и експериментално;
- По својој физикалности представља енергетски параметар. Његова предност је у независности путање интеграције.

J – интеграл је контурни интеграл (слика 11).

$$J = \oint_{\Gamma} \left(W dy - T_i \frac{\partial u_i}{\partial x} ds \right) \quad (23)$$

Где су: $W = \int \sigma_{ij} d\epsilon_{ij}$ – густина деформацијске енергије; Γ – путања интеграције; ds – елемент дужине; $T_i = \sigma_{ij} n_j$ – сила затезања на контури; u_i – померање на контури; n_j – јединична нормала.



Слика 11. Произвольна путања интеграције Γ за J интеграл[3]

Линеарне и нелинеарне еластичности Рајс је доказао да је J – интеграл може представити као енергија ослобађања на врху прслине по јединици пораста површине $B da$. То се одређује на следечи начин:

$$J = \oint_{\Gamma} W dy - \oint_{\Gamma} T_i \frac{\partial u_i}{\partial x} ds \quad (24)$$

Или:

$$JB da = B \oint_{\Gamma} W dy da - B \oint_{\Gamma} T_i \frac{\partial u_i}{\partial x} ds da \quad (25)$$

Где је: B – дебљина епрувете. Са $B \oint_{\Gamma} W dy da$ је означена добијена енергија.

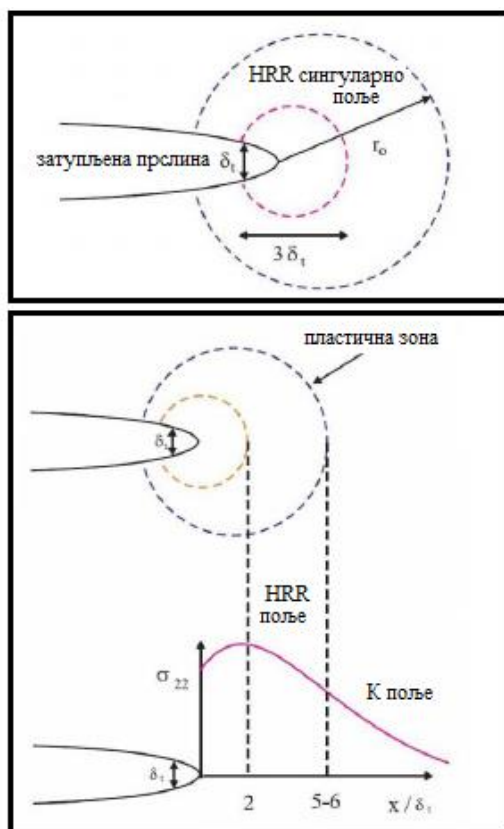
Такође је доказао и да је J – интеграл независан од путање интеграције за равanske дводимензионалне проблеме, само ако нема запреминских и инерцијалних сила. Јединица површине која се ослобађа на врху прслине, као брзина ослобађања енергије у нелинеарно еластичном телу. У пластичној области, W није густина деформацијске енергије, која се ослобађа унутар самог материјала, тако да J – интеграл није енергија прслинепотребна за њен раст. Дакле, у околини врха прслине се налази област позната под називом процесна зона лома [3].

3.4 Поље у околини врха прслине

Поље у околини прслине (слика 12) може се назвати и HRR - поље (*Hutchinson, Rice, Rosenberg*) такође се дефинише еласто – пластићно понашање материјала следећом завишњошћу:

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\sigma_0} + \alpha \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^n \quad (26)$$

Где су: α – константа деформационог ојачавања (константа материјала); n – експонент деформационог ојачања (константа материјала); σ_0 – референтни напон течења; $\varepsilon_0 = \frac{\sigma_0}{E}$ – референтно напрезање. За линеарно – еластичне материјале $n = 1$, а за идеално пластичних материјала $n = \infty$.



Слика 12. HRR поље у околини врха прслине [2]

Једначине које следе представљају расподелу напона и напрезања у околини врха прслине:

$$G_{ij} = \sigma_0 \left(\frac{EJ}{\alpha \sigma_0^2 I_{nr}} \right)^{\frac{1}{1+n}} \widetilde{G}_{ij}(n, \theta) \quad (27)$$

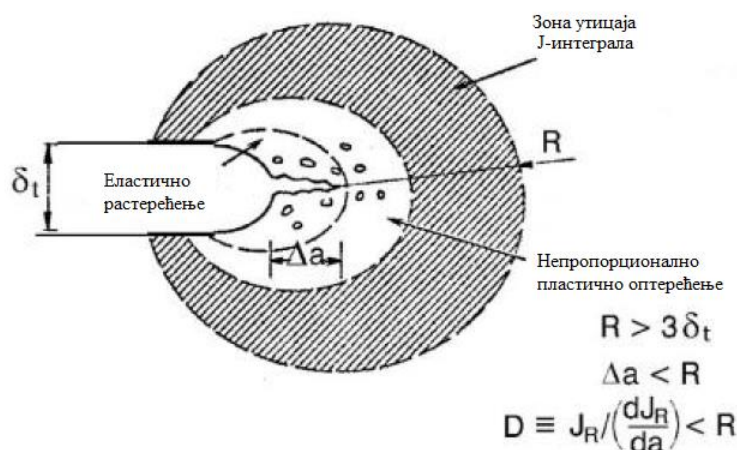
$$\varepsilon_{ij} = \frac{\alpha \sigma_0}{E} \left(\frac{EJ}{\alpha \sigma_0^2 I_{nr}} \right)^{\frac{n}{1+n}} \widetilde{\varepsilon}_{ij}(n, \theta) \quad (28)$$

Где је: I_n – интеграциона константа зависна од n ; $\widetilde{G}_{ij}$ и $\widetilde{\varepsilon}_{ij}$ – бездимензионе функције зависне од n и θ . Ови наведени параметри зависе од напонског стања (да ли је заступљено равно стање напона или равно стање деформације) [2].

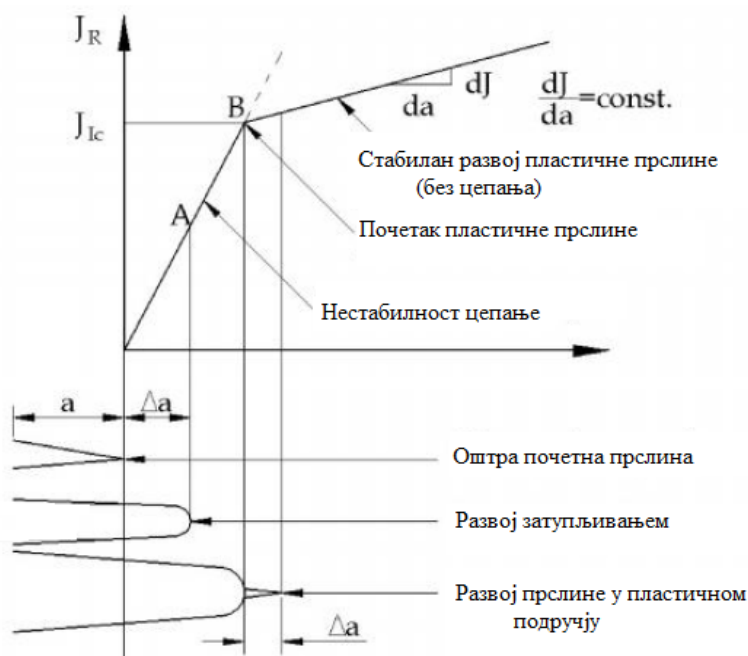
3.5 J – интеграл на почетку раста прслине

Материјали који су еласто – пластични током стабилног решења прслине могу се описати зависношћу параметра механике еласто – пластичног лома (K и J – интеграл) у функцији од повећања дужине прслине - Δa у структури (слика 13).

Код кртих материјала на лом се не троши енергија, као што је приказано хоризонталном равном линијом, која пресеца ординату на висини J_{IC} – критична енергија потребна за иницијалне прслине (слика 14). Свака ова величина сматра се својством материјала.



Слика 13. Утицај J - интеграла на процесну зону лома[2]



Слика 14. Затупљивање и стабилан раст прслине[2]

Код еласто – пластичних материјала, ако у структури већ постоје иницијалне прслине, тада се њен даљи раст одвија у три следеће фазе:

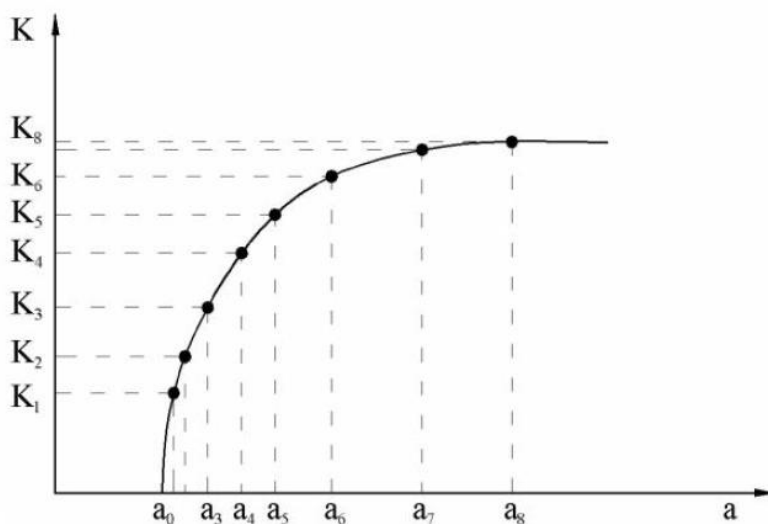
- **I фаза: просечно затупљивање оштрог врха и привидни пораст дужине прслине**—у почетном стадијуму када оптерећење расте а енергија се ослобађа, деформација се представља порастом ширења прслине. Прслина се представља косом линијом на дијаграму $J - a$, приказујући заступљивање оштрог врха прслине.
- **II фаза: стабилан раст прслине** – у критичном тренутку сам нагиб се мења, јер је следећи стадијум раста прслине повезан са њеним даљим ширењем и самим тим и повећањем њене дужине а захтева повећање оптерећења. Тачналома криве (тачка В) је означена са J_{IC} и представља жилавост лома. Помоћу те вредности могуће је израчунати критичан фактор интензитета напона (жилавост лома за равно стање деформације) - K_{IC} :

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{J_{IC}}{E'}} \quad (29)$$

- **III фаза:** у одређеном тренутку се достиже оптерећење и дужина прслине при коме стабилан раст прелази у бржи нестабилан раст – лома.

3.6 Крива отпора раста прслине (R - крива)

Помоћу R – криве карактерише се отпор материјала где долази до појаве лома у структури за време стабилног раста прслине. Ако у структури постоји иницијална прслина, затим и извесна област пластичности у околини врха прслине, под дејством максималног оптерећења доћи ће до њеног даљег раста а потом и до заустављања. Ова појава се описује као споро стабилно ширење прслине. При константном напону – σ којем је структура изложена, за сваку вредност дужине прслине добија се фактор интензитета напона – K, где се добија функционална зависност $K = f(a)$. Поменута зависност може се видети на слици 15. R – крива добија се експерименталним путем.



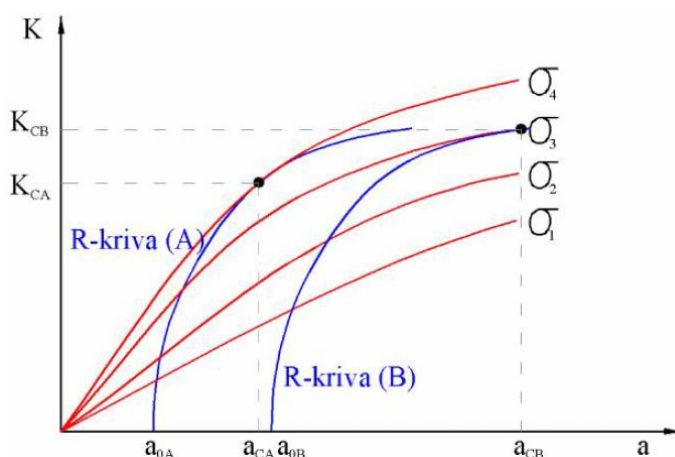
Слика 15. R – крива[2]

Криве фактора интензитета напона за различите вредности напона од σ_1 до σ_4 дати су на слици 16.

Крива фактора интензитета напона тангентна је на R – криву одређује критичне услове као што су:

- Критична дужина прслине - a_c (настаје нестабилан раст прслине);
- Критична вредност фактора интензитета напона - K_c (жилавост лома).

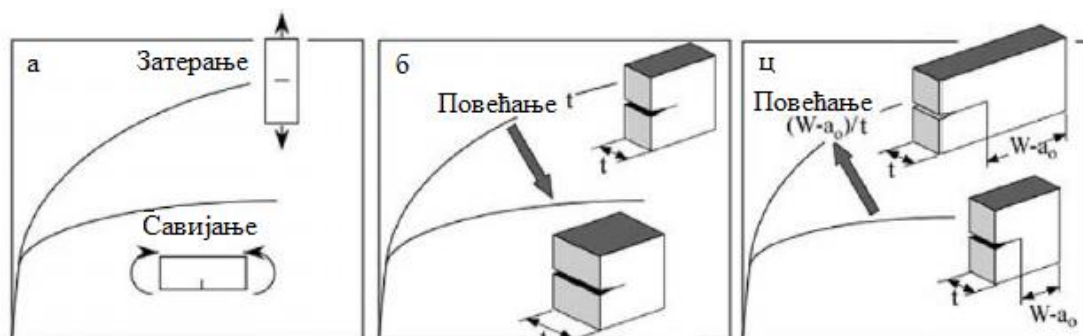
Ова додирна зависност зависи од дужине инерцијалне прслине у структури - a_0 . R – крива зависи од узорка геометрије, температуре и степена издужења. Облик R– криве не зависи од дужине иницијалне прслине - a_0 (R – крива А и R – крива В имају исто облик, само су транслаторне једна у односу на другу у зависности од величине иницијалне прслине).



Слика 16. Примена R –криве[2]

Сам нагиб R – криве зависи од следећих параметара:

- Дебљине узорка - t ;
- Виткости лигамента - $\frac{W-a_0}{t}$;
- Типа оптерећења (затезање или савијања) (слика 17).



Стабилно ширење иницијалне прслине

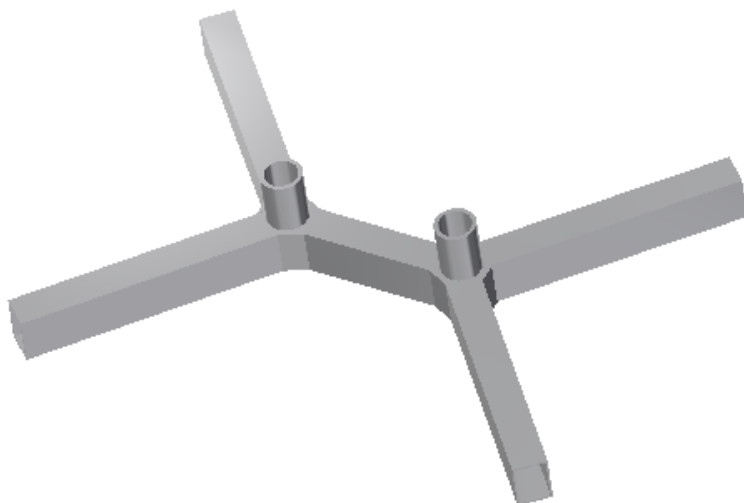
Слика 17. Фактори који утичу на еласто - пластичну R –криву[2]

Уколико се тестирају узорци алуминијума досло се до закључка да је R – крива зависи од дебљине узорка, али не зависи од виткости лигамента $W - a_0$ вићи 3 – 4 пута од дебљине узорка t . Оваква зависност се користи само у случају танкозидних структура зато што су дебљине узорка и реалне компоненте идентичне.

4. Анализа покретног држача за телевизор

4.1 Монтажа покретног држача за телевизор

Кроз овај рад биће представљена анализа покретног држача за телевизор. Истражује се настанак и раст прслине, основни облици стварања површине лома као и испитивање на замор. Такође приказана је расподела напона и критичне вредности као и почетак раста прслине. На слици 18 приказан је елемент 1.



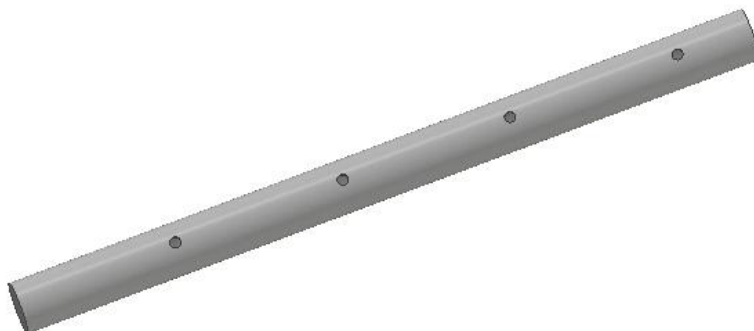
Слика 18. Елемент 1

Елемент 1 са слике 18 састоји је од 4 кутијастих профила, ти профили су заварени за средишњи део где налаже следећи елемент.Поклопац за кутијасте профиле приказан је на слици 19.



Слика 19. Поклопац за кутијасте профиле

На елемент 1 монтира се елемент 2 који је приказан на слици 20.



Слика 20. Елемент 2

Елемент 2 на себи има четири отвора који служе за подешавање висине држача за телевизор, који ће бити објашњен касније. Елемент 3 приказан је на слици 21, монтира се на елемент 2.



Слика 21. Елемент 3

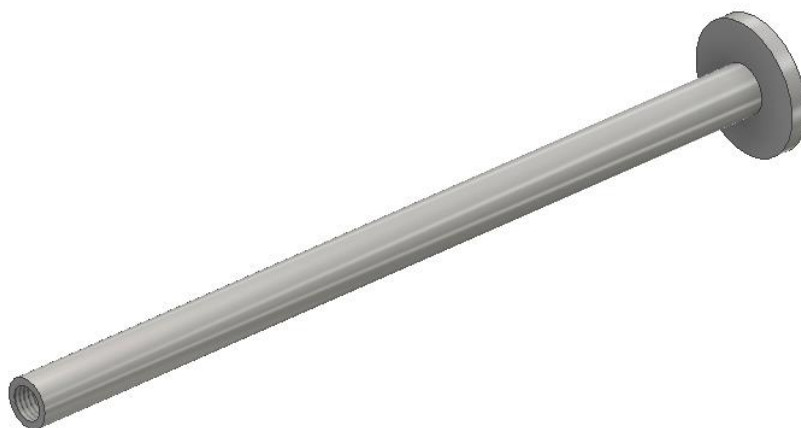
Са слике 21 види се да елемент има 12 отвора ради подешавања по жељи корисника. На слици 22 приказан је елемент 4 који се монтира на елементу 2.



Слика 22. Елемент 4

Елемент 4 је део елемента 5 који је приказан на слици 23, који служи за рутер.

На слици 23 приказан је поменути елемент 5.



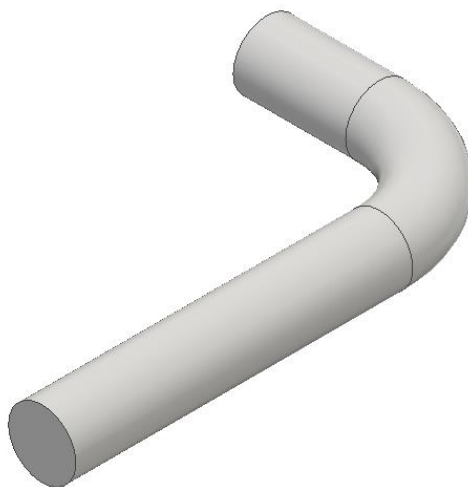
Слика 23. Елемент 5

Елемент 5 монтира се у елементу 4. На слици 24 приказана је иверица која се монтира на елемент 4 и 5.



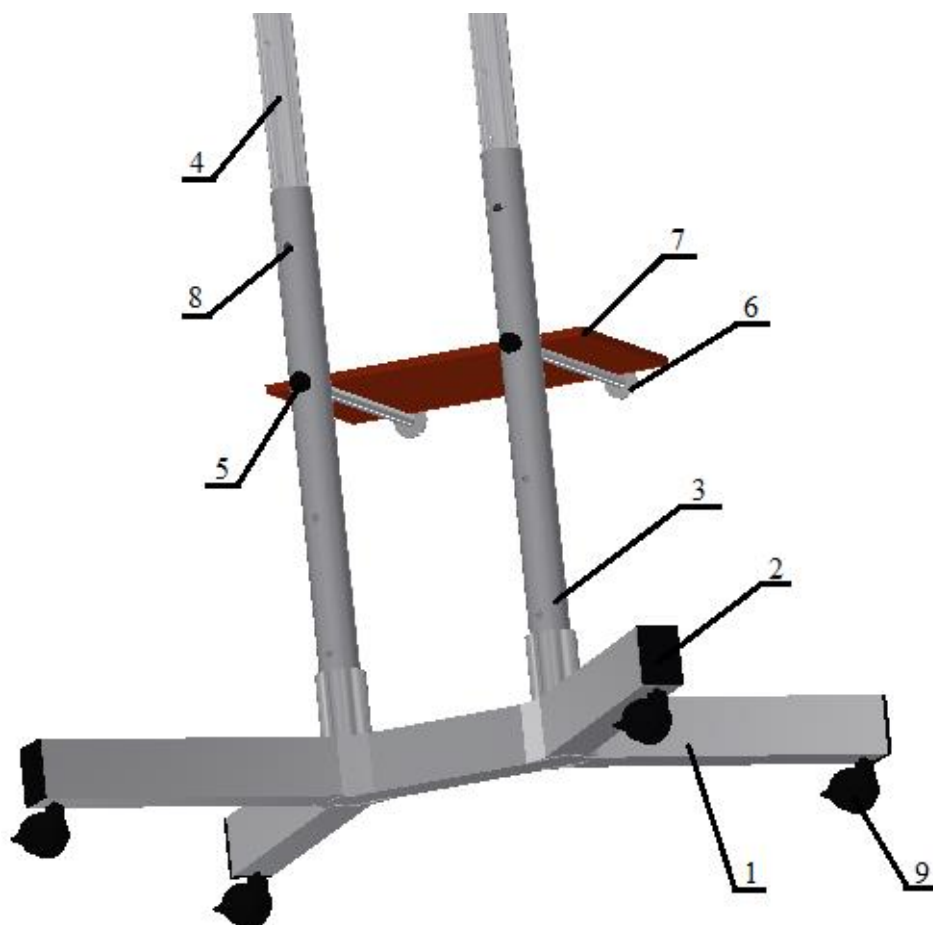
Слика 24. Иверица

На слици 25 приказан је клин који повезује елемент 2 и 3.



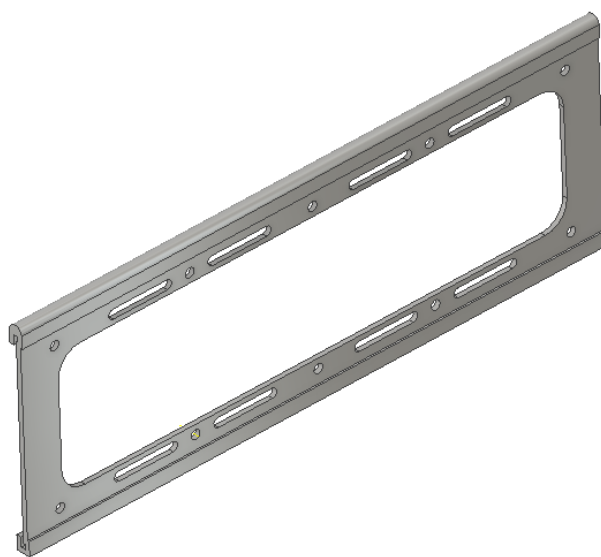
Слика 25. Клин

Како би држач био покретан монтирају се и точкови (точкови за покретне столице за рачунар). На слици 26 приказан је склоп горе поменутих елемената са позицијама.



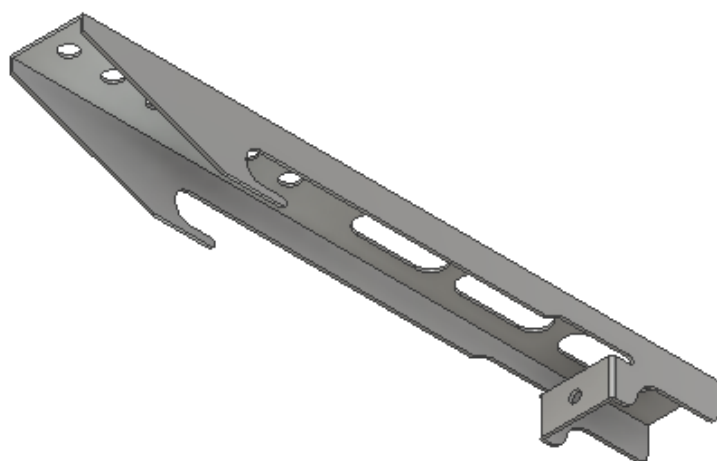
Слика 26.Склоп наведених елемената: 1- елемент 1, 2- поклопац, 3 – елемент 2, 4 – елемент 3, 5 – елемент 4, 6 – елемент 5, 7 - иверица, 8 – клин, 9 – точак.

Елемент 6 је приказан на слици 27, монтира се на елемент 3 у зависности од жеље корисника.



Слика 27. Елемент 6

Елемент 7 приказан је на слици 28, монтра се на елемент 6.



Слика 28. Елемент 7

На слици 29 приказан је елемент 8 који се монтира на елемент 9 који ће бити приказан на слици 30.

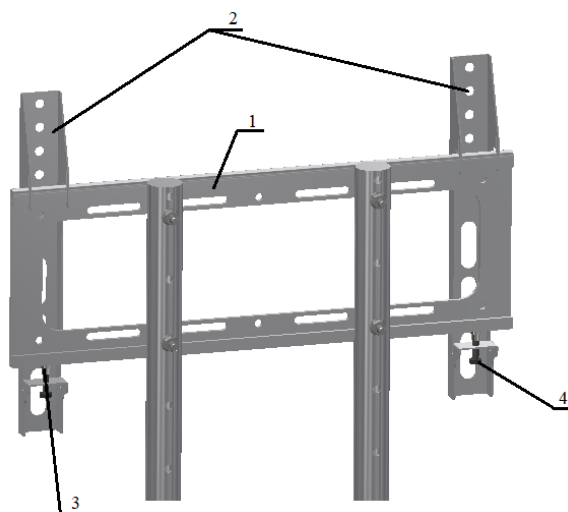


Слика 29. Елемент 8



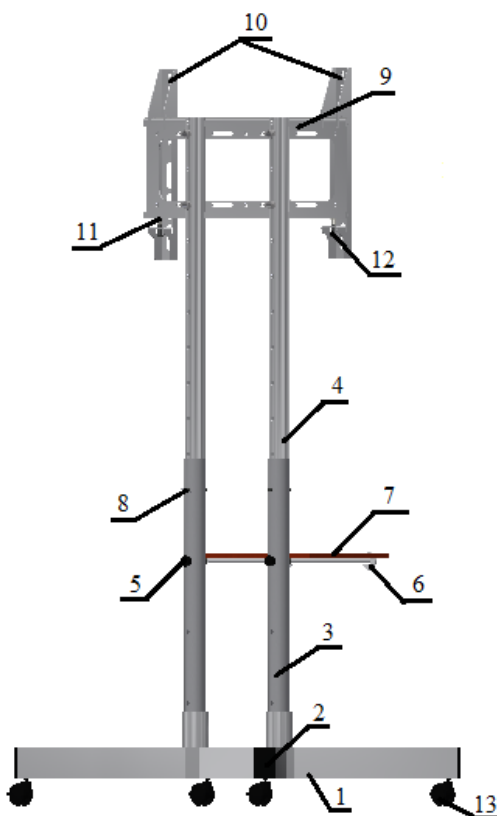
Слика 30. Елемент 9

На слици 31 приказан је други део склопа са горе наведеним елементима 6, 7, 8, 9.



Слика 31. Склоп горњих елемената

Склоп целог модела приказано је на слици 32.



Слика 32. Цео склоп модела: 1 - елемент 1, 2 - поклопац, 3 - елемент 2, 4 - елемент 3, 5 - елемент 5, 6 - елемент 5, 7 - иверица, 8 - клин, 9 - елемент 6, 10 - елемент 7, 11 - елемент 8, 12 - елемент 9, 13 - точак.

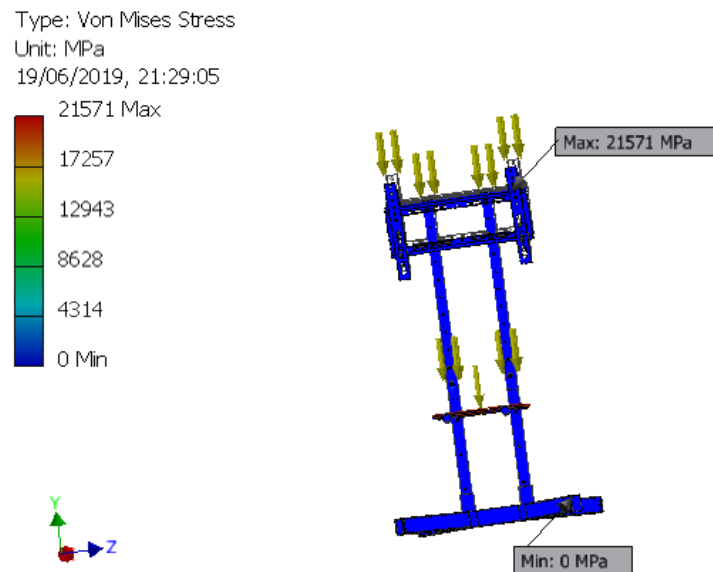
Отвори који су приказани на елементима 2 и 3 служе да би корисник подеосио жељену висину свог телевизора. Такође се могу подесити размак између елемената 7. Висина иверице се такође може подесити у зависности од жеље корисника. На овом држачу једино се не може подесити елемент 1, зато што ножице заварене.

4.2 Анализа покретног држача за телевизор са инерцијалном прслином

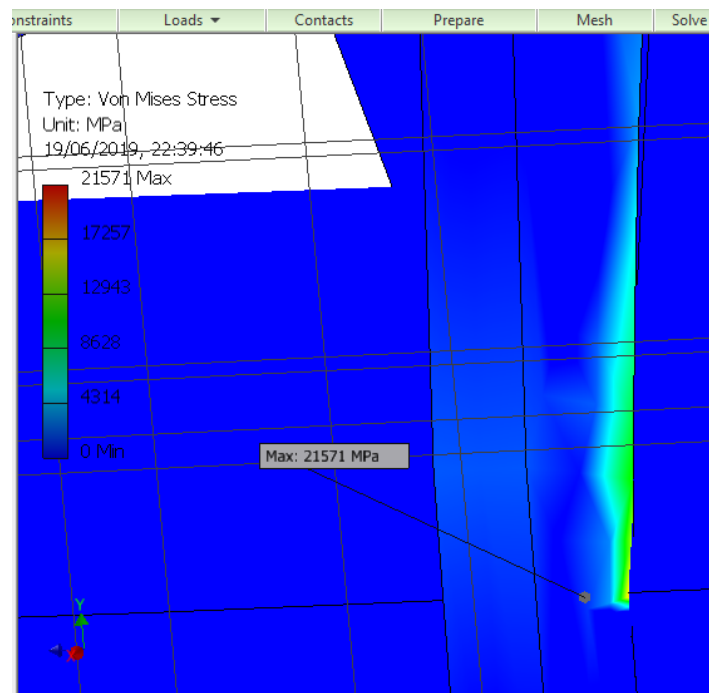
Анализа напона на држачу је урађена у софтверском пакету Autodesk Inventor, методом коначних елемената. Држач је оптерећен са три (50 kg, 70 kg и 150 kg) различите тежине самим тим се добијају различити резултати [5,7].

- **Оптерећени држач са 50 kg**

Вон Мизесов напон приказан је на слици 33 и 34.

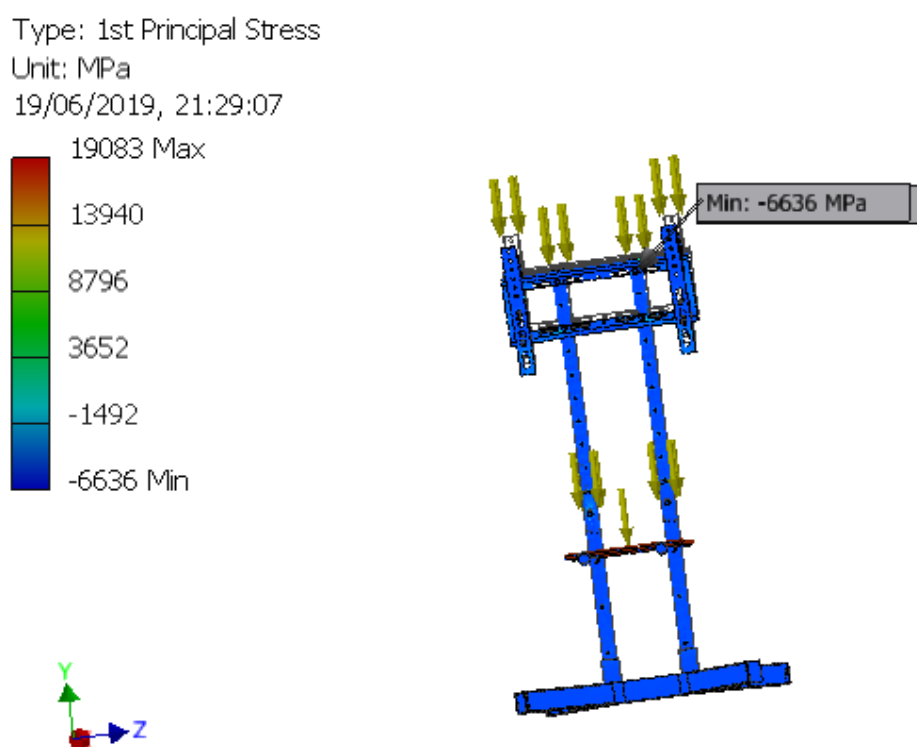


Слика 33. Вон Мизесов напон

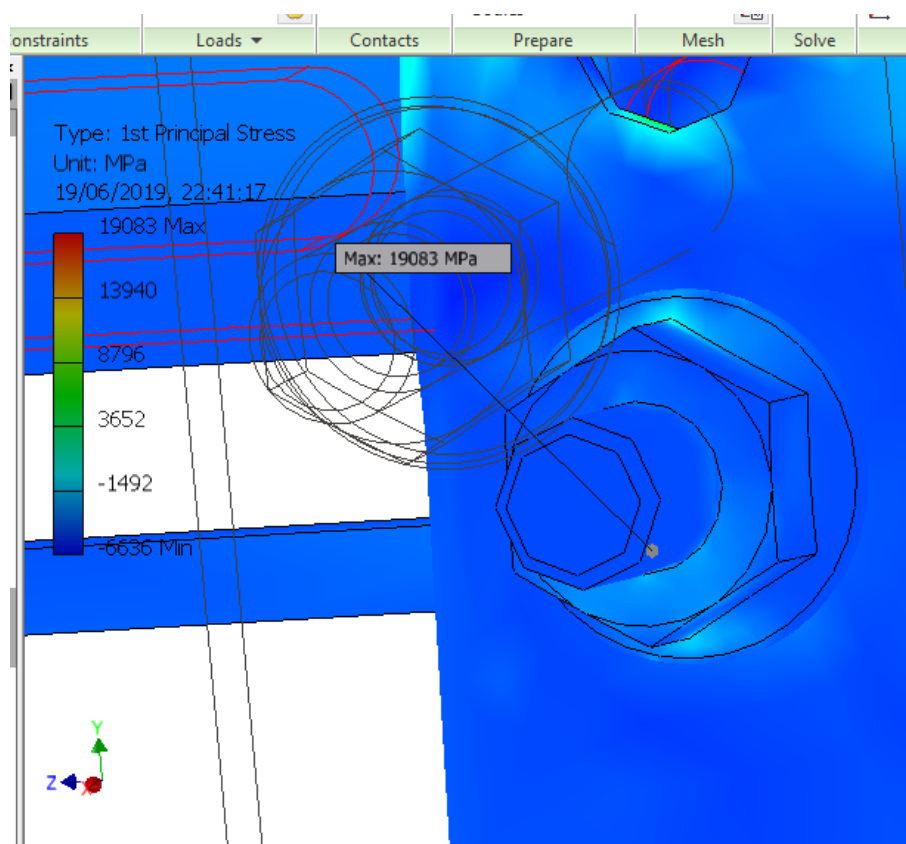


Слика 34. Детаљан приказ Вон Мизесовог напона

Главни напон – нормални напон приказан је на слици 35 и 36.

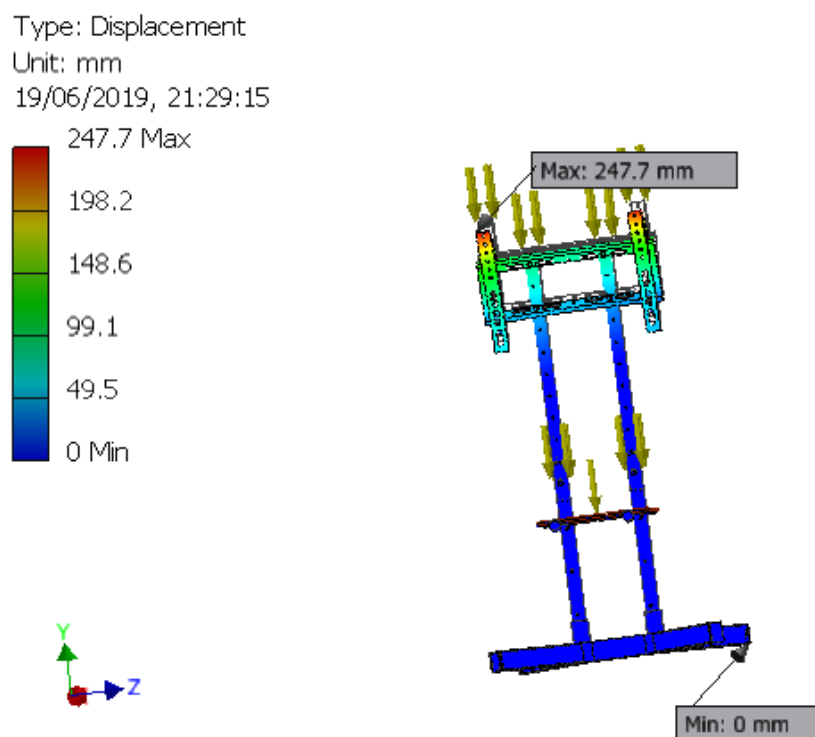


Слика 35. Нормални напон

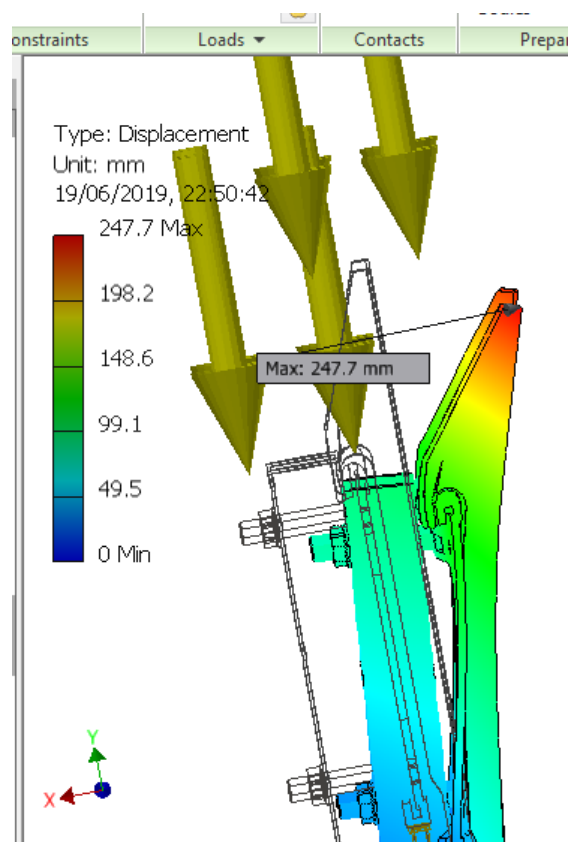


Слика 36. Детаљан приказ нормалног напона

Померања приказано је на слици 37 и 38.



Слика 37. Померање



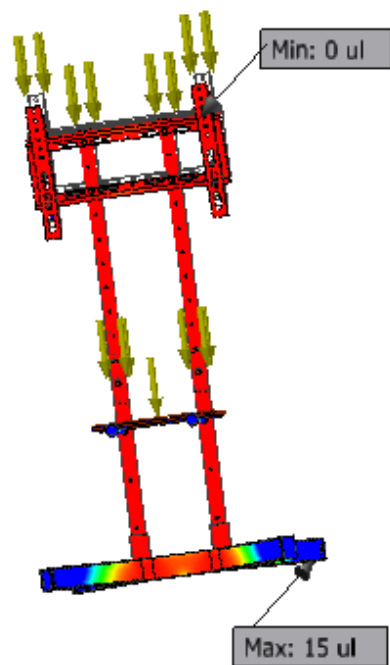
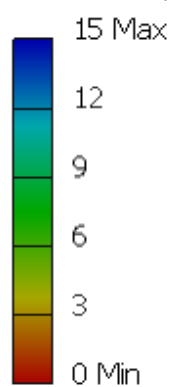
Слика 38. Детаљнији приказ померања

Степен сигурности приказан је слици 39.

Type: Safety Factor

Unit: ul

19/06/2019, 21:29:14



Слика 39. Степен сигурности

- Оптерећени држач са 70 kg

Вон Мизесов напон приказан је на слици 40 и 41.

Type: Von Mises Stress

Unit: MPa

20/06/2019, 01:09:19

30135 Max

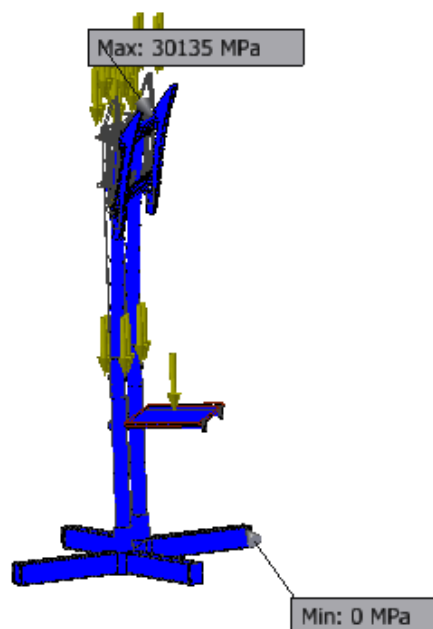
24108

18081

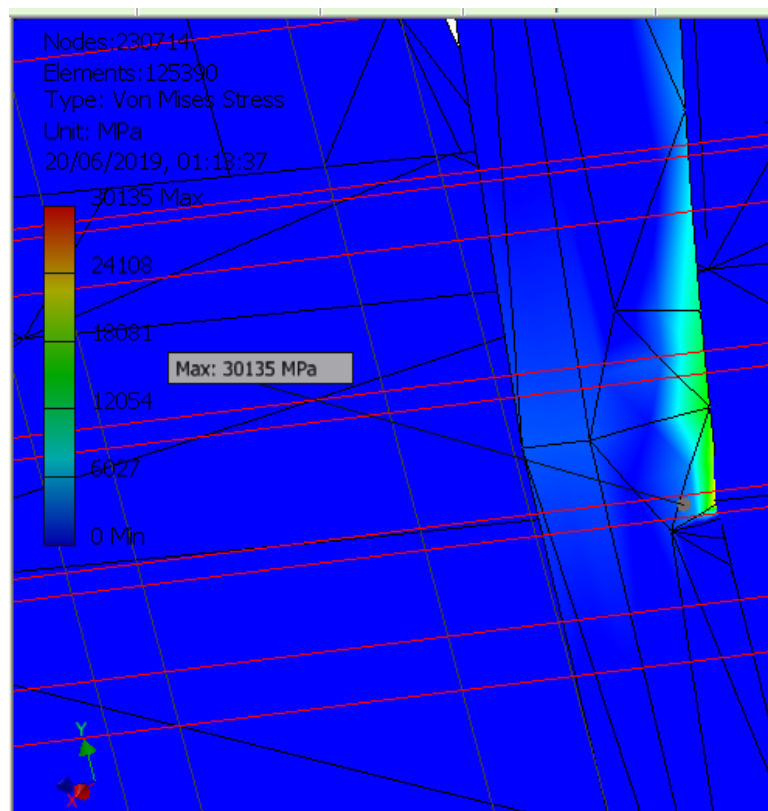
12054

6027

0 Min



Слика 40. Вон Мизесов напон



Слика 41. Детаљан приказн Вон Мизесовог напона

Главни напон – Нормални напон проказан је на слици 42 и 43.

Type: 1st Principal Stress

Unit: MPa

20/06/2019, 01:09:20

26713 Max

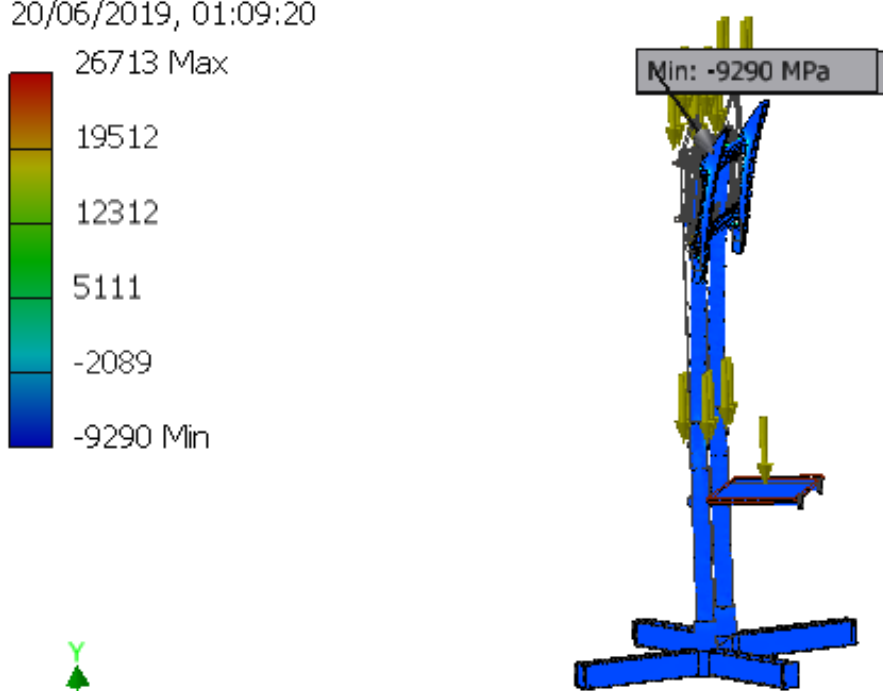
19512

12312

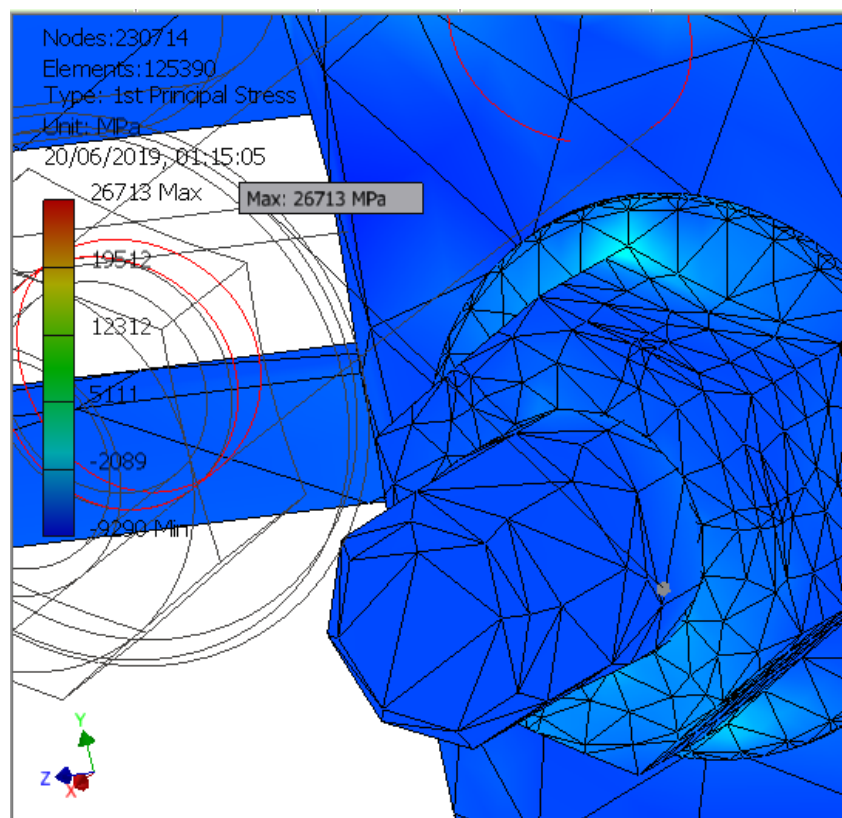
5111

-2089

-9290 Min

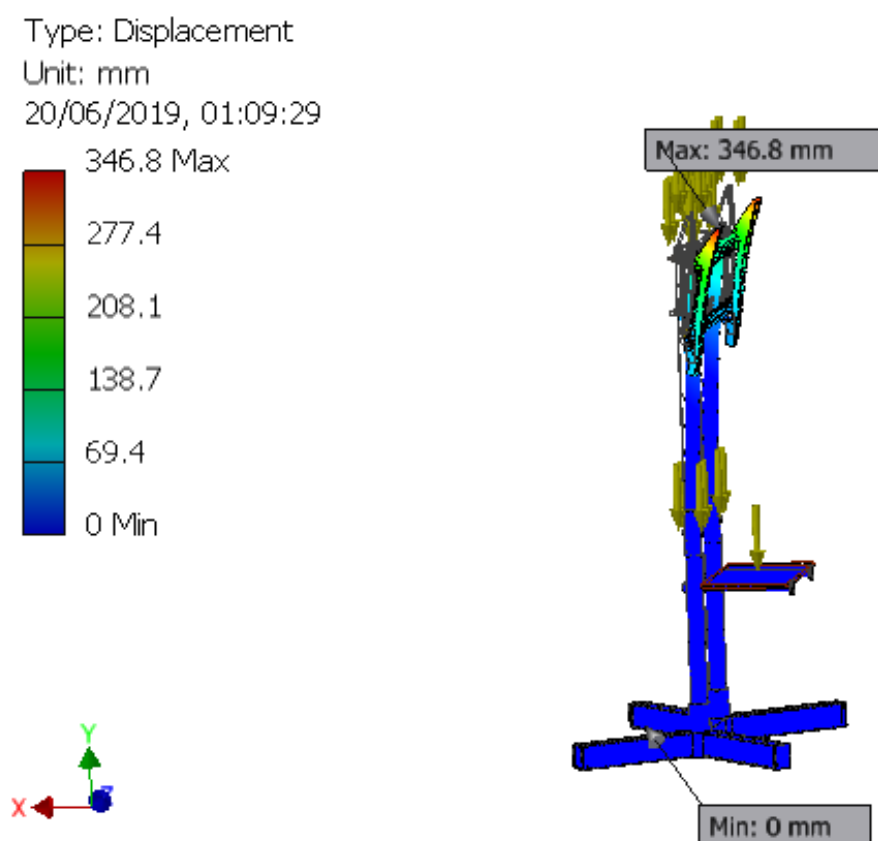


Слика 42. Нормални напон

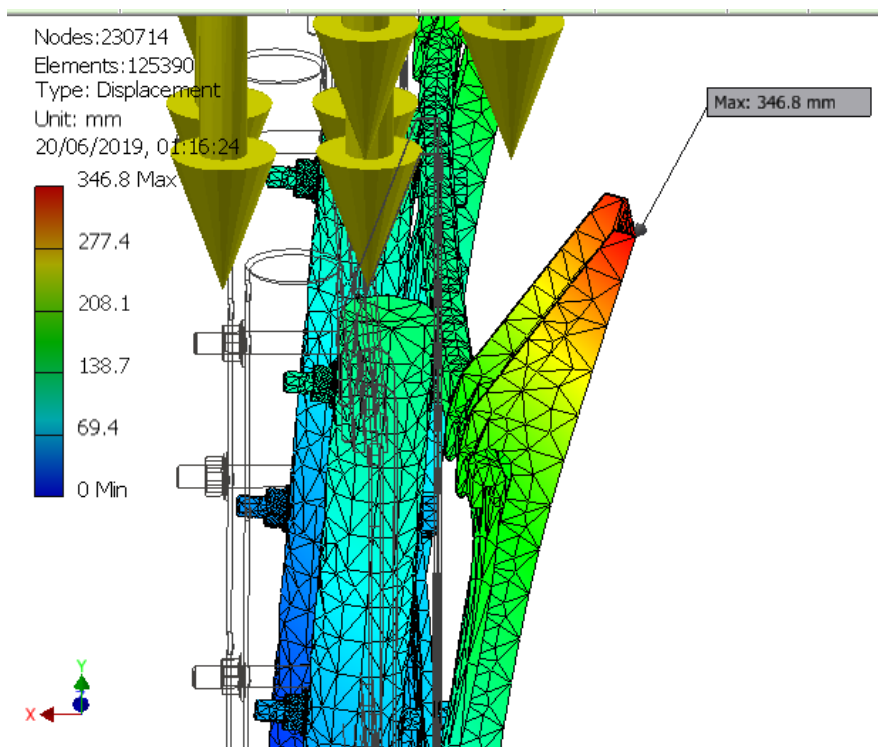


Слика 43. Детаљан приказ нормалног напона

Померање приказано је на слици 44 и 45.



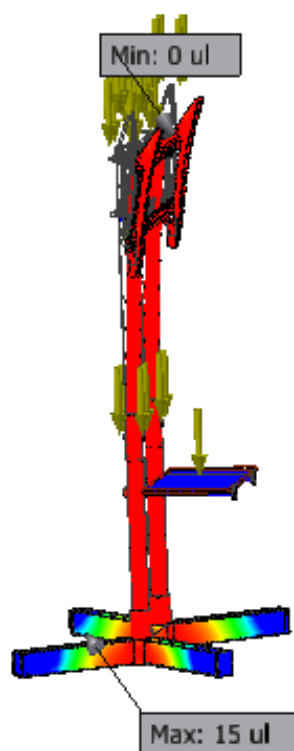
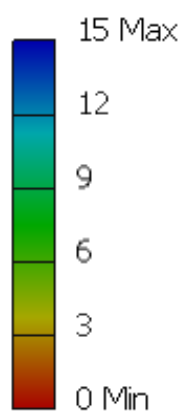
Слика 44. Померање



Слика 45. Детаљан приказ померања

Степен сигурности приказан је на слици 46.

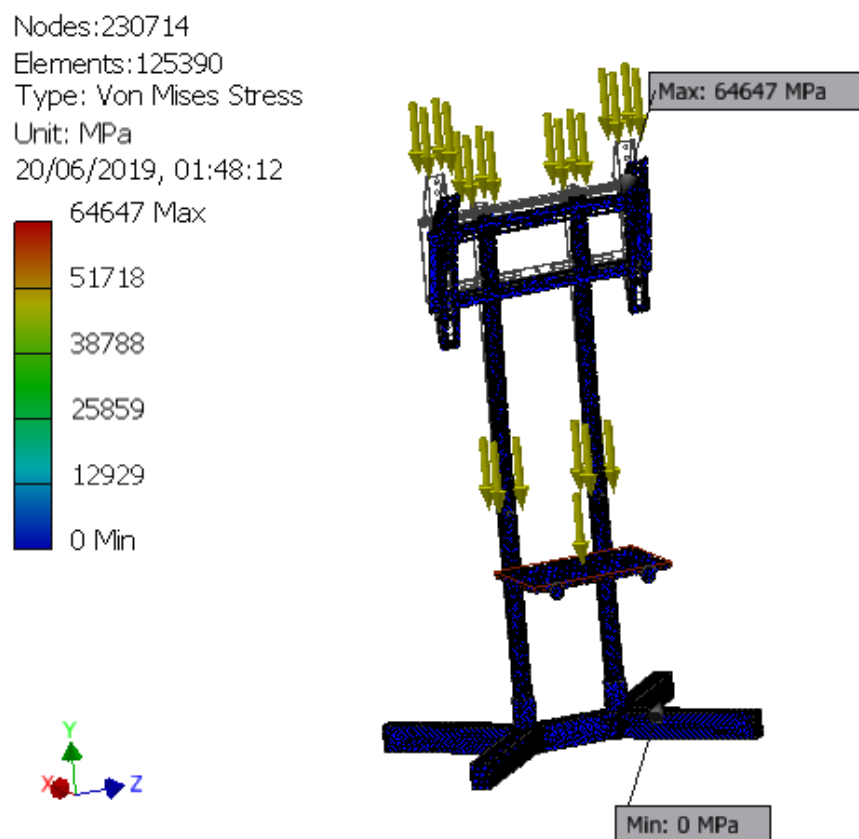
Type: Safety Factor
Unit: ul
20/06/2019, 01:09:28



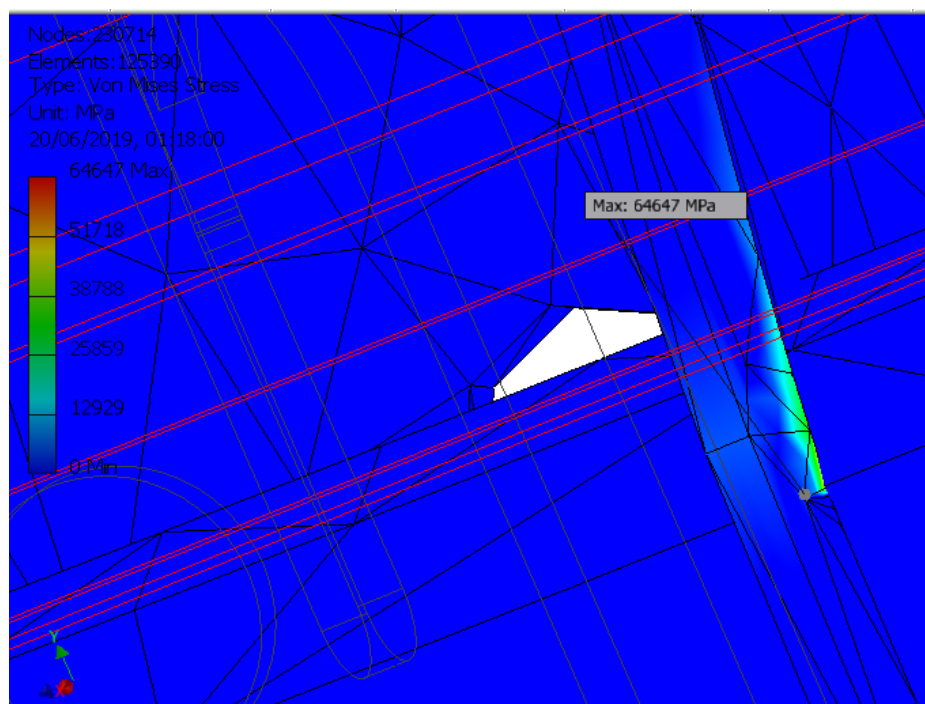
Слика 46. Степен сигурности

- Оптерећени држач са 150 kg

Вон Мизесов напон приказан је на слици 47 и 48.

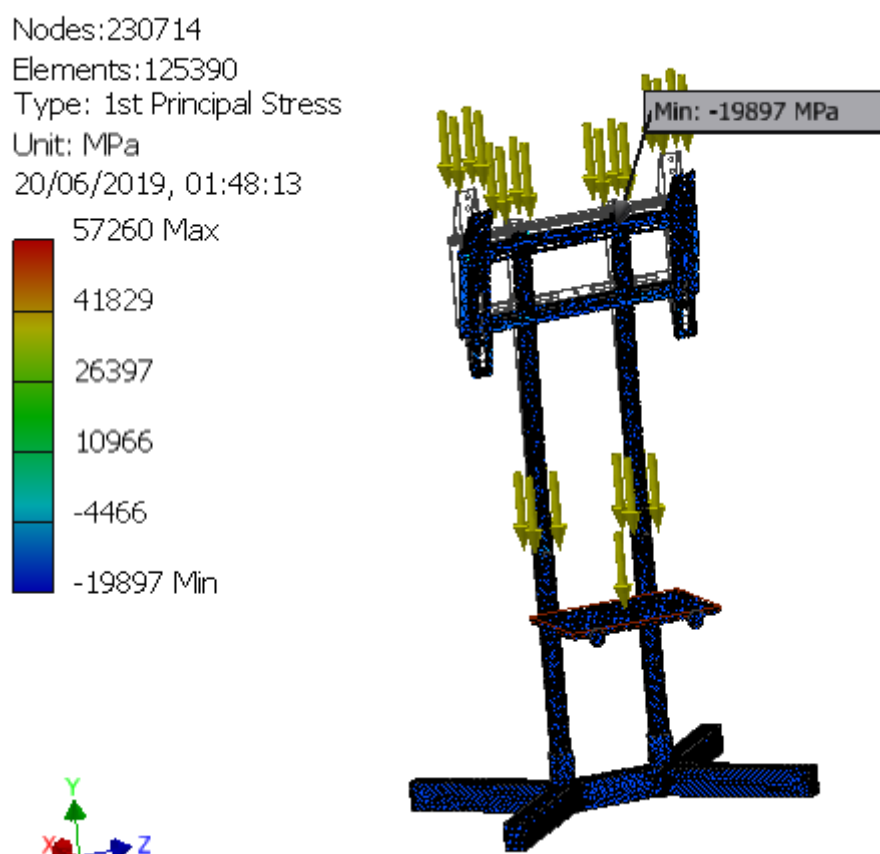


Слика 47. Мизесов напон

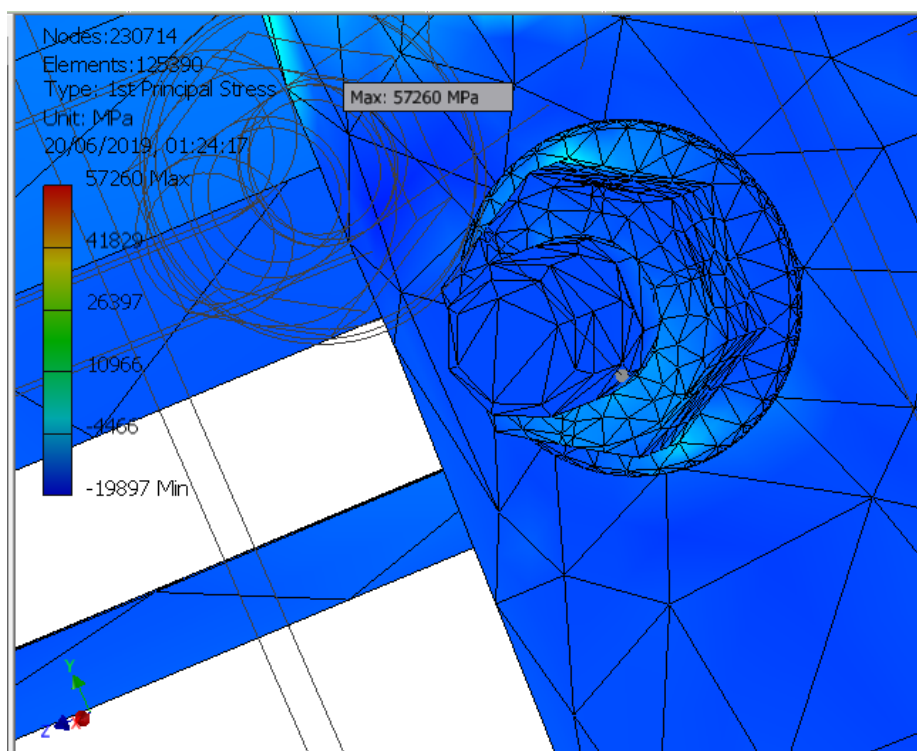


Слика 48. Детаљнији приказ Вон Мизесовог напона

Главни напон – Нормални напон приказано је на слици 49 и 50.

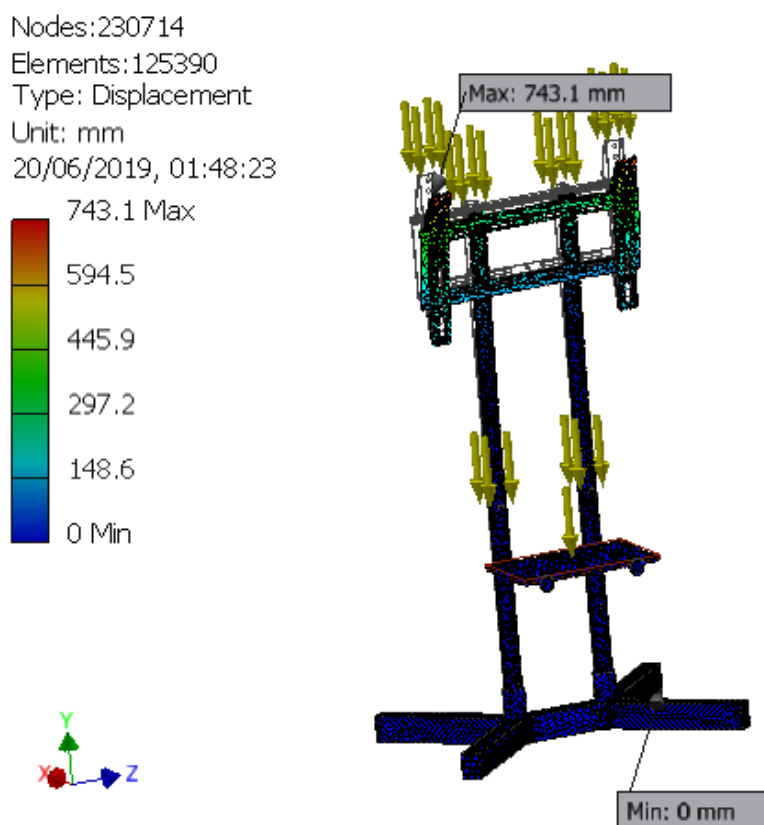


Слика 49. Нормални напон

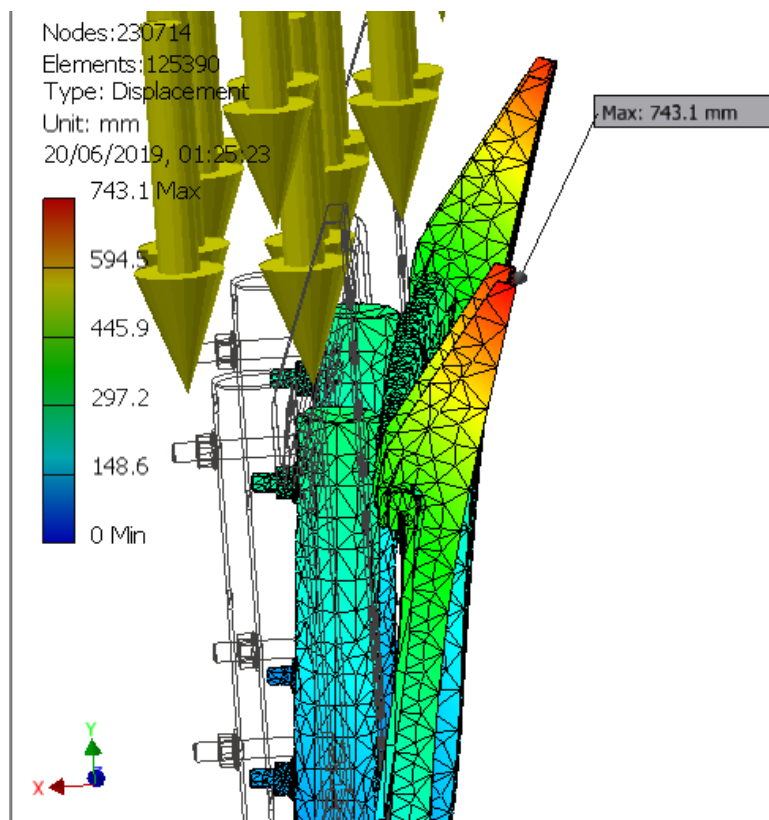


Слика 50. Детаљан приказ нормалног напона

Померање приказано на слици 51 и 52.

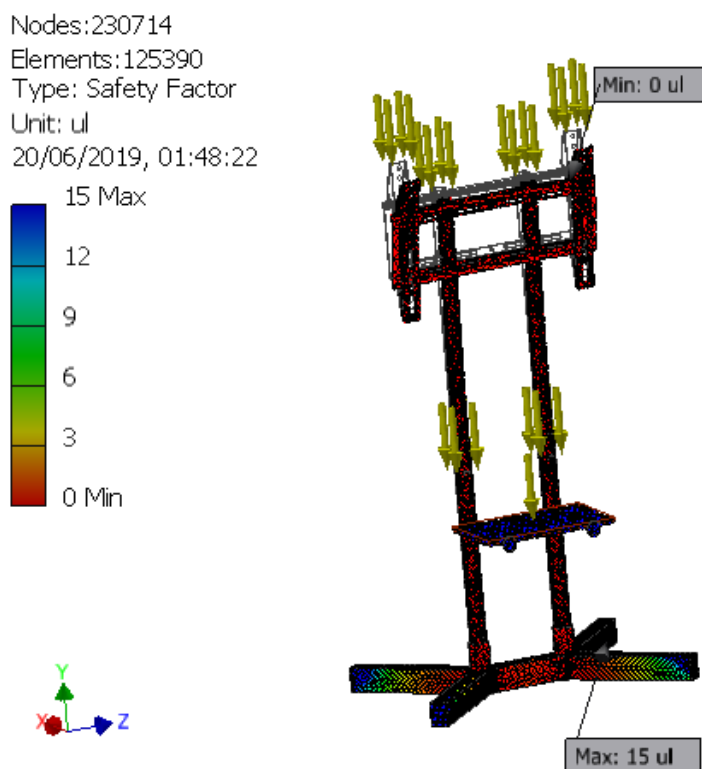


Слика 51. Померање



Слика 52. Детаљнији приказ померања

Степен сигурност приказан је на слици 53.



Слика 53. Степен сигурности

Добијени резултати приказани су у табели 4.

Табела 4. Добијени резултати

Тежина[kg]	50	70	150
Вон Мизисов напон [MPa]	21571	30135	64647
Главни напон - Нормални напон [MPa]	19083	26713	57260
Померање [mm]	247.7	346.8	743.1
Степен сигурности	15	15	15

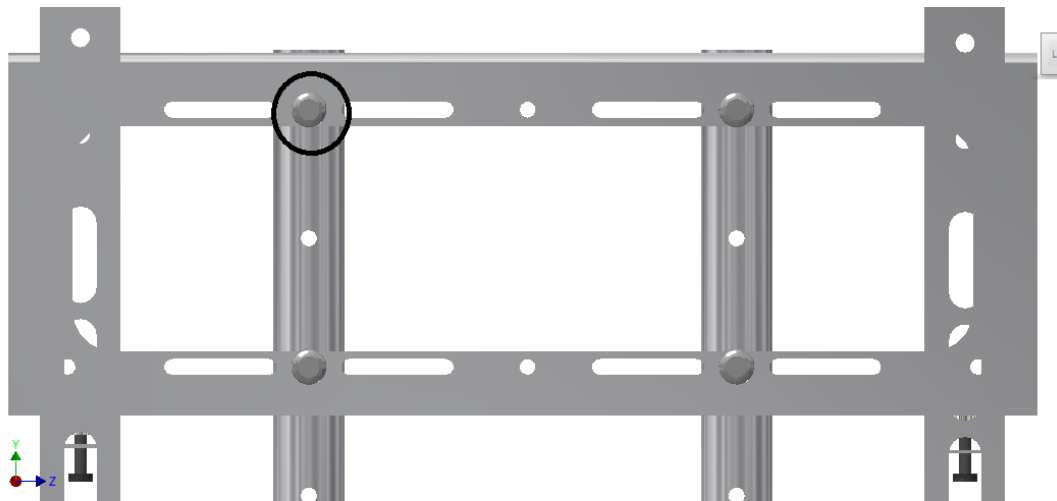
Скале које се налазе на претходним сликама показују вредности од најмање ка највећеј. Црвеном бојом су обележене највеће вредности а плавом најмање вредности. Боје између су такође битне јер се може видети на моделу одакле почиње велика концентрација напона. Ако се у пракси премаси максимална вредност може доћи до пластичне деформације.

На основу добијених резултата може се доћи до закључка да се са повећањем тежине повећава и Вон Мизисов напон, главни напон - нормални напон, померање као и степен сигурности. Такође се може закључити да ако се узме материјал са бољим карактеристика него што је алуминијум 1100-О, а са истим оптерећењема добиће се знатно мањи резултати за поменуте напоне, померања и степен сигурности. Овакви резултати су логични и очекивани што показује исправност рада и могућност коришћења истог софтвера за анализу и са прслином.

4.3 Анализа завртњева на елементу 6 са иницијалном прслином

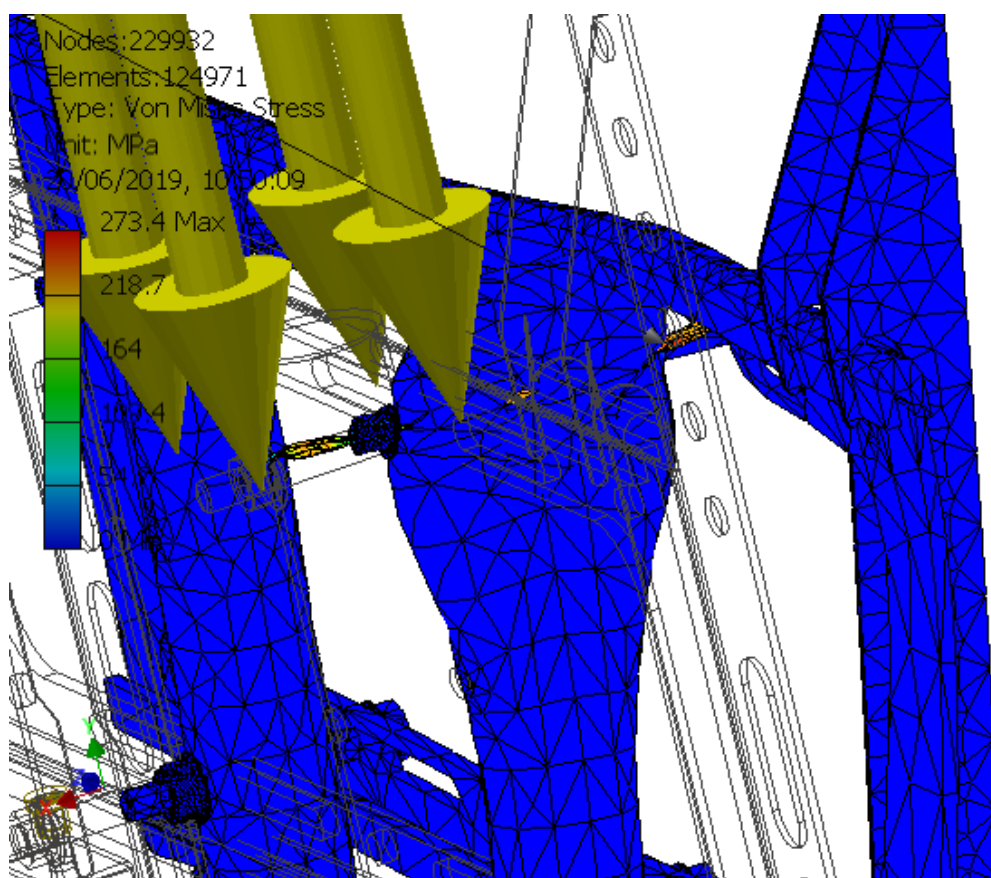
Анализа ових завртњева је битна зато што они трпе првобитно највеће оптерећење, затим остали завртњеви који су у склопу.

- Горњи леви завртањ тежина 50 kgслика 54.



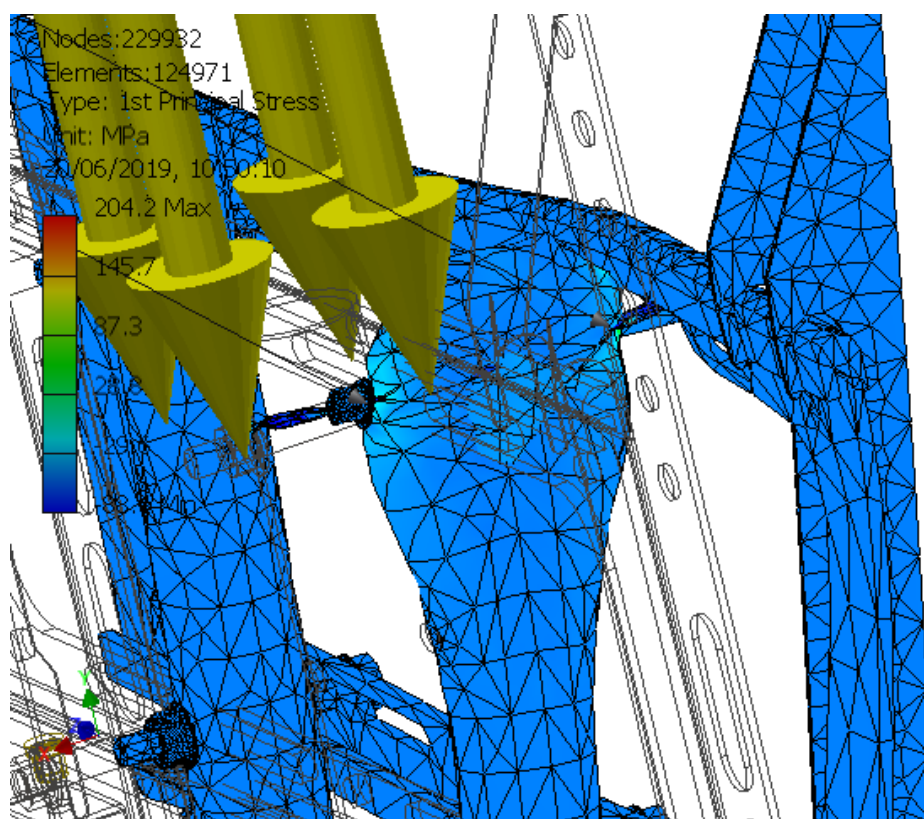
Слика 54. Приказ завртња који се анализира

Вон Мизесов напон приказан на слици 55.



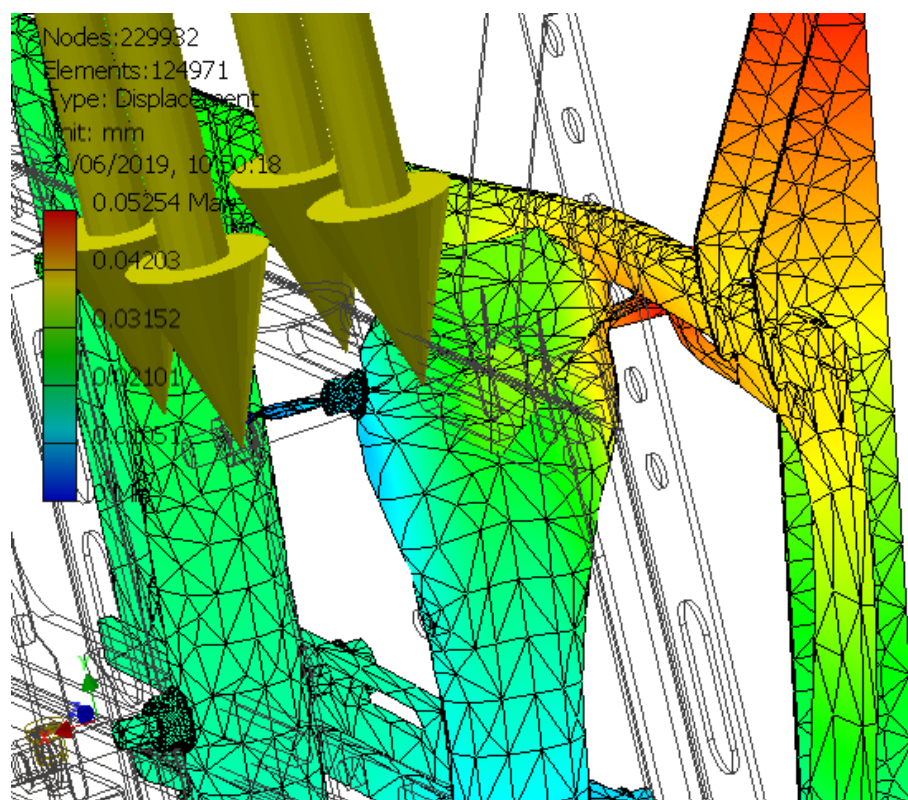
Слика 55. Вон Мизесов напон

Главни напон – Нормалан напон приказан је на слици 56.



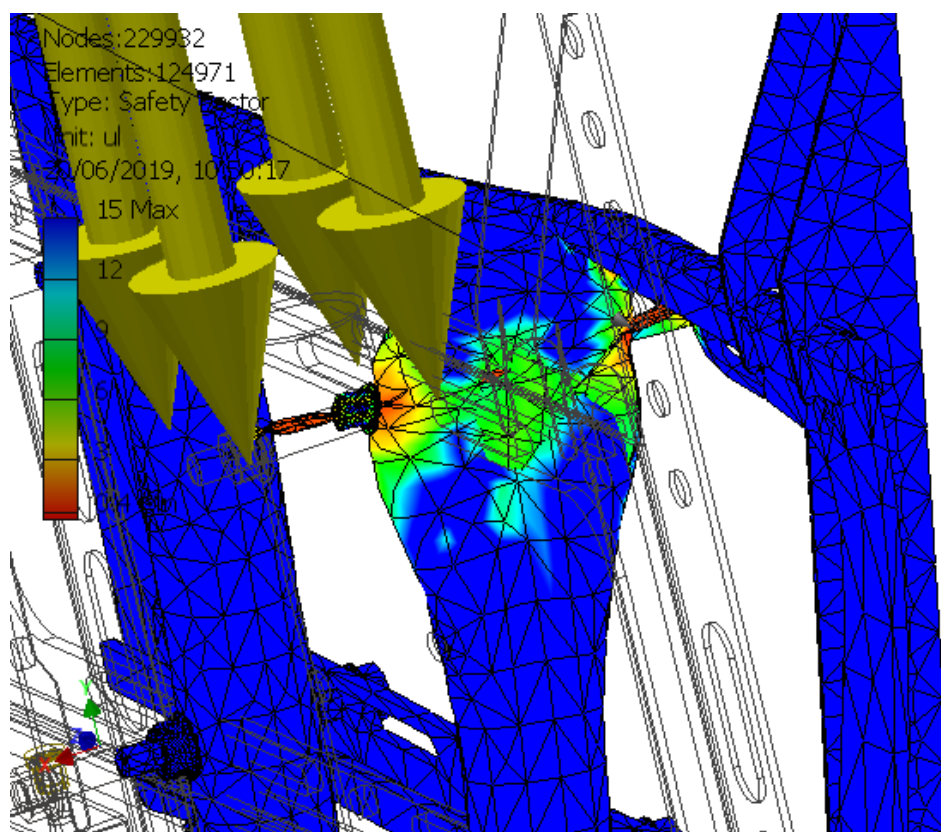
Слика 56. Нормални напон

Померање приказано је на слици 57.



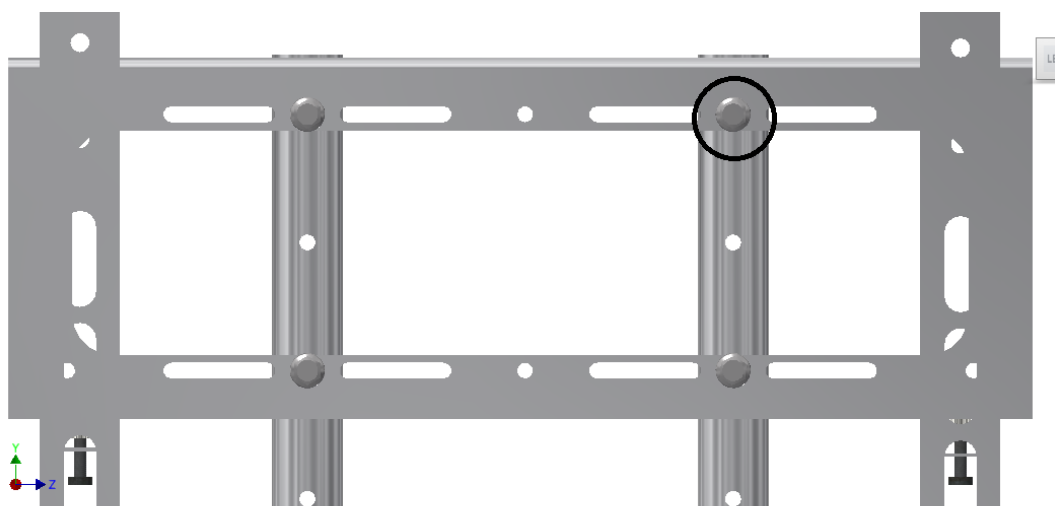
Слика 57. Померање

Степен сигурности приказан је на слици 58.



Слика 58. Степен сигурности

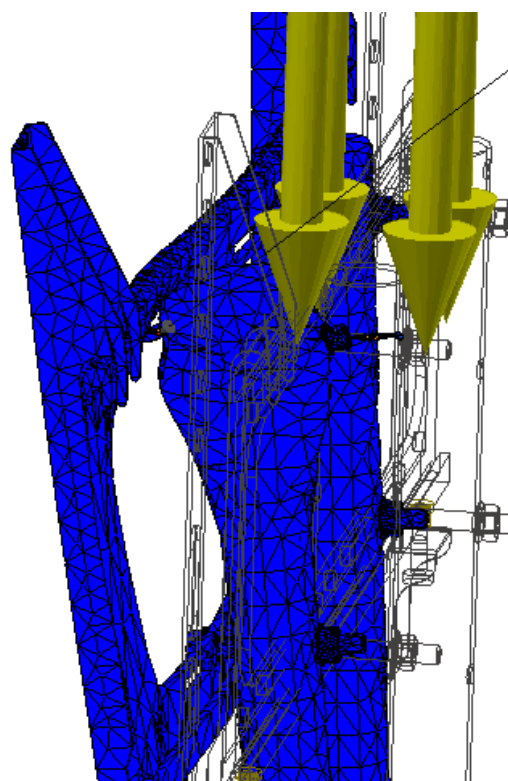
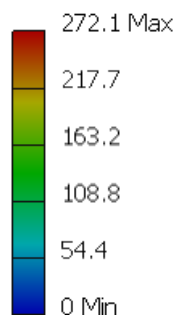
- Горњи десни завртањ са тежином 50 kg приказан је на слици 59.



Слика 59. Приказ завртња који се анализира

Вон Мизесов напон приказан на слици60.

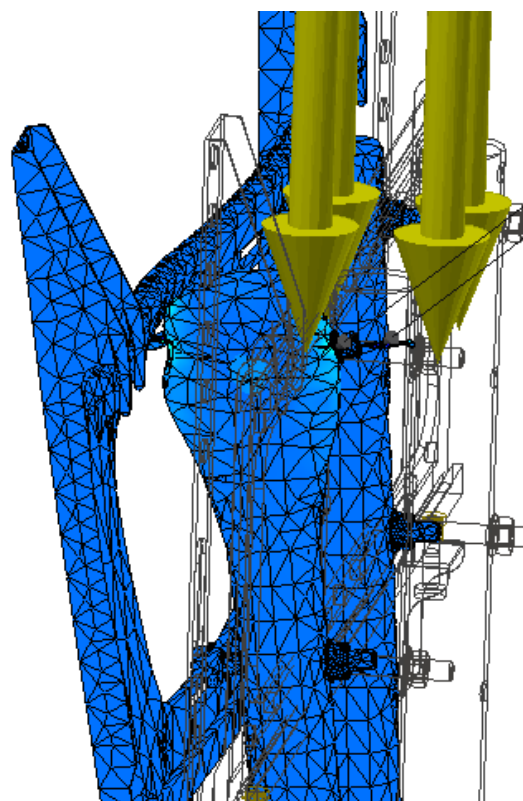
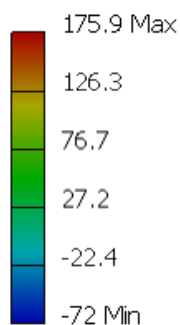
Nodes:231462
Elements:126279
Type: Von Mises Stress
Unit: MPa
20/06/2019, 12:45:32



Слика 60. Вон Мизесов напон

Главни напон – Нормални напон приказан на слици 61.

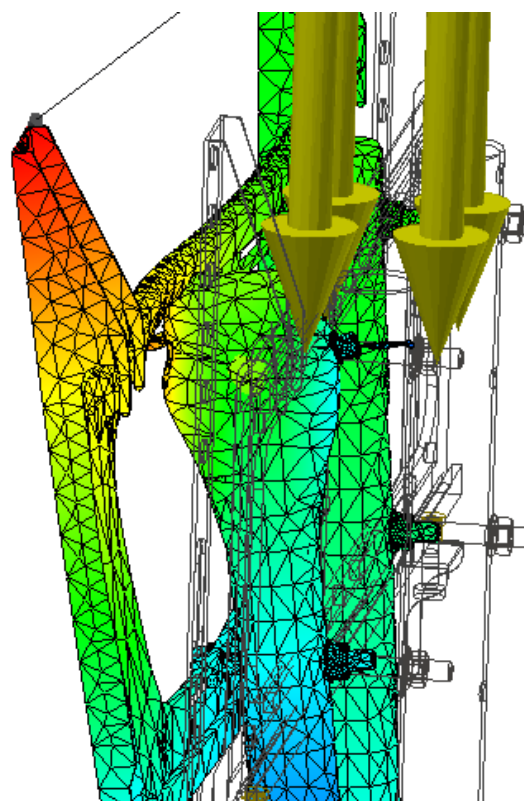
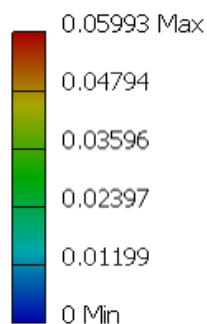
Nodes:231462
Elements:126279
Type: 1st Principal Stress
Unit: MPa
20/06/2019, 12:45:34



Слика 61. Нормални напон

Померање приказано је на слици 62.

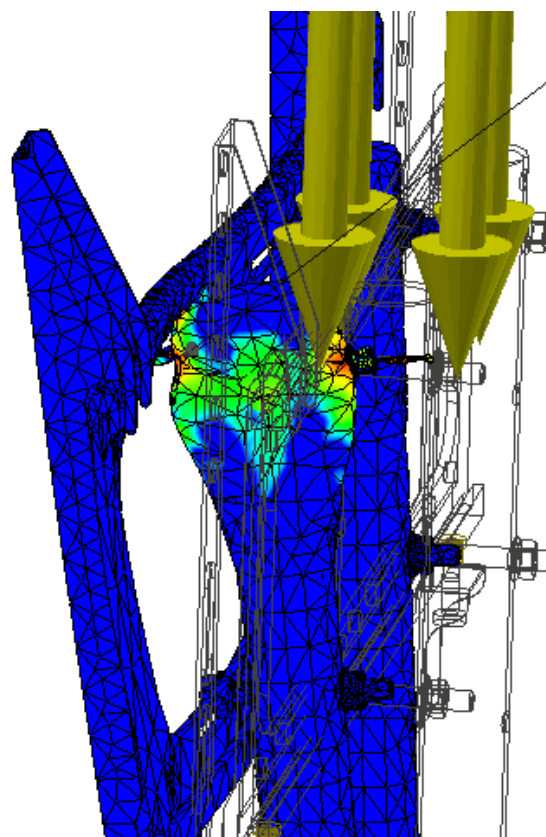
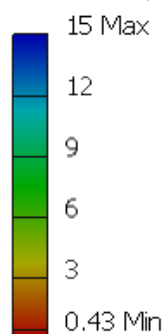
Nodes:231462
Elements:126279
Type: Displacement
Unit: mm
20/06/2019, 12:45:43



Слика 62. Померање

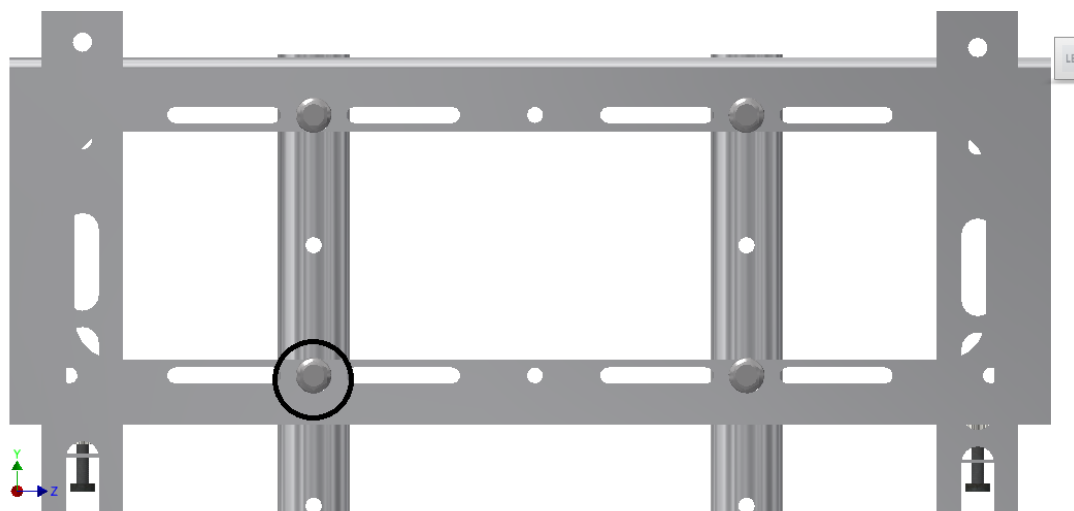
Степен сигурности приказано је на слици 63.

Nodes:231462
Elements:126279
Type: Safety Factor
Unit: ul
20/06/2019, 12:45:42



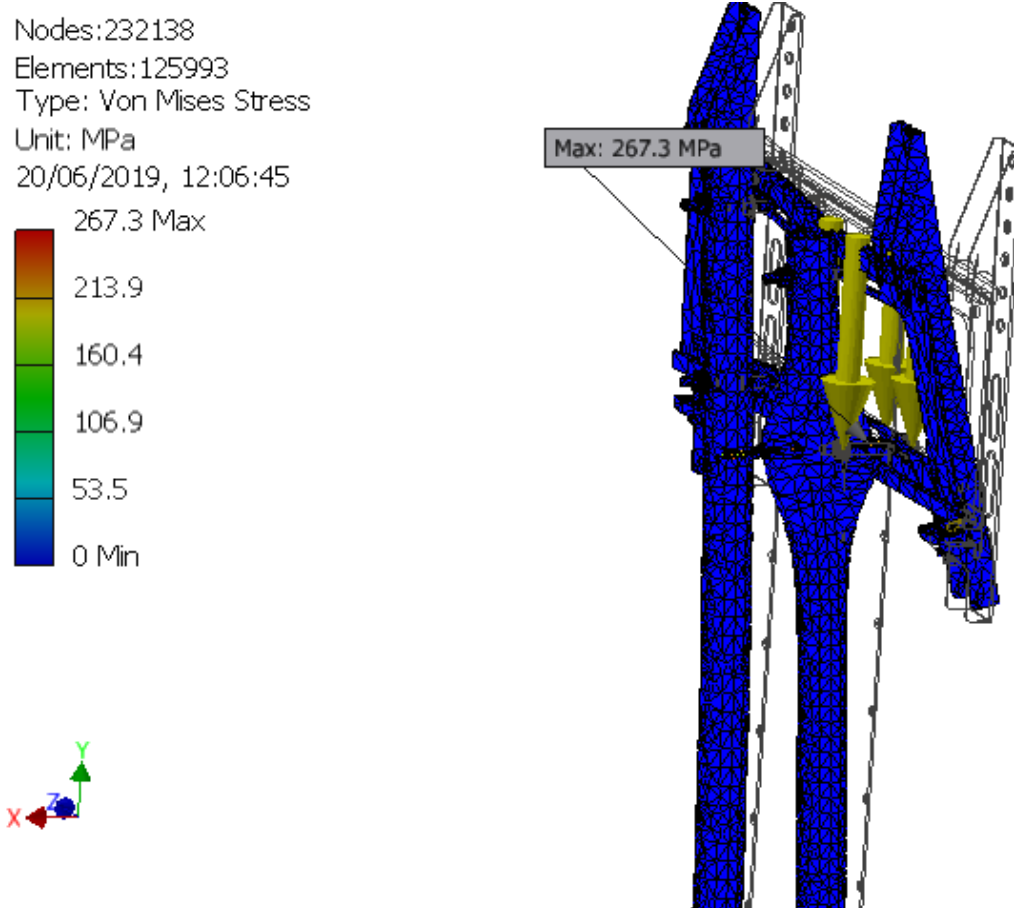
Слика 63. Степен сигурности

- Доњи леви завртањ слика 64.



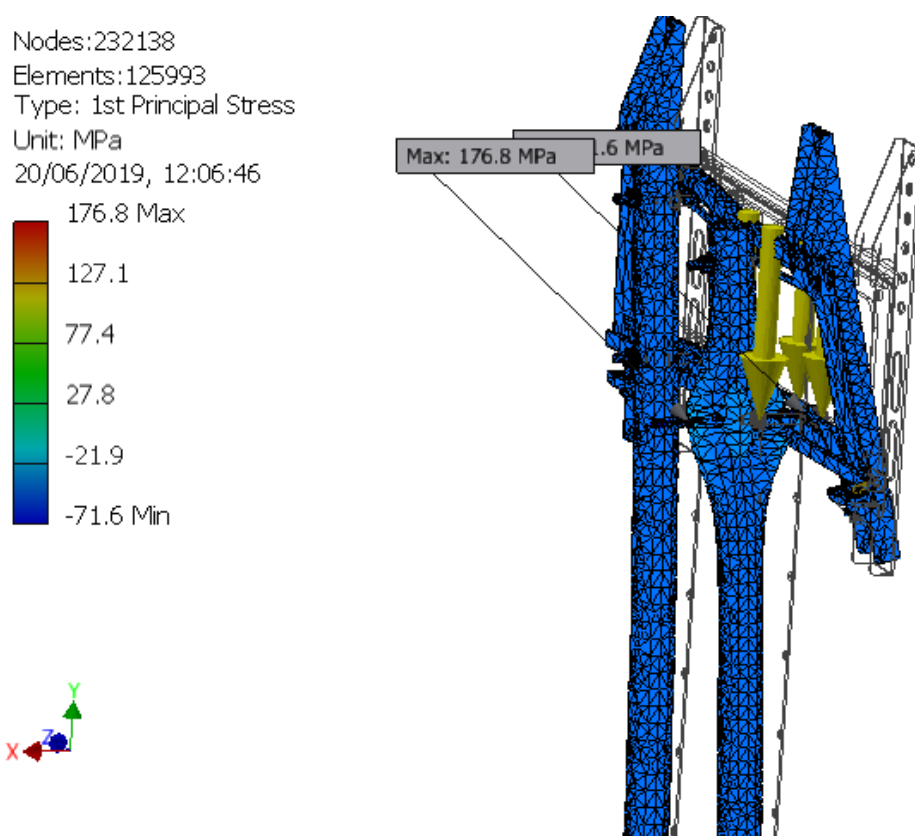
Слика 64. Приказ завртња који се анализира

Вон Мизесов напон приказан на слици 65.



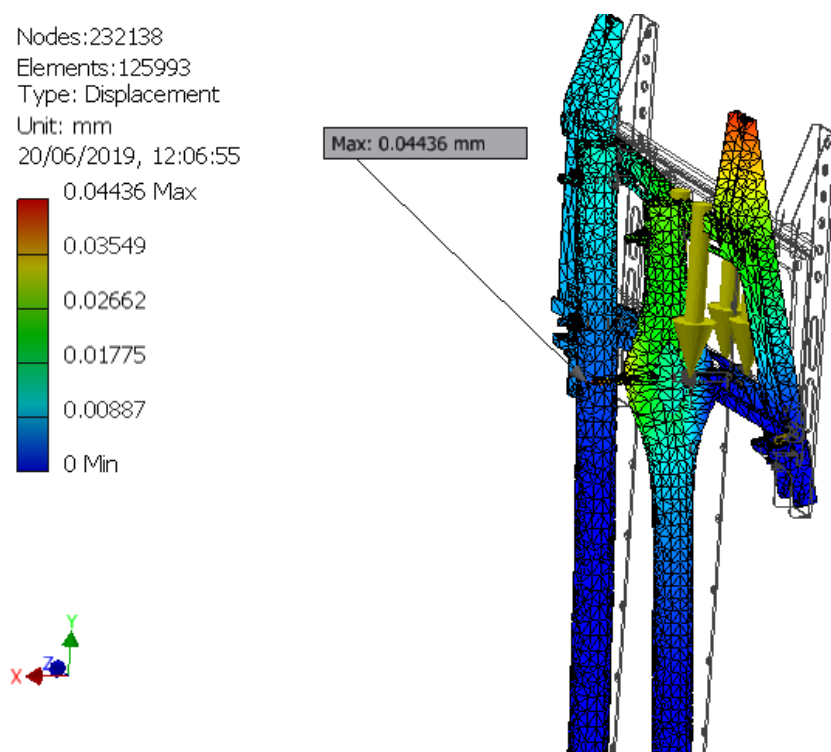
Слика 65. Вон Мизесов напон

Главни напон – Нормалан напон приказан је на слици 66.



Слика 66. Нормални напон

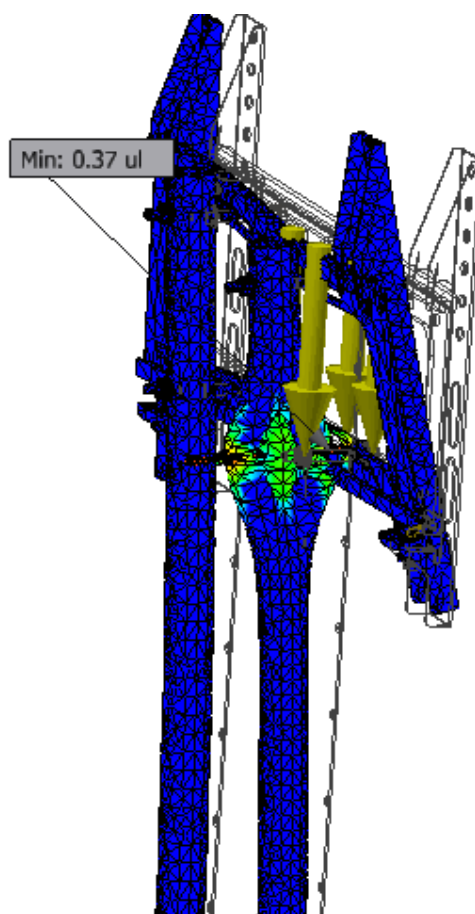
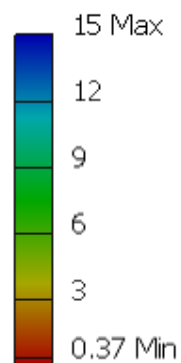
Померање приказано је на слици 67.



Слика 67. Померање

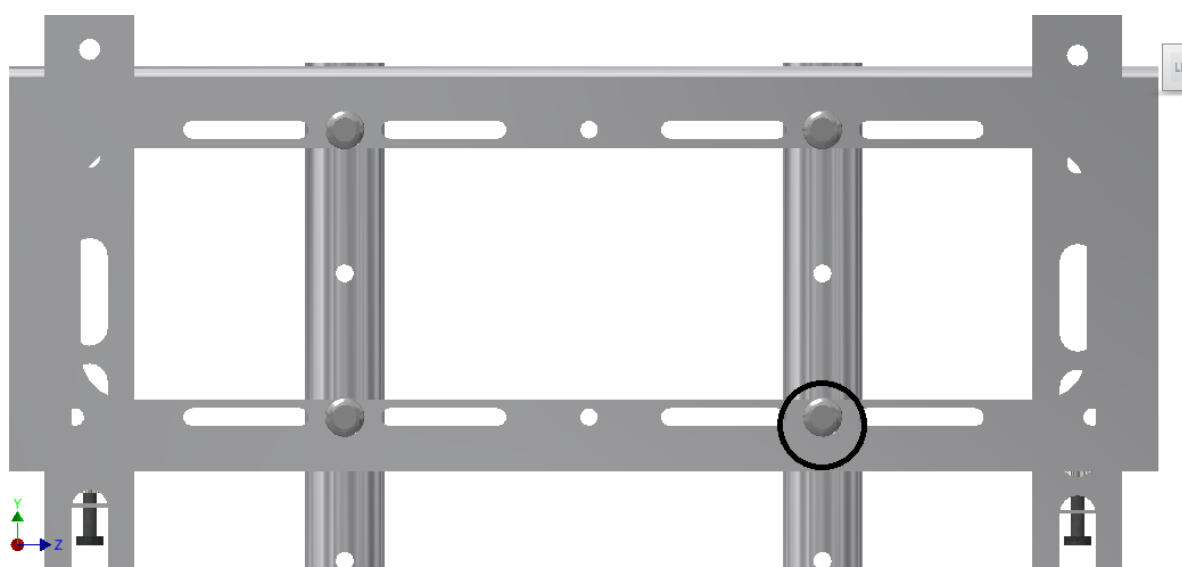
Степен сигурности приказан је на слици 68.

Nodes:232138
Elements:125993
Type: Safety Factor
Unit: ul
20/06/2019, 12:06:54



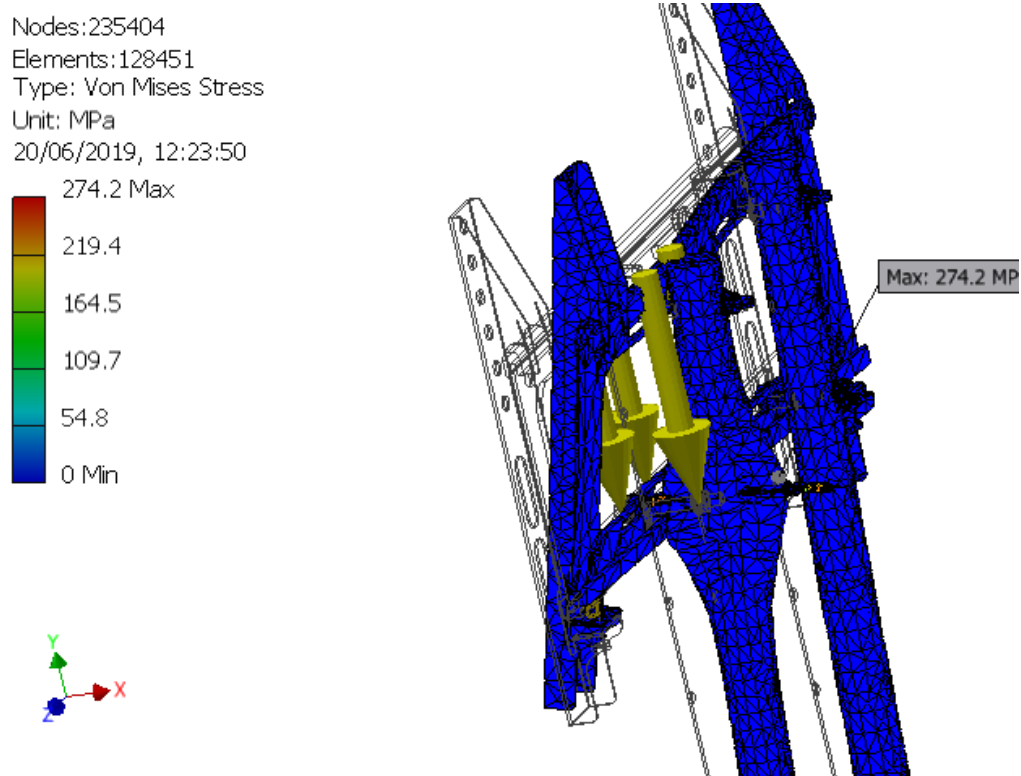
Слика 68. Степен сигурности

- Доњи десни завртањ слика 69.



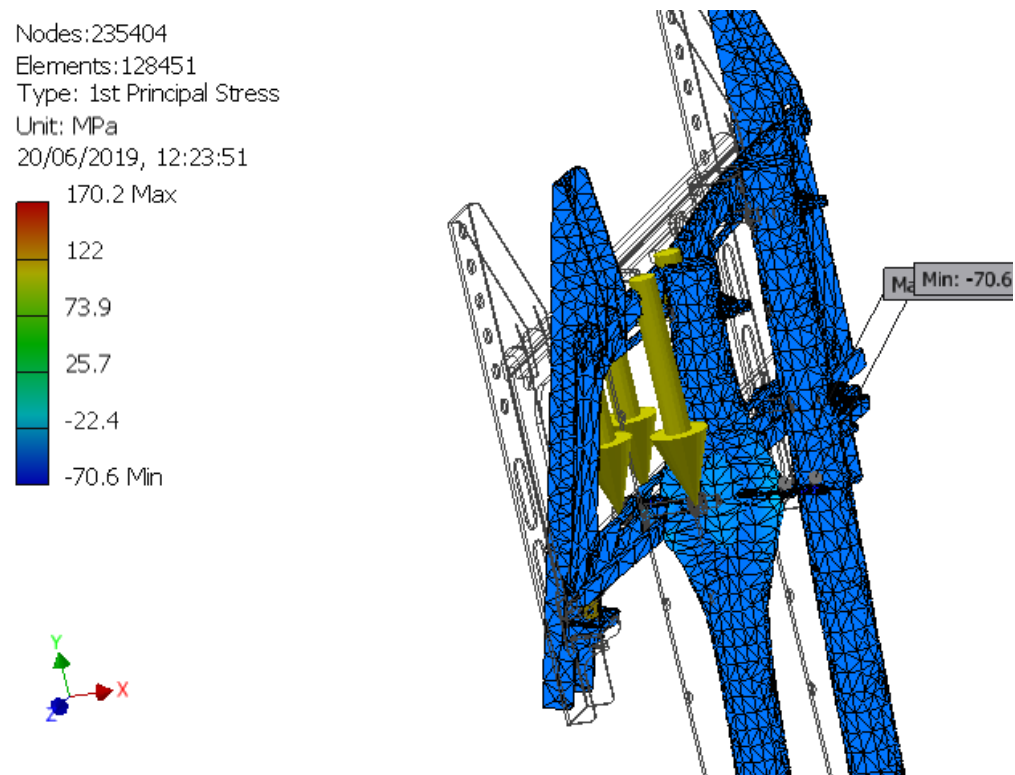
Слика 69. Приказ завртња који се анализира

Вон Мизесов напон приказан на слици 70.



Слика 70. Вон Мизесов напон

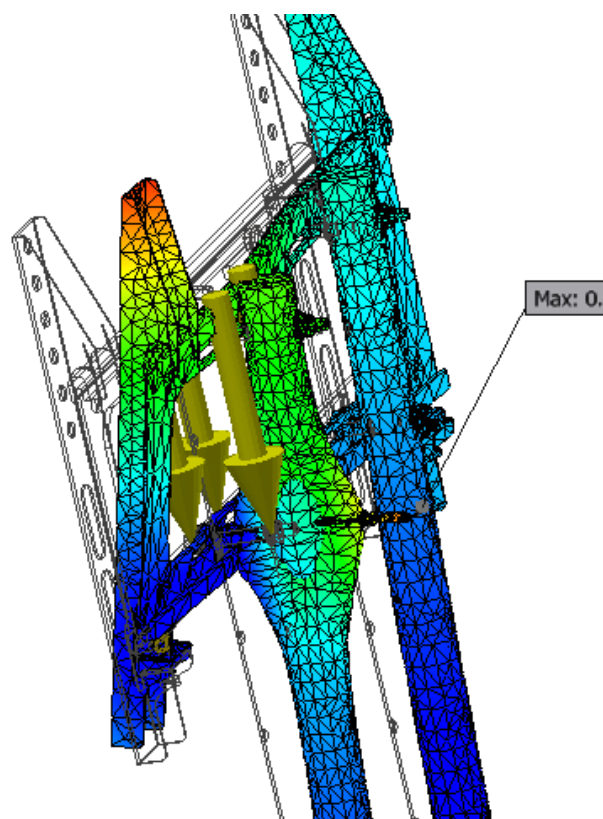
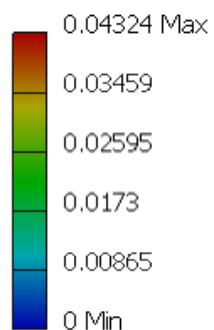
Главни напон – Нормални напон приказан је на слици 71.



Слика 71. Нормални напон

Померање приказано је на слици 72.

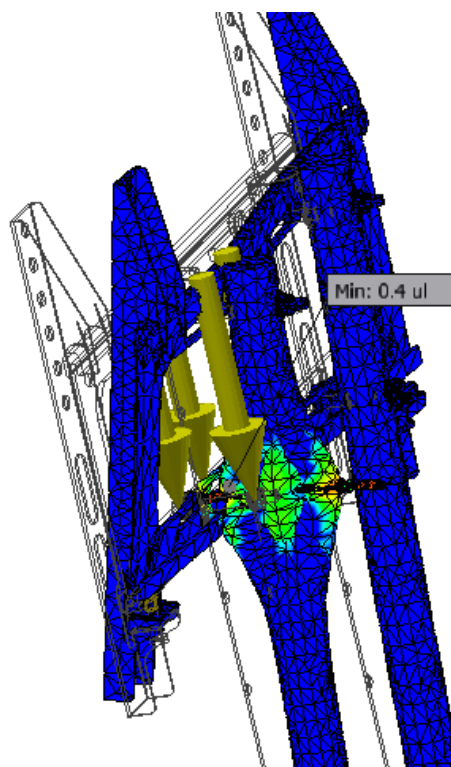
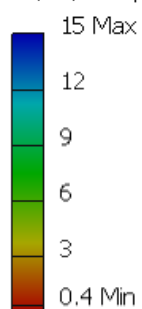
Nodes: 235404
Elements: 128451
Type: Displacement
Unit: mm
20/06/2019, 12:24:00



Слика 72. Померање

Степен сигурности приказан на слици 73.

Nodes: 235404
Elements: 128451
Type: Safety Factor
Unit: ul
20/06/2019, 12:23:59



Слика 73. Степен сигурности

Добијене вредности су приказане у табели 5.

Табела 5. Добијени резултати завртњева

Тежина 50 kg	Горњи леви завртањ	Горњи десни завртањ	Доњи леви завртањ	Доњи десни завртањ
Вон Мизесов напон [МПа]	273.4	272.1	267.3	274.2
Главни напон – Нормални напон [МПа]	204.2	175.9	176.8	107.2
Померање [mm]	0.05254	0.05993	0.03549	0.04324
Степен сигурности	15	15	15	15

Вон Мизесов напон је највећи на доњем десном завртњу, док је највећи нормални напон на горњем левом завртњу. Померања опадају од горњег левог завртња ка доњем десном завртњу.

На основу резултата може се закључити да завртњеви неће попустити веома лако ако се појави инерцијална прслина. Од тренутка када се појави инерцијална прслина на завртању, попустиће временом али ће доћи и до деформације елемента 3.

5. Закључак

Механика лома је наука која се бави проучавањем настанка и развоја прслина у кртим и квази кртим материјалима. Она представља дисциплину у којој је неопходно повезивање теоријских разматрања са експерименталним резултатима са једне стране и са појавом ломова и хаварија у експлоатацији са друге стране.

Раст прслине највише зависи од напонско – деформацијског стања у околини њеног врха. У овом раду је извршена анализа напона и деформација једног покретног држача телевизора који је направљен од алуминијума. Анализа је рађена у софтверском пакету INVENTOR као и моделирање и техничка документација.

Детаљном анализом понашања конструкције са реалним оптерећењем и са увећаним утврђено је где су слабе тачке држача. Наиме места на којима се јављају концентрације напона су интересантна са аспекта механике лома. У другој фази анализе посматрано је понашање конструкције са иницијалним прслинама које су накнадно унете на местима где је процењено да би се оне у процесу експлоатације, највероватније и појавиле.

На основу добијених резултата дошло се до више закључка. Прво да се са повећањем тежине повећавају Вон Мизисови напони, нормални напони као и померања. Такође се може закључити да ако се узме материјал са бољим карактеристикама него што је коришћени материјал, а са истим оптерећењем добиће се знатно мање вредности за поменуте напоне и померања. Ово је било очекивано, тако да се може сматрати да су коректне вредности које су се добиле коришћењем истог софтвера и при постојању прслине на местима концентрације напона.

Вон Мизесов напон је највећи на доњем десном завртњу, док је највећи нормални напон на горњем левом завртњу. Померања опадају од горњег левог завртња ка доњем десном завртњу.

Може се сматрати да завртњеви неће попустити тако лако ако се појави иницијална прслина при радном оптерећењу, али при увећаном би дошло прво до знатне пластичне деформације а можда и до лома на тим местима. Брзину раста прслине није било могуће одредити у коришћеном софтверу, али добијени резултати су јако корисни као потребни подаци за налажење основних параметара лома. Софтвери ANSYS и ABAQUS се могу користити за ту сврху.

Литература

[1]http://moodle.mfkg.rs/pluginfile.php/72591/mod_resource/content/0/001_Opste_postavke_mehanike_loma_skenirano.pdf

[2] <http://nardus.mpn.gov.rs/handle/123456789/2336>

[3] Николић Р., Вељковић Ј., Марјановић В.: МЕТАЛНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ-збирка решених задатака, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу САД Лабораторија, 2013

[4].Марјановић В., Основне поставке Механике лома, скрипта у електронском облику, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2018.

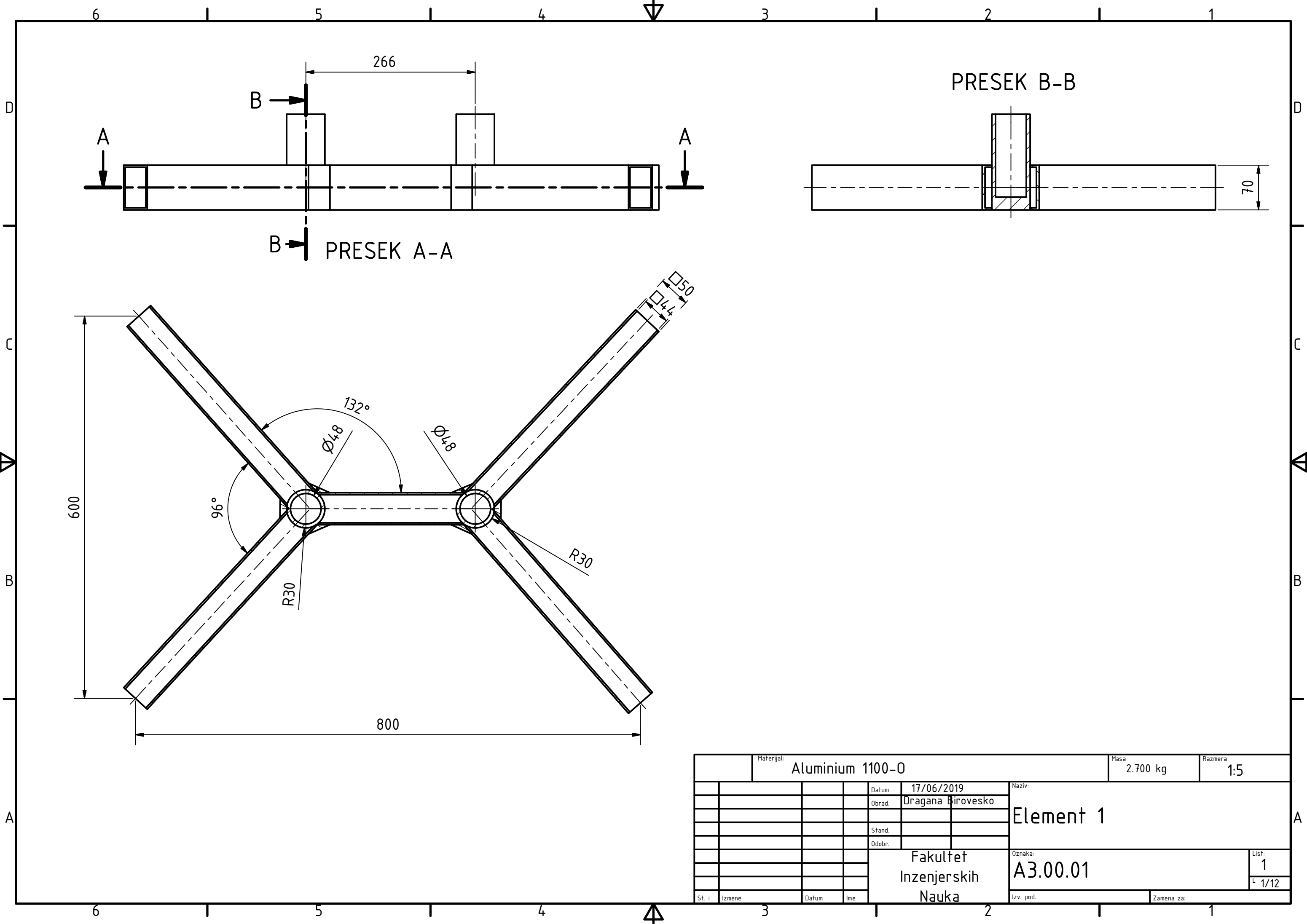
[5]Јовичић Гордана, Живковић Мирослав, Вуловић Снежана, Прорачунска механика лома и замора, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац 2011.

[6]Николић Р., Марјановић В.: Металне конструкције – Приручник за прорачуне, Машински факултет Крагујевац, 1998.

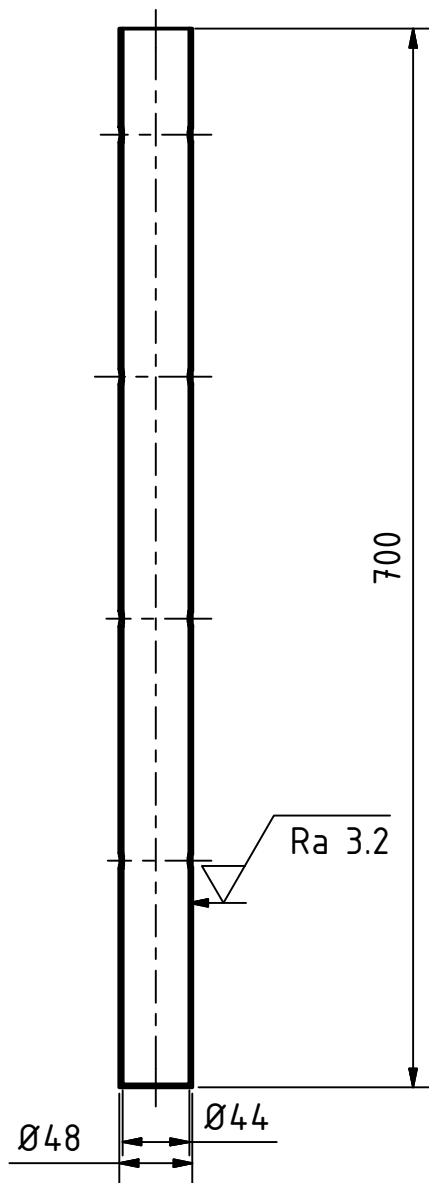
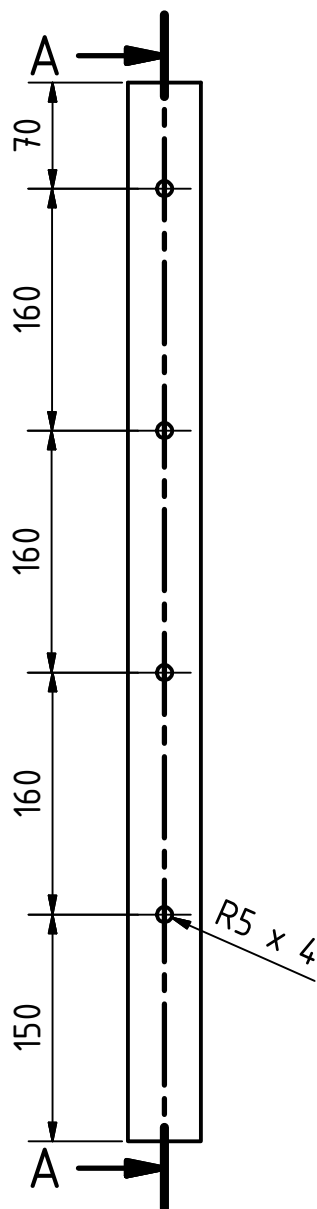
[7]Autodesk Inventor

Прилог

Техничка документација.

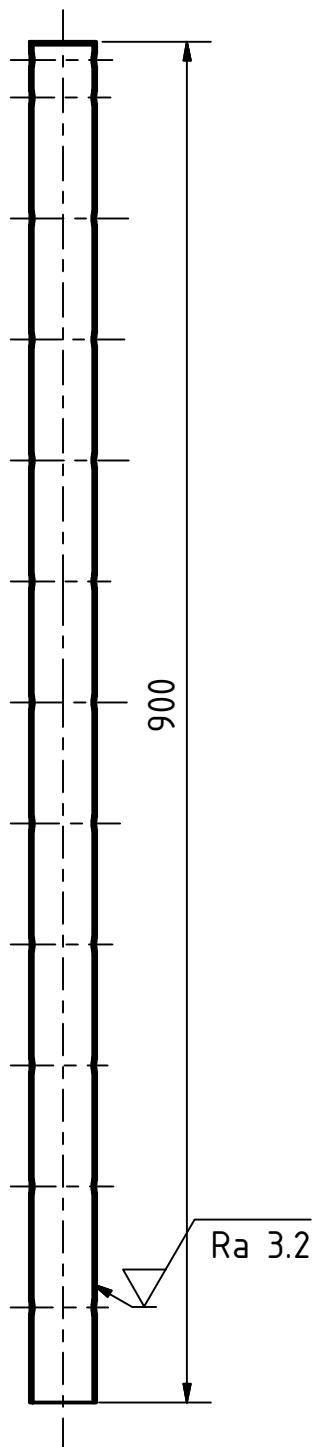
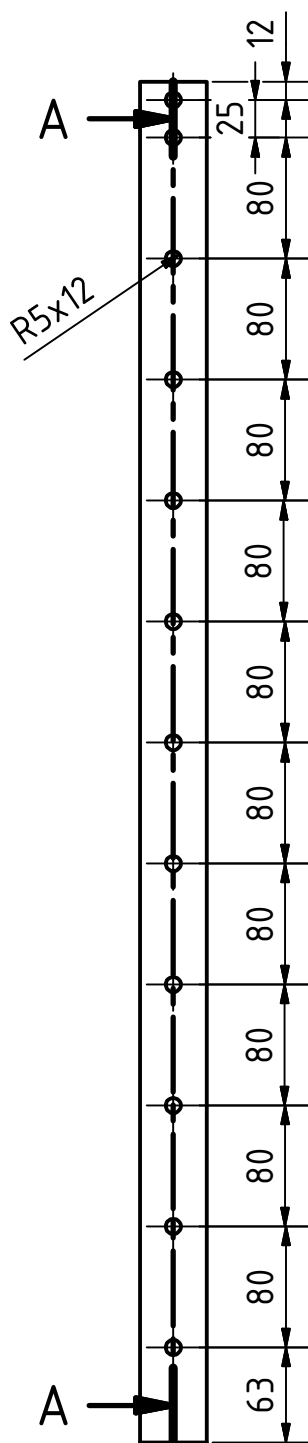


PRESEK A-A

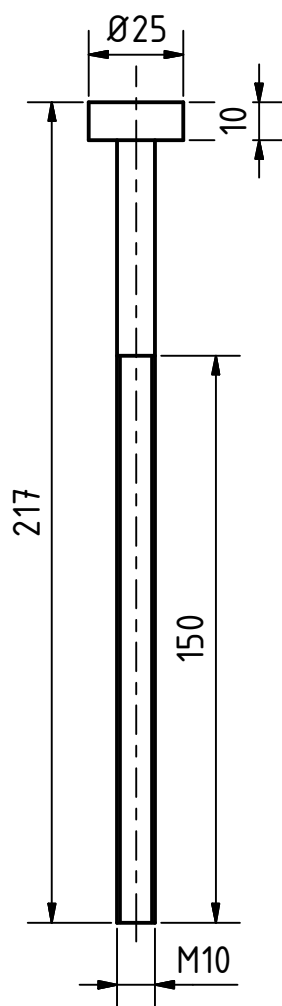


Tolerancija slobodnih mera		Povrsinska hrapavost Ra 3.2		Povrsinska zaštita	
Materijal Aluminijum 1100-0				Termicka obrada	
				Masa 2.700 kg	Razmera 1:5
		Datum 17/06/2019	Naziv:		
		Obrad. Dragana Birovesko	ELEMENT 2		
		Stand.			
		Odobr.			
		Fakultet Inzenjerskih Nauka		Oznaka: A4.00.01	List 2
				Izv. pod.	
				Zamena za	
St. i	Izmene	Datum	Ime		

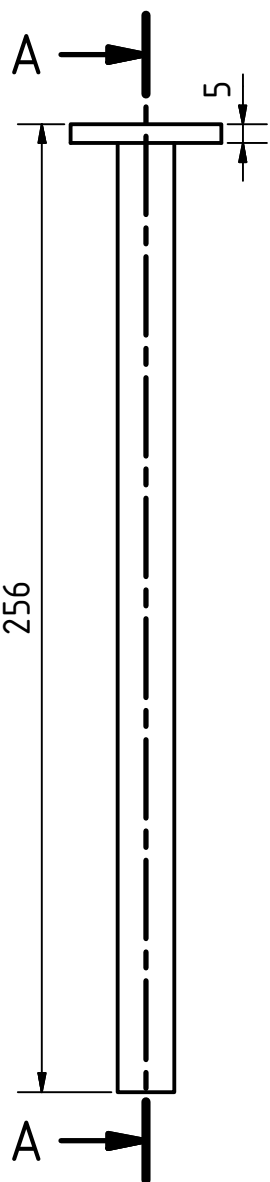
PRESEK A-A



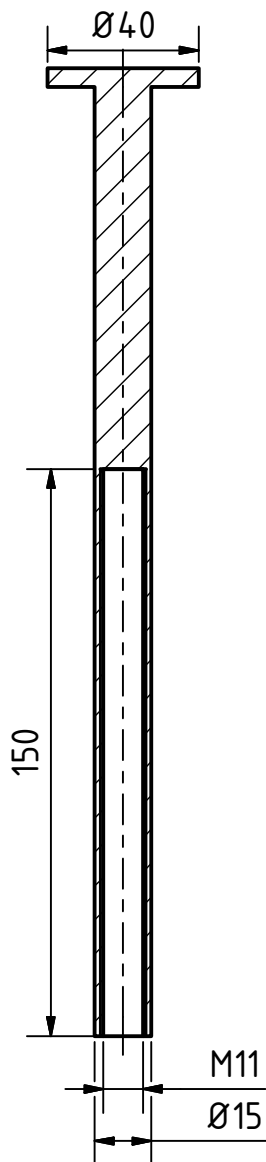
Tolerancija slobodnih mera				Povrsinska hrapavost Ra 3.2				Povrsinska zastita			
Materijal Aluminijum 1100-0								Termicka obrada			
								Masa 2.700 kg		Razmera 1:5	
				Datum	17/06/2019			Naziv: ELEMENT 3			
				Obrad.	Dragana Birovesko						
				Stand.							
				Odobr.							
				Fakultet Inzenjerskih Nauka				Oznaka:			List
								A4.00.02			3
											3/12
St. i	Izmene		Datum	Ime	Izv. pod.				Zamena za		



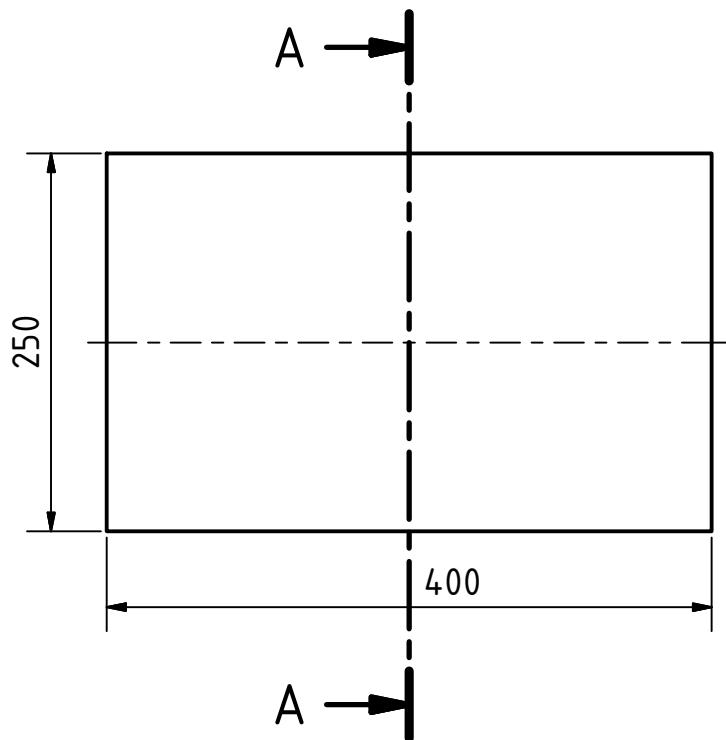
Tolerancija slobodnih mera				Povrsinska hrapavost				Povrsinska zaštita			
Materijal Aluminijum 1100-0								Termicka obrada			
								Masa 2.700 kg		Razmera 1:2	
				Datum	17/06/2019			Naziv: ELEMENT 4			
				Obrad.	Dragana Birovesko						
				Stand.							
				Odobr.							
				Fakultet Inzenjerskih Nauka				Oznaka: A4.00.03			
								List 4			
								4/12			
St. i	Izmene	Datum	Ime					Izv. pod.		Zamena za	



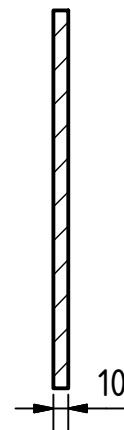
PRESEKA-A



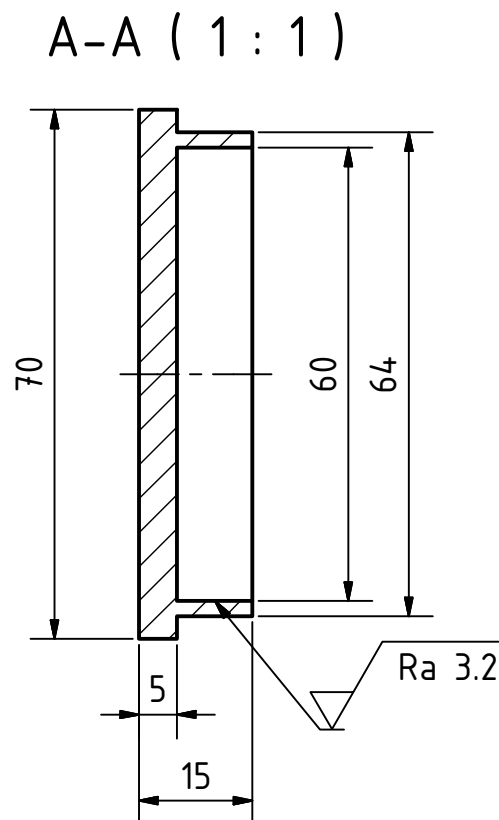
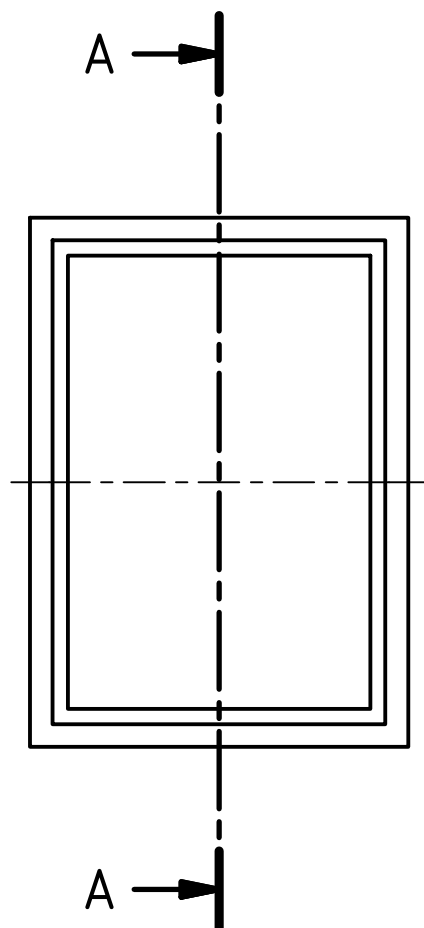
Tolerancija slobodnih mera				Povrsinska hrapavost				Povrsinska zastita					
Materijal								Termicka obrada					
Aluminijum 1100-0										Masa		Razmera	
										2.700 kg		1:2	
				Datum	17/06/2019			Naziv: ELEMENT 5					
				Obrad.	Dragana Birovesko								
				Stand.									
				Odobr.									
				Fakultet Inzenjerskih Nauka				Oznaka:			List		
								A4.00.04			5		
											5/12		
St. i	Izmene		Datum	Ime	Izv. pod.				Zamena za				



PRESEK A-A



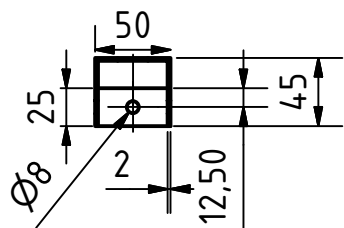
Tolerancija slobodnih mera				Povrsinska hrapavost				Povrsinska zaštita			
Materijal Iverica								Termicka obrada			
								Masa 0.760 kg		Razmera 1:5	
				Datum	17/06/2019			Naziv: IVERICA			
				Obrad.	Dragana Birovesko						
				Stand.							
				Odobr.							
				Fakultet Inzenjerskih Nauka				Oznaka: A4.00.05			
								Lst 6			
								6/12			
St. i	Izmene	Datum	Ime					Izv. pod.		Zamena za	



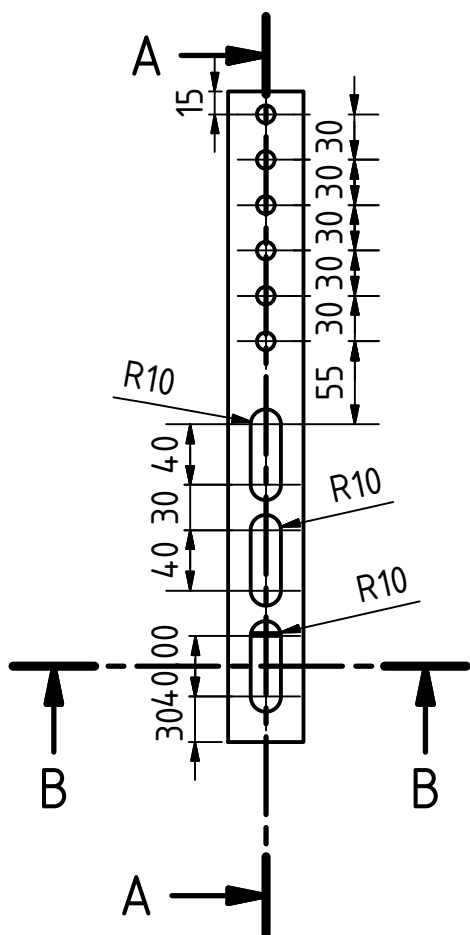
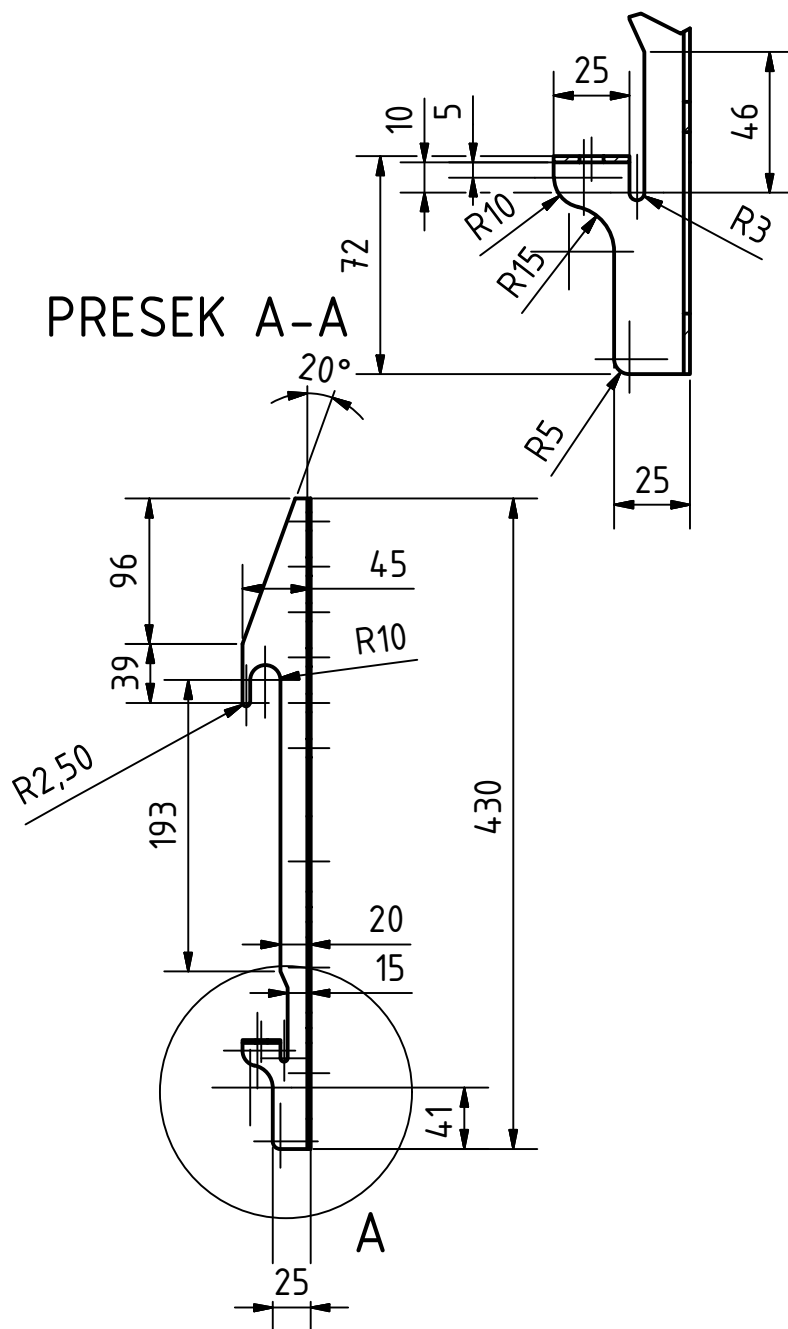
Tolerancija slobodnih mera				Povrsinska hrapavost Ra 3.2				Povrsinska zaštita			
Materijal PPC plastika								Termicka obrada			
								Masa 0.035 kg		Razmera 1:5	
				Datum 17/06/2019				Naziv: POKLOPAC			
				Obrad. Dragana Birovesko							
				Stand.							
				Odobr.							
				Fakultet Inzenjerskih Nauka				Oznaka: A4.00.05			
								List 7			
								7/12			
St. i		Izmene		Datum		Ime		Izv. pod.		Zamena za	

Detalj A

PRESEK B-B

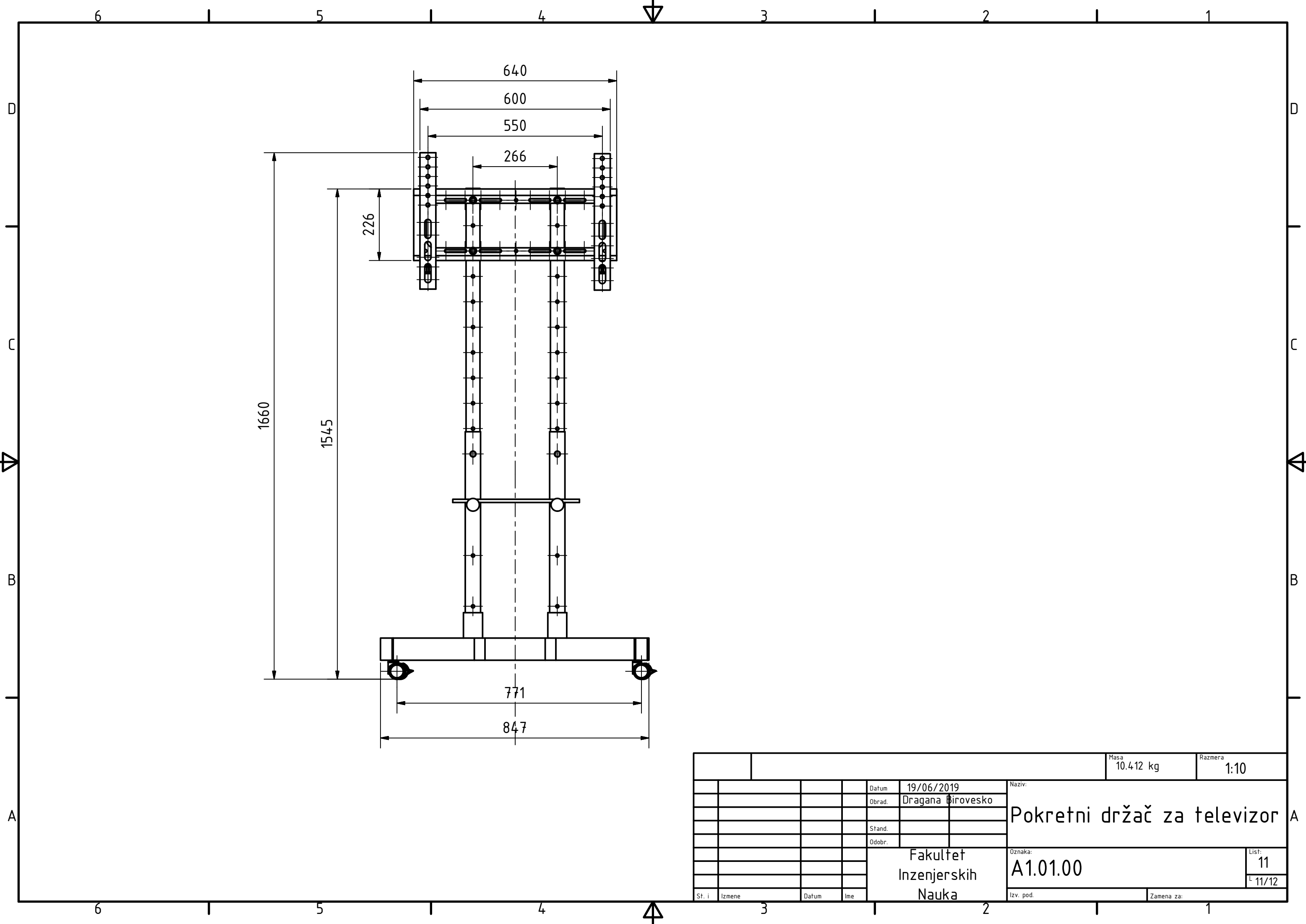


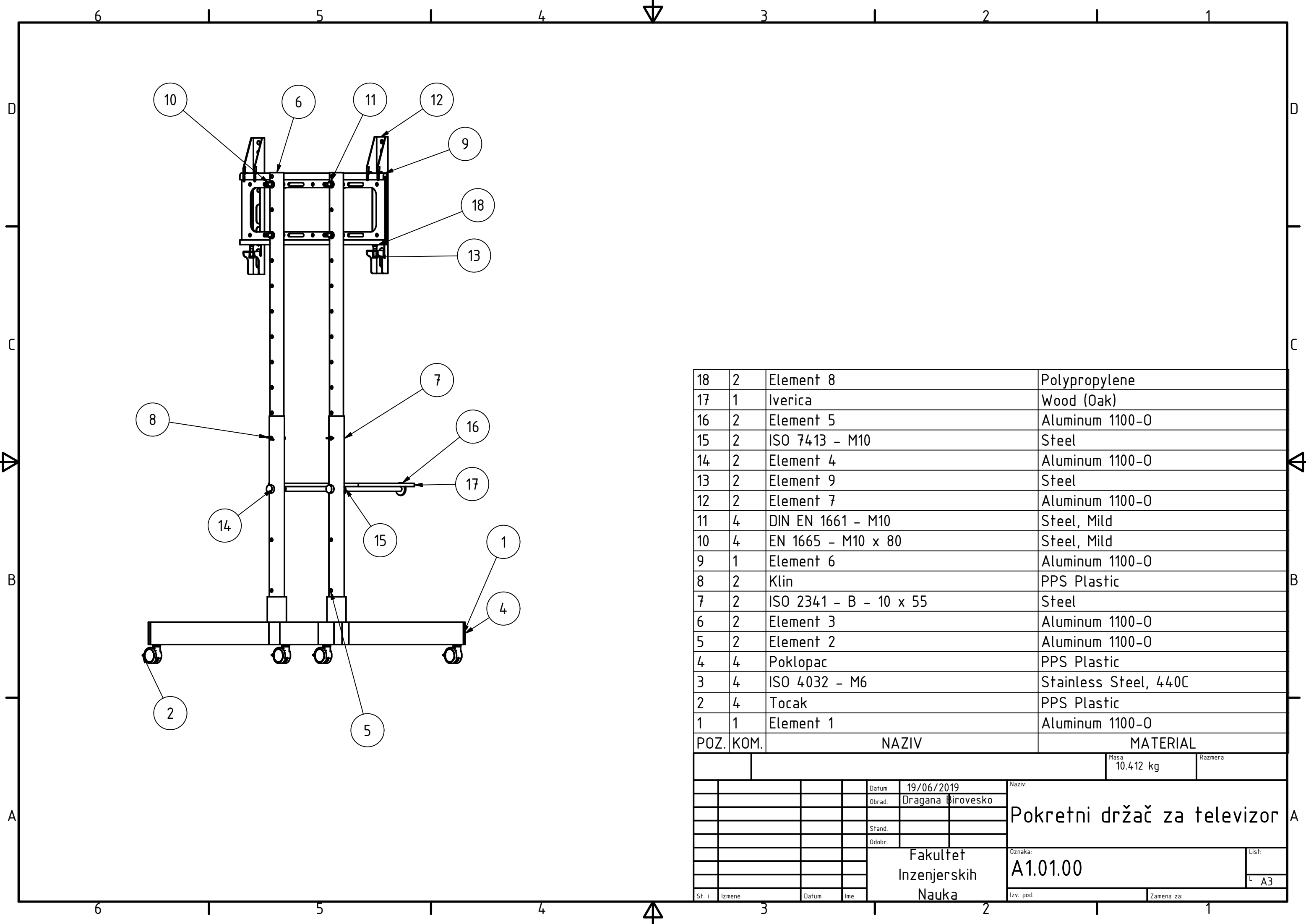
PRESEK A-A



Tolerancija slobodnih mera				Povrsinska hrapavost				Povrsinska zastita				
Materijal Aluminijum 1100-0								Termicka obrada				
								Masa 0.202 kg		Razmera 1:5		
				Datum	17/06/2019			Naziv: ELEMENT 7				
				Obrad.	Dragana Birovesko							
				Stand.								
				Odobr.								
				Fakultet Inzenjerskih Nauka				Oznaka: A4.00.08		List 10		
										10/12		
St. i	Izmene		Datum					Ime	Izv. pod.		Zamena za	

				Datum	17/06/2019
				Obrad.	Dragana Birovesko
				Stand.	
				Odobr.	
				Fakultet Inzenjerskih Nauka	
St. i	Izmene	Datum	Ime		





18	2	Element 8	Polypropylene
17	1	Iverica	Wood (Oak)
16	2	Element 5	Aluminum 1100-0
15	2	ISO 7413 - M10	Steel
14	2	Element 4	Aluminum 1100-0
13	2	Element 9	Steel
12	2	Element 7	Aluminum 1100-0
11	4	DIN EN 1661 - M10	Steel, Mild
10	4	EN 1665 - M10 x 80	Steel, Mild
9	1	Element 6	Aluminum 1100-0
8	2	Klin	PPS Plastic
7	2	ISO 2341 - B - 10 x 55	Steel
6	2	Element 3	Aluminum 1100-0
5	2	Element 2	Aluminum 1100-0
4	4	Poklopac	PPS Plastic
3	4	ISO 4032 - M6	Stainless Steel, 440C
2	4	Tocak	PPS Plastic
1	1	Element 1	Aluminum 1100-0

POZ.	KOM.	NAZIV			MATERIAL		
					Masa	10.412 kg	Razmera
					Pokretni držač za televizor		
					Fakultet Inženjerskih Nauka		
					Oznaka: A1.01.00		
					Izv. pod.		
					Zamena za:		
					List:		
					A3		