

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Примењена механика и аутоматско управљање

Предмет: Коначни елементи

Број индекса: 124/2011

Стеван Миловановић

**МКЕ анализа обртног постоља вагона
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Мирослав Живковић-ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Завршни рад – Стеван Миловановић

У оквиру овог завршног рада кандидат би требало да:

- Објасни стандардне типове обртних постоља
- Објасни конструкцију обртног постоља Y25 Lsi(f)-C
- Објасни моделирање средњих површина и креирање геометрије модела у софтверу *Catia*
- Начин креирања мреже коначних елемената обртног постоља коришћењем софтвера *Femap*.
- Изврши анализу резултата добијених нумеричким прорачуном у софтверу *NX Nastran*.
- Изведе закључна разматрања.

Препоручена литература:

[1] **Милош Којић, Радован Славковић, Мирослав Живковић, Ненад Грујовић**, Метод коначних елемената 1- Линеарна анализа, Крагујевац, 1998.

[2] EN 13749:2005 - Railway applications – Wheelsets and bogies – Methods of specifying structural requirements of bogie frames, European Standard.

[3] Интернет ресурси

Крагујевац, датум

ментор:

Проф. др Мирослав Живковић

Резиме

У овом раду је, на примеру моделирања обртног постоља вагона, дат поступак како се од сложене геометрије долази до једног комплексног модела коначних елемената. Тако сложена конструкција је припремљена за анализу, задати су одговарајући гранични услови и оптерећења у складу са одговарајућим стандардима. Извршена је напонско-деформацијска анализа и протумачени су добијени резултати. Сам рад представља демонстрацију могућности методе коначних елемената да се анализира једна сложена конструкција у комбинацији са CAD софтверима. Дата је једна добра основа, која може послужити за даља истраживања, унапређивање и убрзавање рада при анализи сложених конструкција методом коначних елемената.

Кључне речи: обртно постоље, МКЕ, вагони

Abstract

In this paper, with the example of modeling bogie wagons, it has been given the process of modeling from complex geometry to a complex finite element model. Complex structures have been prepared for analysis, given specify the boundary conditions and loads, in accordance with appropriate standards. It has performed the stress-strain analysis and interpret the results obtained. The work itself is a demonstration of the possibilities of finite element method in conjunction with CAD software to analyze a complex structure.

It has been given a good platform that can be used for further research, to improve and accelerate work in the analysis of complex structures using finite element method.

Key words: bogie, FEM, wagons

Садржај:

1. Увод.....	5
2. Обртно постоље вагона	7
2.1. Стандардна обртна постоља Y25	8
2.2. Обртно постоље Y25 Lsi(f)-C	8
2.2.1. Колски слог обртног постоља.....	11
2.2.2. Тулци обртног постоља	12
3. Креирање геометрије и мреже коначних елемената обртног постоља вагона.....	14
3.1. Моделирање средњих површина у софтверу <i>Catia</i>	14
3.2. Моделирање мреже коначних елемената у софтверу <i>Femap</i>	16
3.2.1. Моделирање носача и лимова обртног постоља.....	19
3.2.2. Моделирање колског слога обртног постоља	23
3.2.3. Моделирање надгибањског носача обртног постоља	31
3.2.4. Моделирање тулца обртног постоља	33
3.2.5. Моделирање опруга	34
3.2.6. Моделирање ослонца обртног постоља.....	35
4. Анализа резултата	37
5. Закључак.....	43
Литература:.....	44

1.Увод

Вагон је врста возила која се користи у железничком саобраћају, намењена пре свега превозу путника и терета.Због чињенице да су вагони возила без свог погона, потребно је да их вуку вучна возила, најчешће локомотиве.Више повезаних вагона које вуче вучно возило назива се воз или композиција.

Основна подела вагона извршена је према намени. Према овој подели вагони се деле на:

1. путничке вагоне- намењени су превозу путника
2. теретне вагоне- намењени су превозу робе и терета
3. вагони за посебне намене - нпр. вагони који се користе на површинским коповима
4. вагони за потребе железнице - намењени су за испитивање и изградњу пруга.

Једна од битнијих подела вагона је подела по броју осовина. Према овој подели вагоне делимо на

1. једноосовинске вагоне
2. двоосовинске вагоне
3. троосовинске вагоне
4. четвороосовинске вагоне
5. вишеосовинске вагоне

Независно од своје намене, вагони имају следеће основне делове: возни део, одбојнике и спојни део, систем за кочење, рам и сандук.

Када говоримо о возном делу разликујемо два типа вагона: вагони са гибњевима и вагони са обртним постољима.

Вагони са гибњевима морају бити двоосовински вагони. Возни део вагона са гибњевима сачињавају колски слогови, тулци са лежиштима и гибњеви.

Завршни рад – Стеван Миловановић

Вагони са обртним постољима могу бити сви вагони, без обзира на број осовина. Возни део ових вагона сачињавају колски слогови, тулци са лежиштима и обртна постоља.



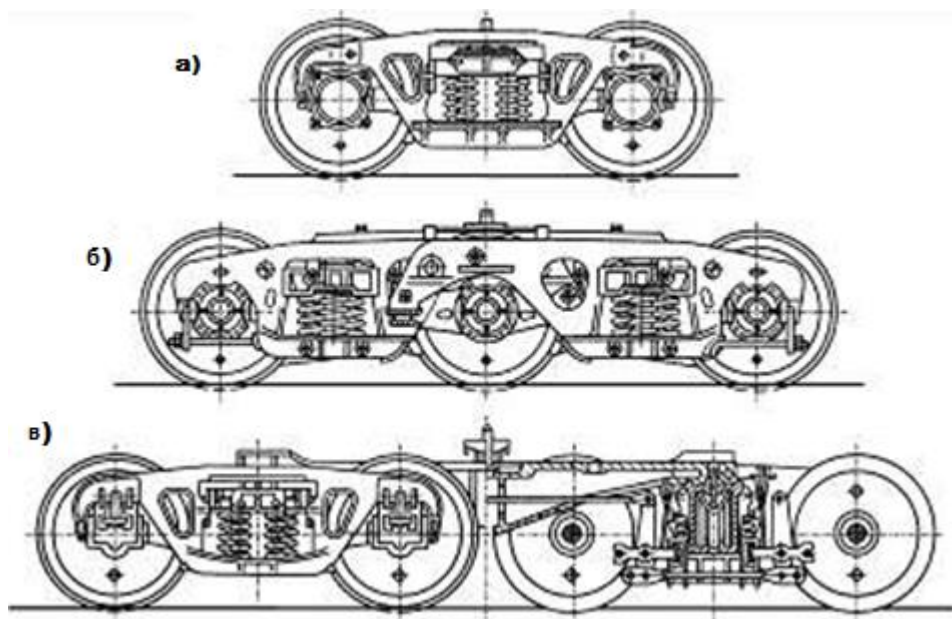
Слика 1. Теретни вагон који лежи на двоосовинском обртном постољу

2.Обртно постоље вагона

Обртно постоље вагона представља део вагона на којем леже рам и сандук. Поседује потпуну слободу у хоризонталној равни у односу на рам вагона, што му омогућује пролазак кроз кривине малог радијуса и смањује отпоре кретања.

Обртна постоља се према броју осовина могу поделити на двоосовинска и троосовинска.(Виде се на слици 2)

Пошто вагони могу имати више од три осовине, у тим случајевима долази до везивања два или више обртних постоља.Комбинацијом основних обртних постоља (двоосовинских и троосовинских) могуће је реализовати вишеосовинска обртна постоља.



Слика 2. Обртна постоља:

а) двоосовинско; б) троосовинско; в) четвороосовинско

2.1. Стандардна обртна постоља Y25

Стандардна обртна постоља Y25 стандардизована су у три врсте:

1. Y25C – обртна постоља погодна за 20 тона по осовини
2. Y25R - обртна постоља погодна за 20 тона по осовини. Разлика ове врсте обртних постоља у односу на Y25C је што поседује извесна ојачања.
3. Y25L - постоља погодна за 22,5 тона по осовини.

Овим стандардним ознакама можемо придодати додатне ознаке, у облику малог слова или броја, које описују додатне карактеристике обртног постоља. Додатне ознаке су подељене у три групе.

1. група – карактерише особености доњег постоља

Ове карактеристике упућују на одређене стандарде према којима би требало конструисати постоље, као и да ли је рам обртног постоља направљен од ливеног или машински завареног челика.

2. група – карактерише капацитет кочења

Ова група ознака карактерише колико би требало да буде максимално осовинско оптерећење за одређени режим рада вагона. Режим рада вагона подразумева брзину којом се вагон креће.

3. група – карактерише особености кочнице

Из ових ознака добијамо податке о деловима кочнице и делу конструкције у коме се они налазе.

2.2. Обртно постоље Y25 Lsi(f)-C

Обртно постоље вагона **Y25 Lsi(f)-C** које ће бити предмет анализе овог завршног рада је двоосовинског типа и производи га немачка компанија **ELH**. Из ознаке L видимо да се ради о обртном постољу осовинског оптерећења 22.5 тона. Ознака s(s) представља додатну ознаку која карактерише капацитет кочења.

Завршни рад – Стеван Миловановић

Она нам говори да је постоље пројектовано за осовинско оптерећење 22.5 тона и брзину до 100 km/h или за осовинско оптерећење од 20 тона и брзину 120 km/h.

Кочница обртног постоља делује са обе стране оба точка, а кочење се може вршити преко ручне или паркинг кочнице.

Табела 1. Техничке карактеристике обртног постоља Y25 Lsi(f)-C

Спецификације		
Осовинско оптерећење	22,5	t
Максимална брзина		
Ручна кочница	120	km/h
Понашање кочница		ss / s
Раздаљина између осовина	1800	mm
Пречник точкова	920	mm
Тежина		
Основна верзија	4152	kg
Са ручном кочницом	4184	kg
Са паркинг кочницом	4210	kg

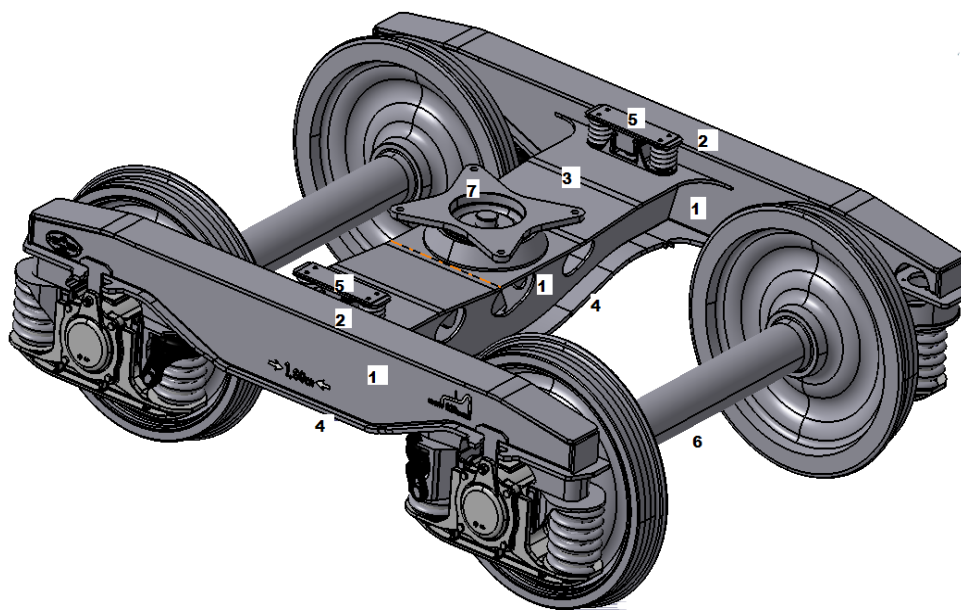
Обртно постоље **Y25 Lsi(f)-C** се састоји од:

1. Два подужна и једног попречног носача
2. Ливених бокова који као и носачи могу бити попречни и подужни.
3. Доњих лимова обртног постоља
4. Тулаца
5. Савијених цилиндричних гипких опруга- на сваком точку се налази по два пара опруга. Укупно има осам пари. Сваки пар се састоји од једне унутрашње и једне спољашње опруге. Опруге горњим крајем примају оптерећење од надгибањских носача, а доњим крајем се ослањају на тулце.

Завршни рад – Стеван Миловановић

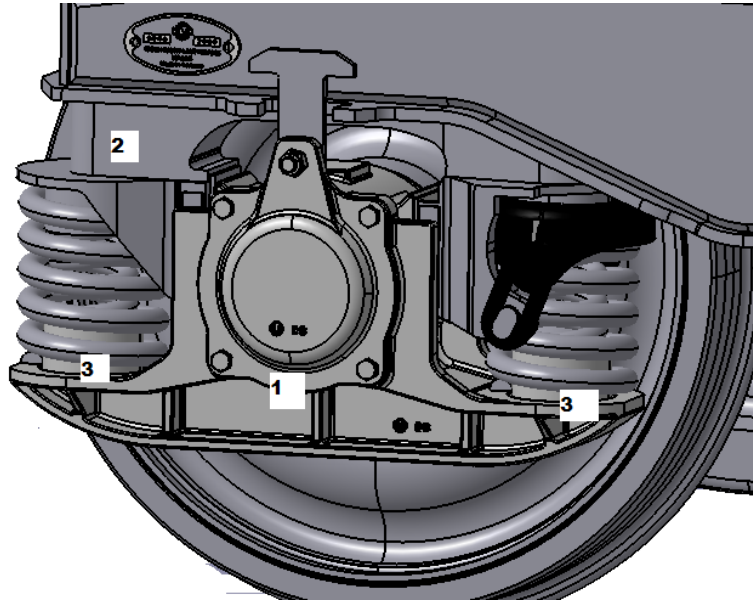
6. Надгибањских носача који се својим крајевима ослањају на опруге. Када се опруге деформишу у вертикалној равни носач врши померање у правцу бокова.
7. Ослонца - преко кога главни попречни носач прима оптерећење од рама вагона. Код овог модела обртног постоља ослонац је направљен у облику звезде.
8. Фрикционог клина амортизера који амортизује осцилације обртног постоља.
9. Колских слогова. Број колских слогова једнак је броју осовина обртног постоља.
10. Бочних клизача

Оптерећење се од вагона преноси преко попречног и подужних носача на бочне лимове. Са бочних лимова даље се преноси на надгибањске носаче обртног постоља. Опругама се са надгибањских носача преноси на тулце, а преко њих на точкове и шине.



Слика 3. Обртно постоље вагона Y25 Lsi(f)-C:

1 - бочни лимови; 2 - подужни носачи; 3 - попречни носач; 4 - доњи лимови; 5 - бочни клизачи; 6 - колски слог; 7 - Ослонац



Слика 4. Поглед изблиза на један од точкова:

1 –тулац;2 – надгибањски носач;3 - опруге

2.2.1. Колски слог обртног постоља

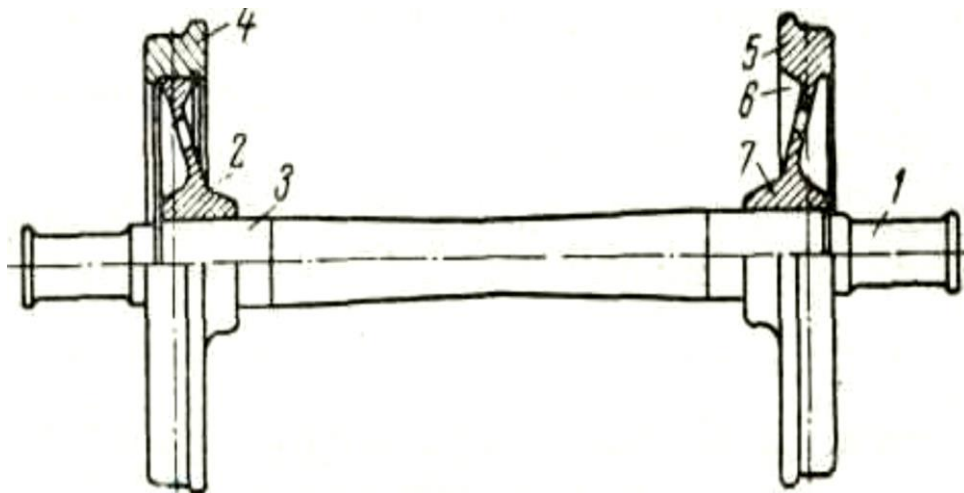
Колски слог има улогу да преноси оптерећење вагона на шине, као и да усмерава кретање вагона по шинама. Састоји се из осовине и два точка.

По конструкцији точкови колског слога могу бити са бандажима или без. Пошто се временом при експлоатацији бандажи троше, све више се у примени сусрећу челично цело ваљани точкови. Код таквих точкова приликом истрошености могуће је обрадити површине котрљања. Осим бандажа у оквиру точка разликујемо и следеће целине: обод, лист и ослонац.

Обод точка представља део точка који се налази у контакту са шинама и на коме се налази бандаж. Лист точка спаја обод и ослонац. Ослонац је онај део точка који се ослања на осовину. Осовина колског слога је променљивог пречника. Отвори у центру точкова су напресовани на ојачани део осовине која у овом делу има највећи пречник.

Завршни рад – Стеван Миловановић

Најужи део осовине су рукавци, који се смештају у котрљајућа или клизна лежишта, која су смештена у тулце. Преко ових лежишта се врши пренос оптерећења од вагона на осовину.



Слика 5. Колски слог обртног постоља

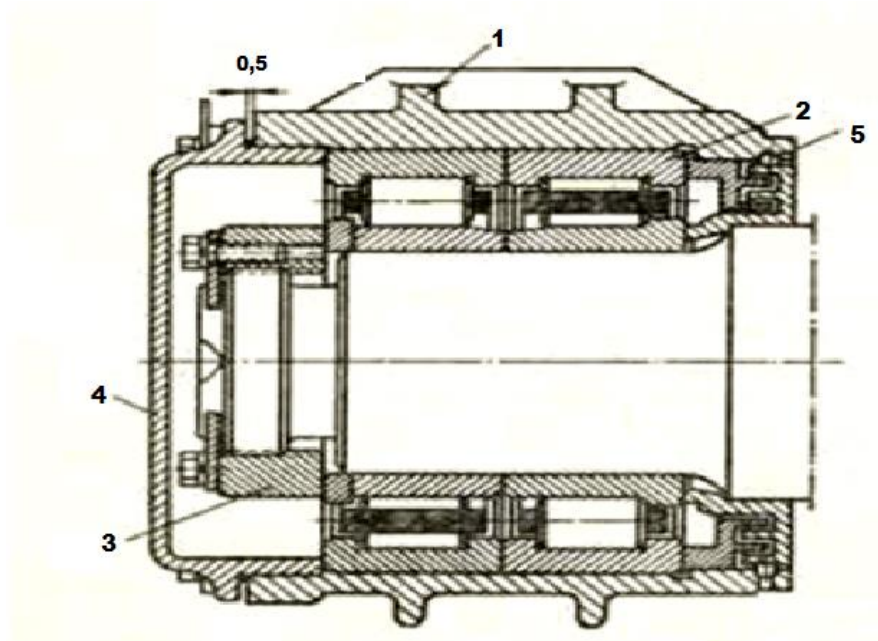
**1 – Рукавац; 2 - Отвори у центру точка; 3 - Ојачани део осовине; 4 – Бандаж;
5 - Обод точка; 6 - Лист точка; 7 - Ослонац точка**

2.2.2. Тулци обртног постоља

Тулци обезбеђују предају оптерећења од рама вагона на точкове и нормалан рад обртног постоља при кретању. Конструкцију тулца одређује изабрани тип лежишта.

Тулци са два цилиндрична ваљкаста лежаја састоје се из:

1. тела
2. два лежаја
3. стезног прстена
4. чеоног поклопца
5. лабиринтног заптивача



Слика 6. Тулац са цилиндричним ваљкастим лежајевима

Предност оваквог тулца је што обезбеђује уштеде у трошковима погона. Они се пуне мазивом на дужи временски период (6-8 месеци). На тај начин се врши уштеда мазива 4-5 пута. Такође отпор у оваквим тулцима смањује се за преко 20% при брзинама до 35 km/h , а при кретању из места на 85% у поређењу са клизним лежиштима.

3. Креирање геометрије и мреже коначних елемената обртног постоља вагона

Геометрија обртног постоља вагона је креирана у софтверу *Catia*, у коме су креиране и средње површине. За креирање мреже коначних елемената модела, у софтверу *Femap*, коришћени су 3Д елементи, елементи љуске и штапови. За анализу модела није потребно моделирати баш све делове обртног постоља, већ само оне битне за прорачун и које утичу на чврстоћу конструкције, односно обртног постоља. Делови који су моделирани су: носачи и лимови, бочни клизачи, надгибањски носачи, опруге, колски слог, ослонац и тулци (само њихова тела, без осталих делова).

3.1. Моделирање средњих површина у софтверу *Catia*

Софтвер *Catia* користи се за креирање средњих површина модела, које чувамо као *step file (stp.file)* и увозимо у софтвер *Femap*. Средње површине користимо за добијање геометрије делова чија се мрежа моделира коначним елементом љуске. То су они делови чија је дебљина знатно мања од осталих димензија. На постољу вагона то су доњи и бочни лимови, главни попречни носач и подужни носачи.

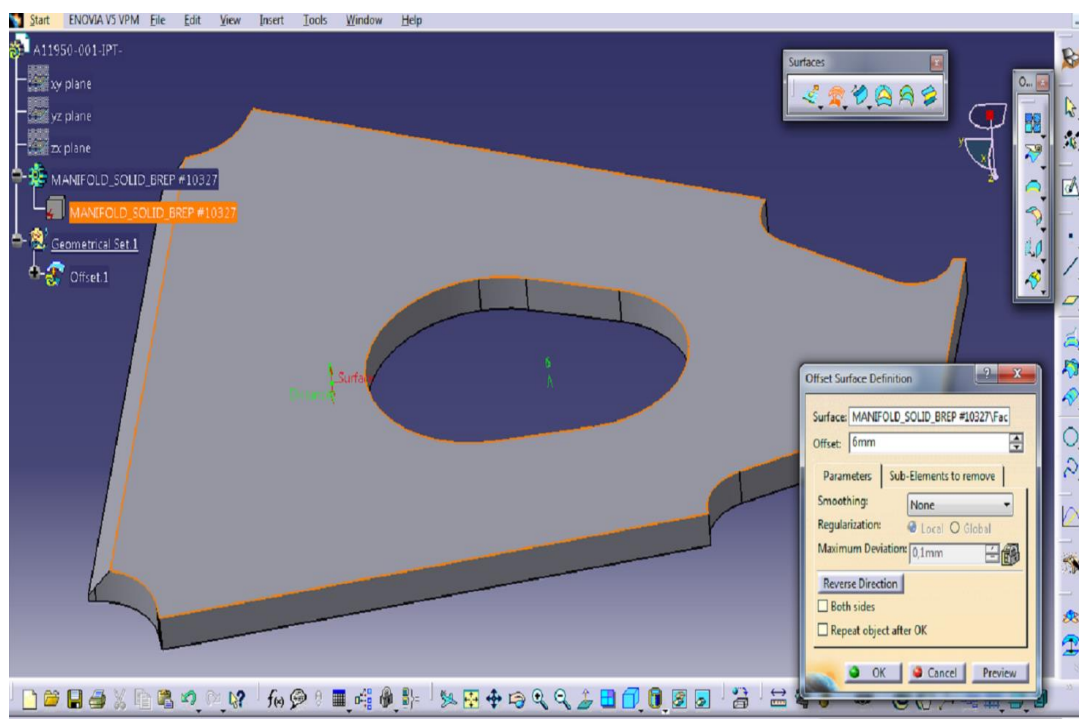
Из *Catia*–е у *Femap* можемо импортовати и геометрију профила, које даље користимо за креирање делова који се добијају ротацијом или извлачењем. У случају обртног постоља то су точкови, ослонац, надгибањски носачи и тулци.

За добијање средњих површина, користимо већ постојећи *step* обртног постоља, кога отварамо у софтверу *Catia* у радном окружењу *Generative Shape Design*. Алат који је најчешће употребљаван у овом радном окружењу је алат *Offset*.

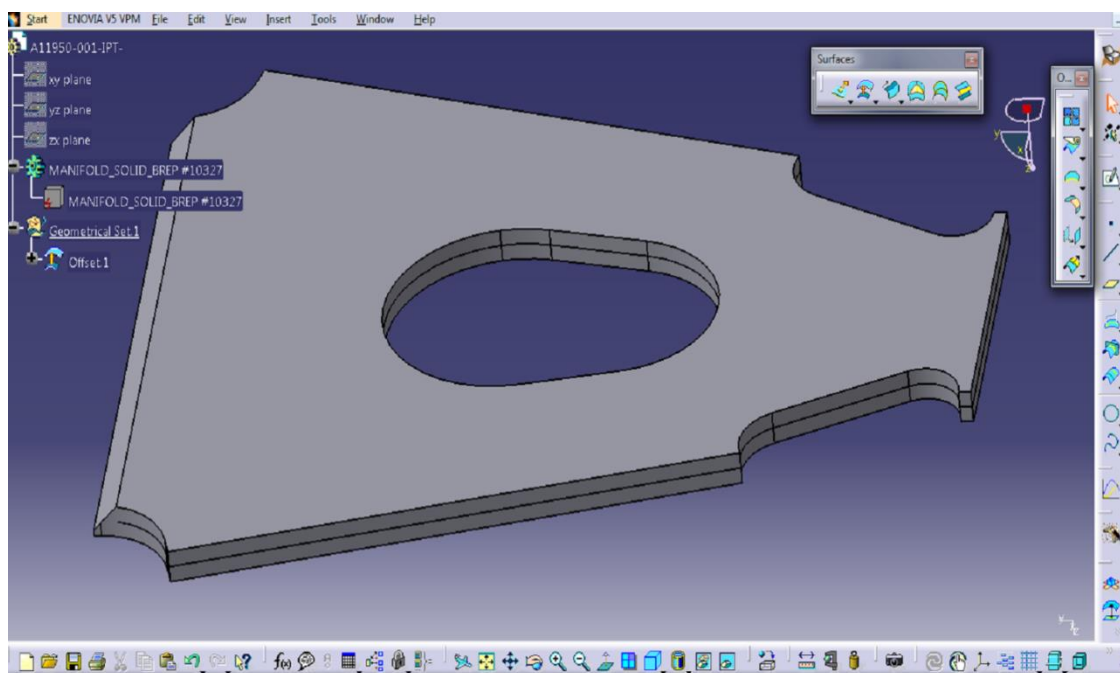
На сликама 7 и 8 приказан је начин добијања средње површине преко алата *Offset*. Прво је потребно селектовати профилну површину дела, а затим изабрати

Завршни рад – Стеван Миловановић

алат *Offset*. Задавањем растојања у пољу *Offset* прозора алата, добијамо потребну средњу површину, која се налази на половини дебљине приказаног дела.



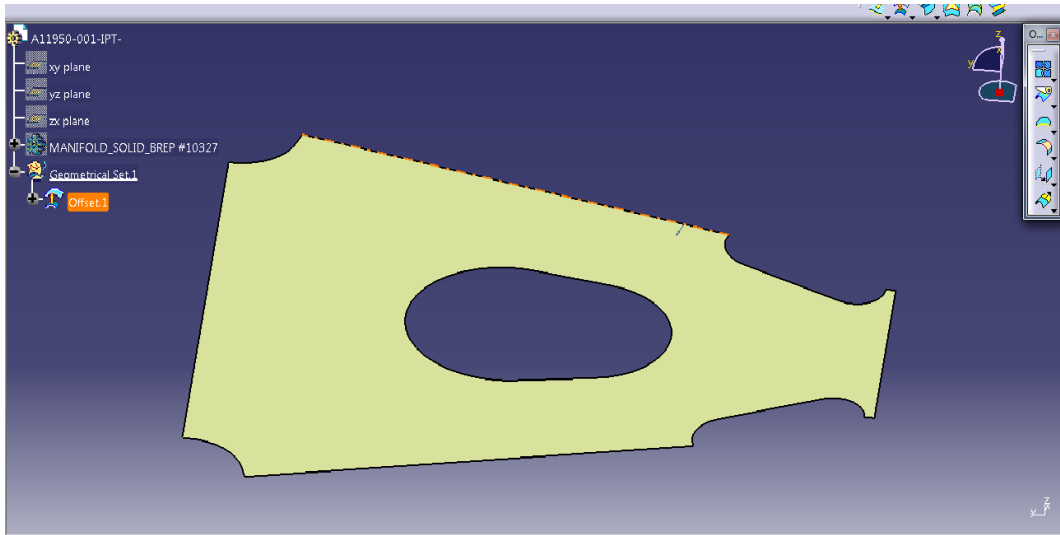
Слика 7.Изглед дела пре коришћења алата Offset



Слика 8. Изглед дела после коришћења алата Offset

Завршни рад – Стеван Миловановић

Након тога потребно је сакрити део, како би у радном окружењу остала само његова средња површина. Неопходно је да из стабла модела одаберемо део који желимо да сакријемо, и искористимо опцију *Hide/Show*, која се појављује десним кликом миша на одговарајући део.



Слика 9. Приказ средње површине дела , након коришћења опције *Hide/Show*

Уколико средње површине не можемо добити коришћењем алата *Offset*, користимо алат *Fill*. Прво је потребно креирати профил средње површине у алату *Sketch*, кога затим попуњавамо коришћењем алата *Fill*.



Слика 10. Палета са алатима *Offset* (1) и *Fill* (2)

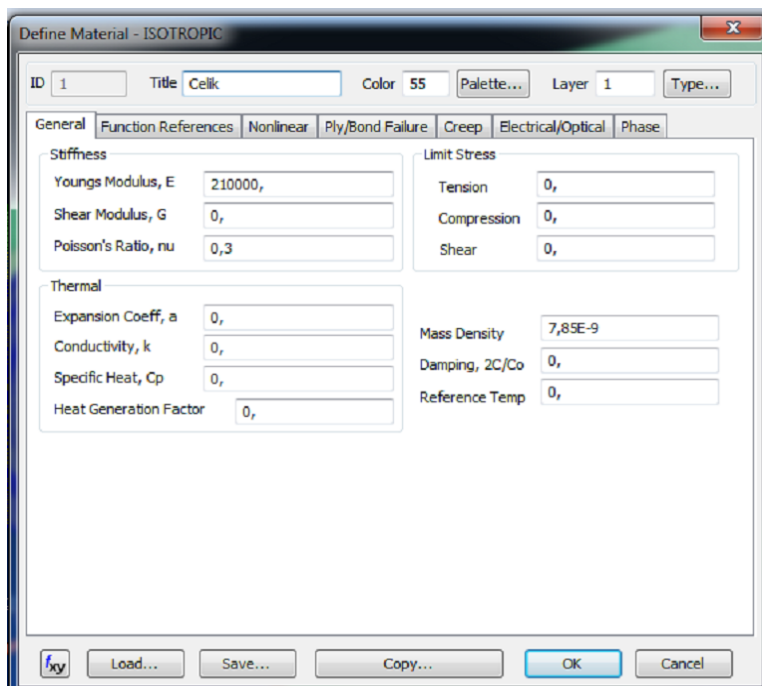
3.2. Моделирање мреже коначних елемената у софтверу *Femap*

Увоз средњих површина креираних у програмском пакету *Catia* у програмски пакет *Femap* омогућен је командом **File>Import>Geometry**. Неопходно је подесити *Scale* фактор на 1000 да би све јединице биле у милиметрима [mm]. После тога

Завршни рад – Стеван Миловановић

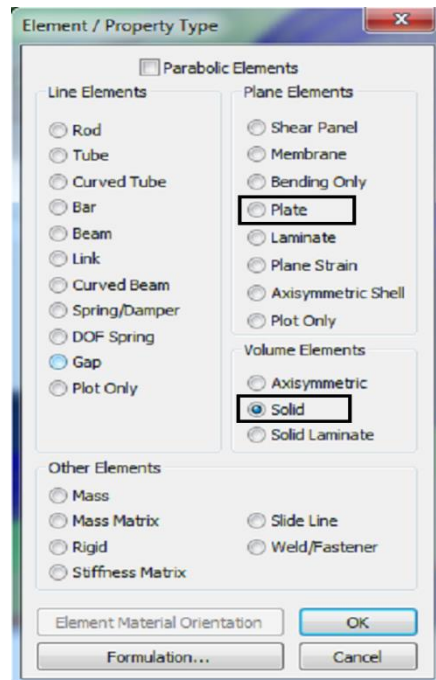
уносимо основне карактеристике материјала, креирамо мрежу коначних елемената, задајемо ограничења и оптерећења.

Цело обртно постоље направљено је од челика. Потребно је дефинисати карактеристике у прозору који се отвара из падајућег менија **Model>Material**. За анализу оптерећења обртног постоља је потребно унети: модул еластичности, *Poisson*– ов коефицијент и густину челика.



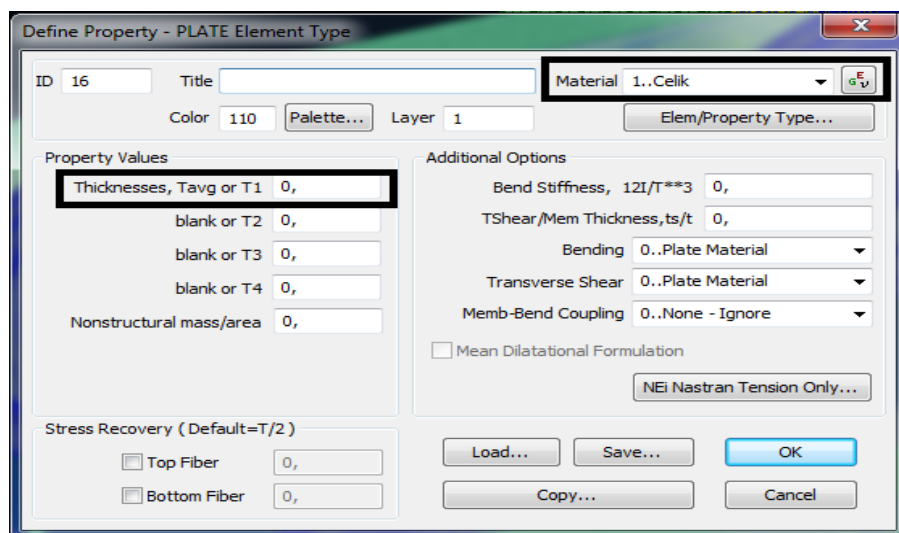
Слика 11. Дефинисање материјала

Након креирања материјала потребно је одабрати одговарајуће типове коначних елемената. Из падајућег менија избором команде **Model>Property**, отвара се прозор у коме се дефинишу особине коначних елемената. За љуску бирамо **Plate**, док за 3Д елементе бирамо **Solid**.



Слика 12. Дефинисање типа коначног елемента

Дефинисаним коначним елементима додељује се материјал, у овом случају челик. Уколико се ради о коначном елементу луске, потребно је дефинисати дебљину у пољу **Thicknesses**.



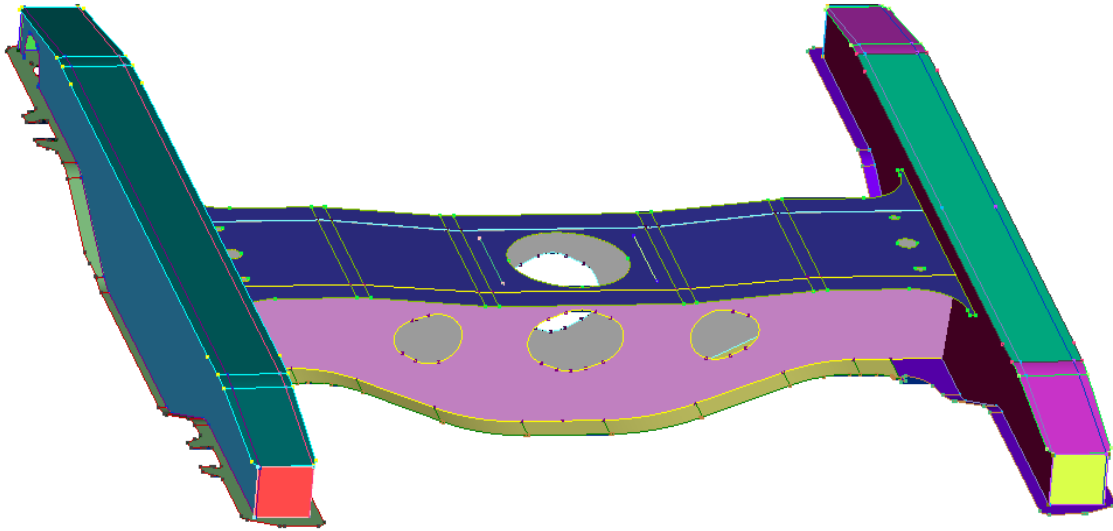
Слика 13 . Додељивање врсте материјала и уношење дебљине за коначни елемент луске

3.2.1. Моделирање носача и лимова обртног постоља

Сви носачи су заварене изведбе од ваљаних лимова и профила од челичних одливака. Пошто је дебљина носача и лимова доста мања од осталих димензија, тип коначног елемента који овде користимо је лјуска. Због чињенице да дебљина свих лимова није иста, за сваку дебљину лјуске креираћемо засебан *Property*.

Табела 2. Приказ свих *Property* –а креираних као тип елемента лјуска (*Plate*)

Назив <i>Property</i> -а	Назив дела	Дебљина (mm)
d4	Бочни попречни лимови који спајају два наспрамна подужна бочна лима.	4
d10	Остали бочни лимови	10
d12	Попречни носач	12
d14	Подужни носачи	14
d16	Сви доњи лимови	16

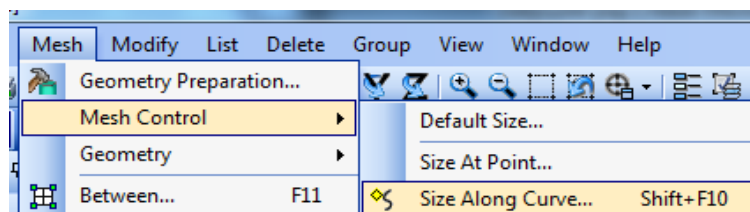


Слика 14. Приказ средњих површина увезених у Femar

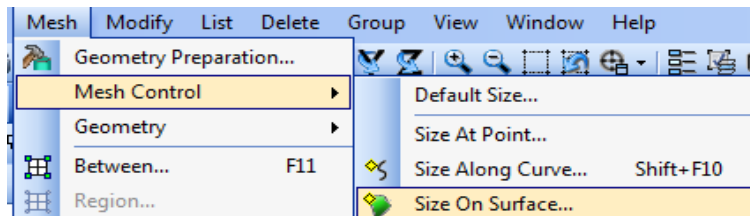
Након што смо увезли средње површине у *Femar* потребно је пројектовати линије у деловима где се остварује спој два дела. Избором команде **Geometry>Curve-From-Surface>Project** отвара се прозор у коме прво селекујемо површину на коју желимо да пројектујемо, а затим и линију коју пројектујемо.

Пре него што започнемо са креирањем мреже, неопходно је дефинисати величину коначног елемента, односно број подела на свакој линији одговарајуће површине. Први начин је дефинисањем поделе на свакој линији која ограничава површину, избором команде **Size Along Curve** (слика 15). Други начин је селектовањем те површине, коришћењем команде **Size On Surface** (слика 16).

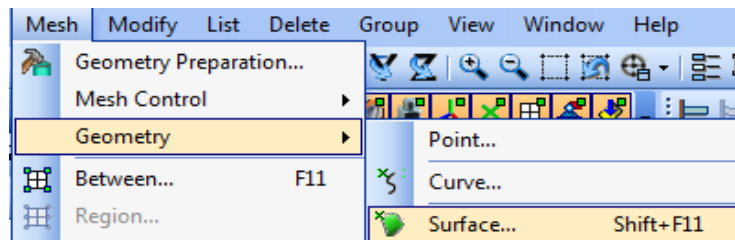
Након тога, избором команде **Mesh>Geometry>Surface** (слика 17), на селектованој површини генеришемо мрежу коначних елемената одговарајућих **Property**-ја (слика 18).



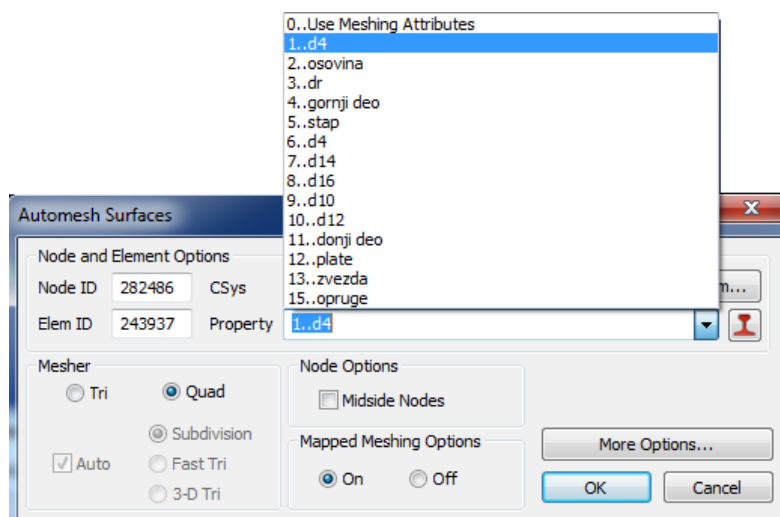
Слика 15. Команда *Size Along Curve*



Слика 16.Команда Size on Surface

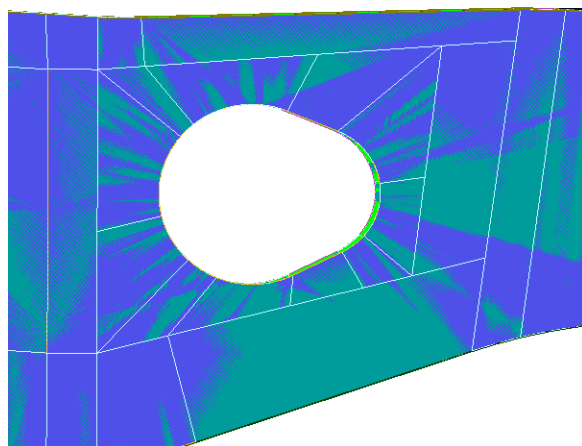


Слика 17.Команда Surface



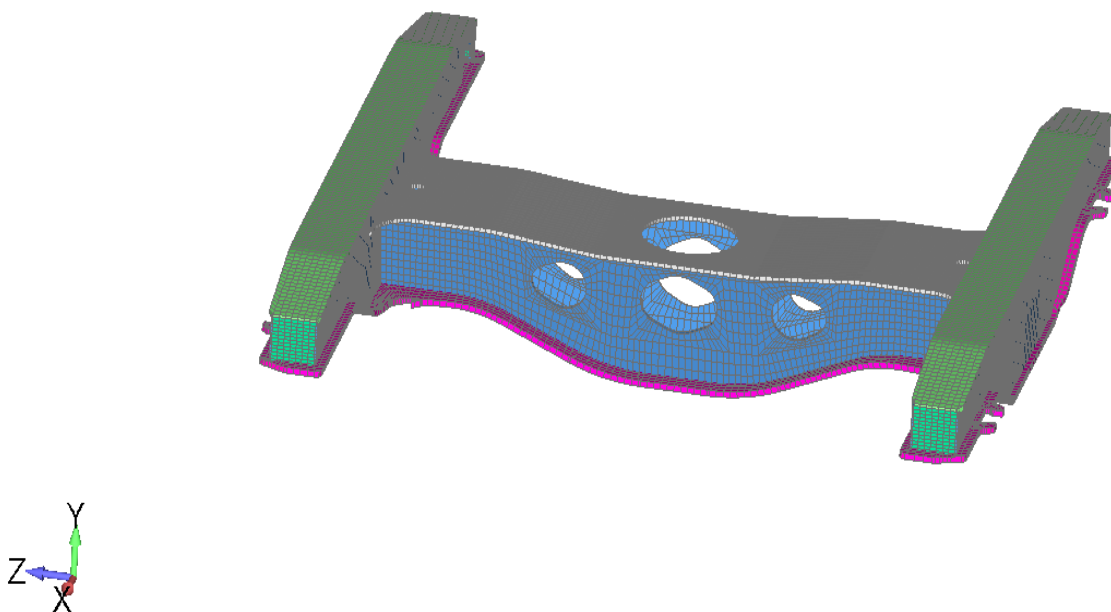
Слика 18. Одабир Property-а при креирању мреже коначних елемената одговарајућег дела конструкције

Ако површине немају правилну геометрију не можемо очекивати да ће се добити квалитетна мрежа. Зато је потребно изделити све неправилне површине на одређени број мањих површина и на тај начин покушати да се добије што правилнија мрежа.



Слика 19. Подела средњих површина око отвора

Када завршимо прављење мреже коначних елемената потребно је извршити проверу преклапања чворова свих елемената избором команде **Tools>Check>Coincident Nodes**. Овом командом вршимо спајање свих заједничких чворова који се преклапају и везујемо све делове у једну целину. Модел чувамо као датотеку под називом **Postolje.modfem**. Ову датотеку надаље користимо као датотеку у коју ћемо увозити све остале делове обртног постоља и у која ће на крају представљати коначан модел обртног постоља вагона.

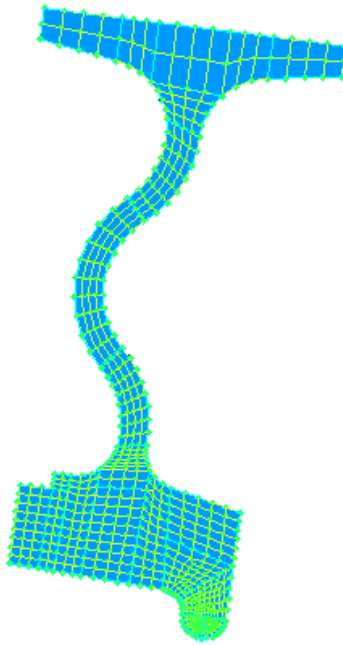


Слика 20. Приказ добијене мреже моделиране коначним елементом љуске

3.2.2. Моделирање колског слога обртног постоља

Моделирање колског слога обављамо у засебном фајлу кога чувамо и увозимо у фајл **Postolje.modfem**, у коме спајамо све делове у заједничку целину.

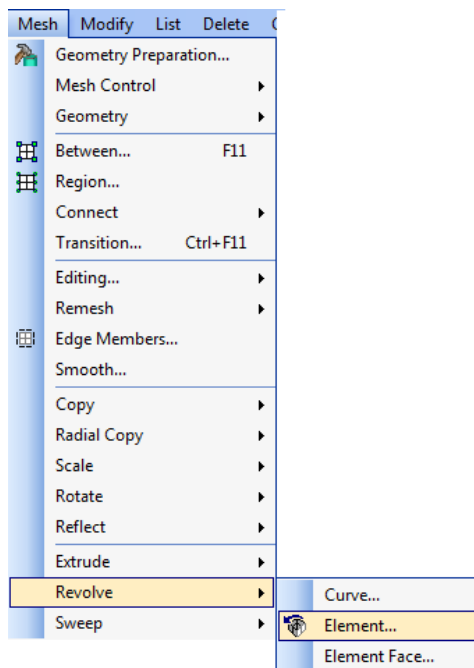
Прво је моделиран точак колског слога. У *Femap* увозимо површину профила точка претходно креирану у програму *Catia*. Мрежа точка је добијена коришћењем команде **Revolve**. Ова команда врши ротацију већ постојеће 2Д мреже и прави 3Д мрежу. Зато је направљена 2Д мрежа на површини увезеног профила, коју користимо као помоћну.



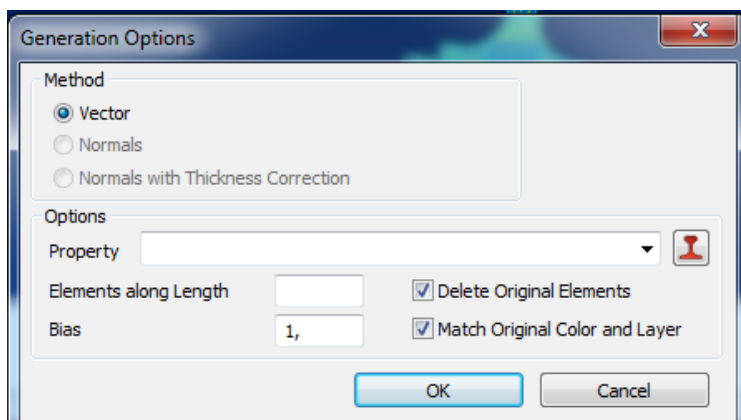
Слика 21. Помоћна мрежа 2Д елемената на површини профила точка

Избором команде **Mesh>Revolve>Element** отварамо прозор и селекујемо све елементе. Отвара нам се прозор **Generation Options** у коме додељујемо карактеристике и уносимо број 3Д елемената који ће се генерисати око осе ротације. У овом прозору је потребно штиклирати поље **Delete Original Elements** како бисмо избрисали постојеће, помоћне 2Д елементе.

Завршни рад – Стеван Миловановић

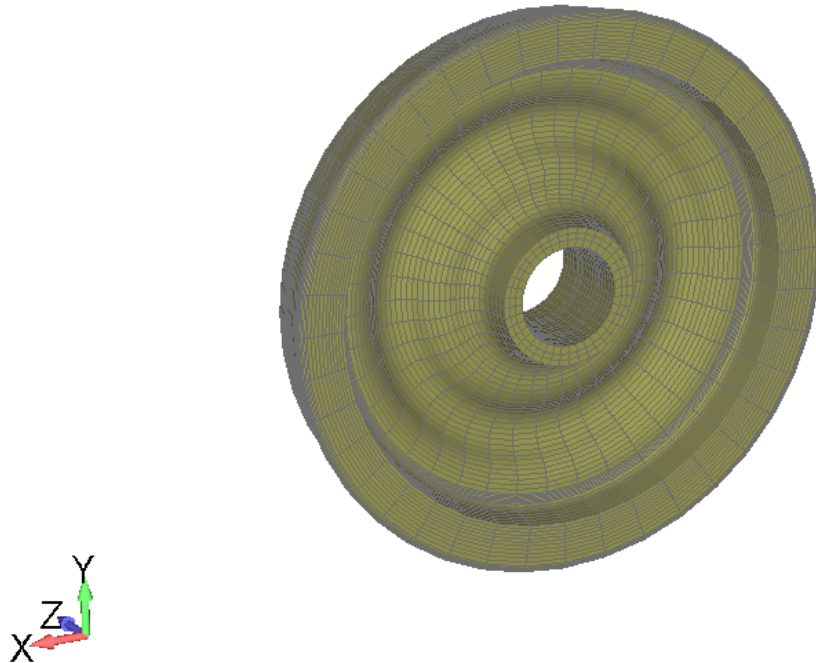


Слика 22. Команда Revolve



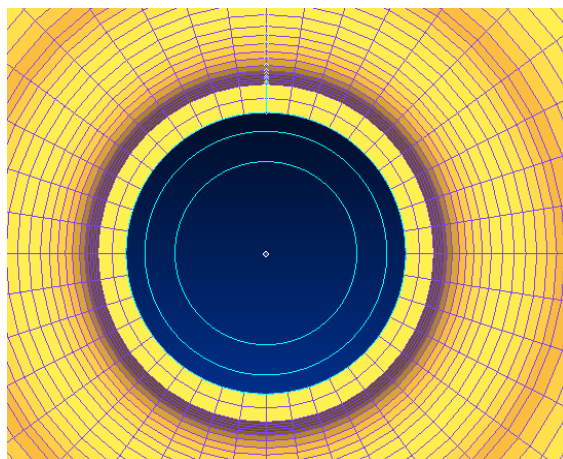
Слика 23.Прозор Generation Options

Након тога селекујемо осу ротације елемената (у нашем случају осу X) и уносимо угао од 360 степени тј.угао за који ротирамо.На овај начин завршавамо моделирање точка.



Слика 24. Точак добијен командом *Revolve*

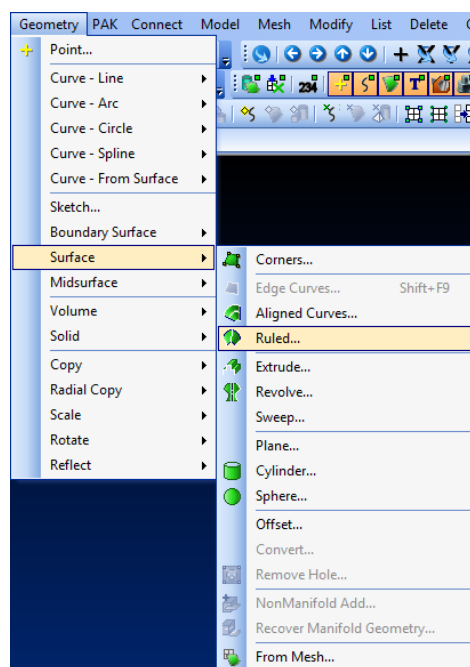
Моделирање осовине вршимо преко команде ***Extrude***. Прво је потребно креирати мрежу 2Д елемената. Ову мрежу креирамо на површинама пресека осовине. Због чињенице да осовина има променљив пречник у попречном пресеку, цртамо више кружница. У нашем случају осовина има три пречника: пречник рукавца, пречник ојачаног дела и средњи пречник. Зато цртамо три кружнице.



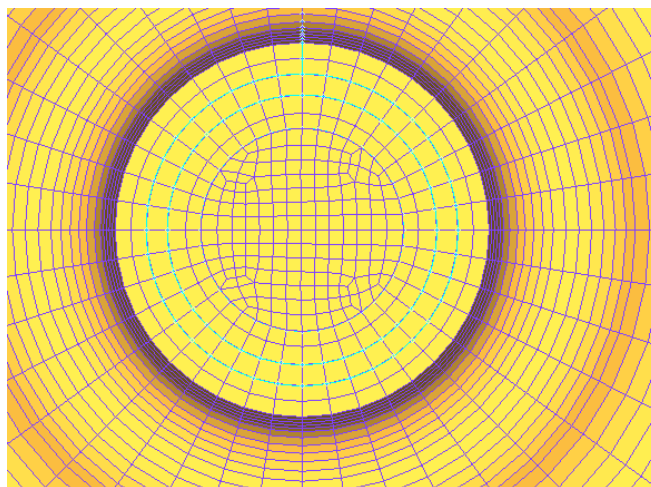
Слика 25. Три кружнице које користимо за креирање попречног пресека осовине

Завршни рад – Стеван Миловановић

Избором команде **Geometry>Surface>Ruled** помоћу ових кружница креирамо три површине. Свака од три саставне површине попречног пресека овог модела се дели на исти број елемената како би имали заједничке чворове. Та подела мора бити иста као и подела на кружници отвора точка како би се поклопила мрежа елемената точка и осовине.



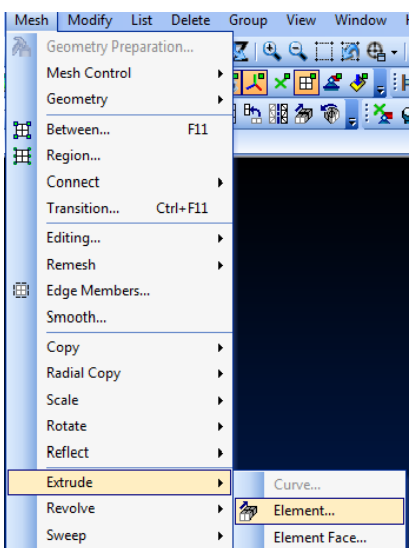
Слика 26. Команда Ruled



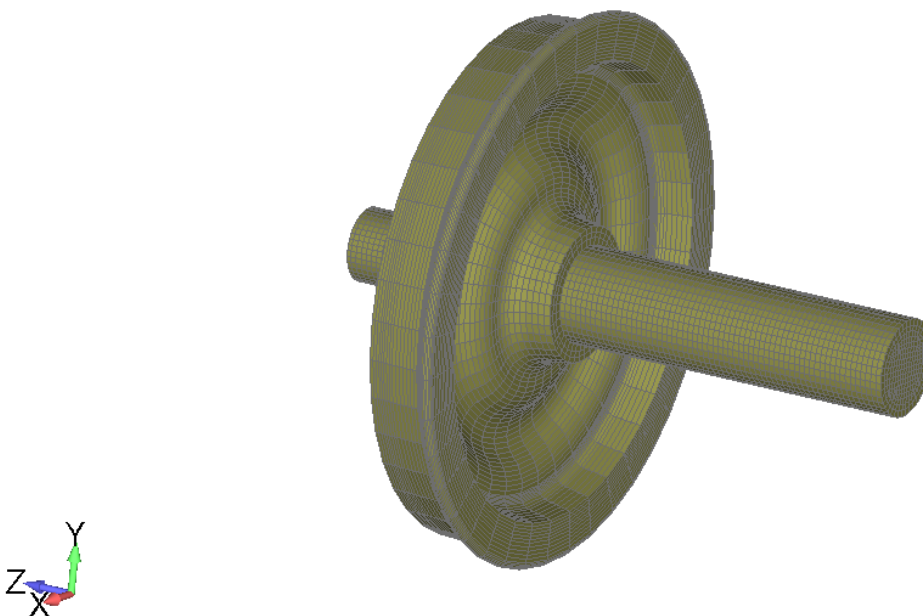
Слика 27. Попречни пресек осовине са генерисаном 2Д помоћном мрежом

Завршни рад – Стеван Миловановић

Да би од попречног пресека добили запремински елементе користи се команда **Mesh>Extrude>Element**. Ову команду ћемо користити три пута јер на дужини осовине имамо три пречника.



Слика 28. Команда Extrude



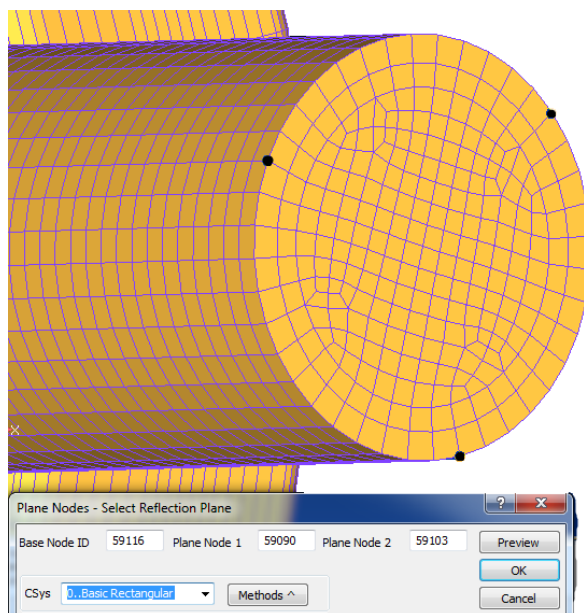
Слика 29. Модел половине колског слога

Због чињенице да је колски слог симентричан, за његово моделирање се може искористити команда **Reflect**. Она врши симетрично пресликавање

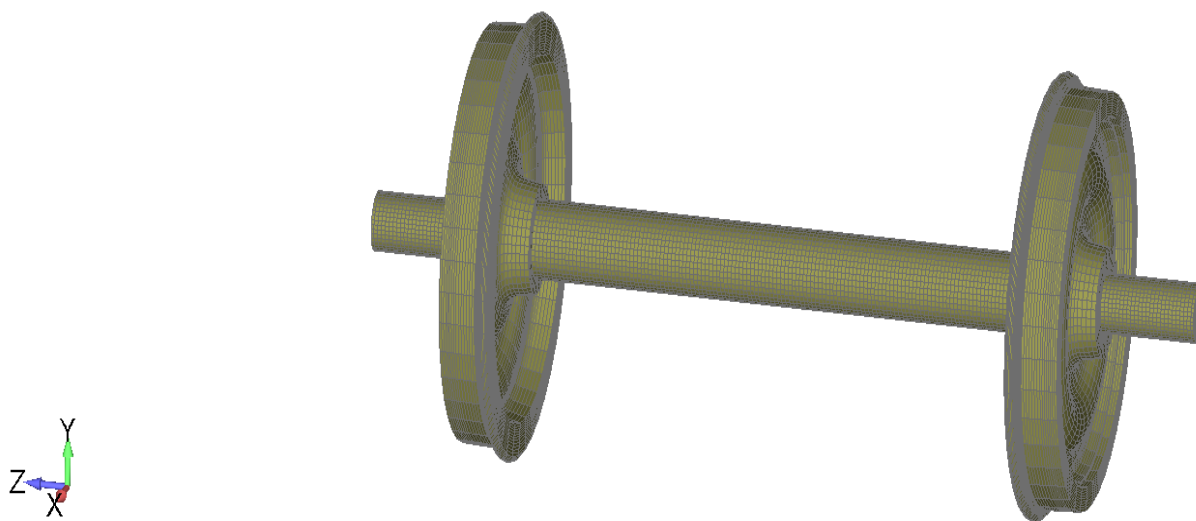
Завршни рад – Стеван Миловановић

елемената у односу на неку раван. Зато моделирамо половину осовине и спајамо са точком.

Избором команде **Mesh>Reflect>Element** селекујемо све елементе половине колског слога и рефлектујемо у односу на раван коју дефинишемо селектовањем три чвора. На овај начин добијамо коначан изглед мреже коначних елемената колског слога. Потребно је још извршити проверу преклапања чворова свих елемената коришћењем команде **Coincident Nodes**.



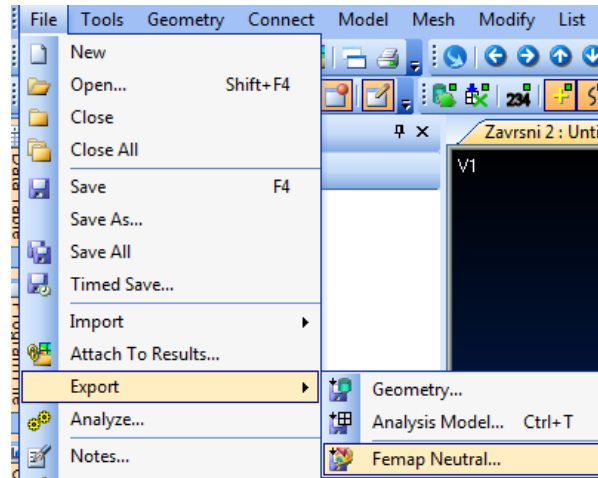
Слика 30. Постављање равни рефлектовања селектовањем три чвора



Слика 31. Коначан изглед модела коначних елемената колског слога

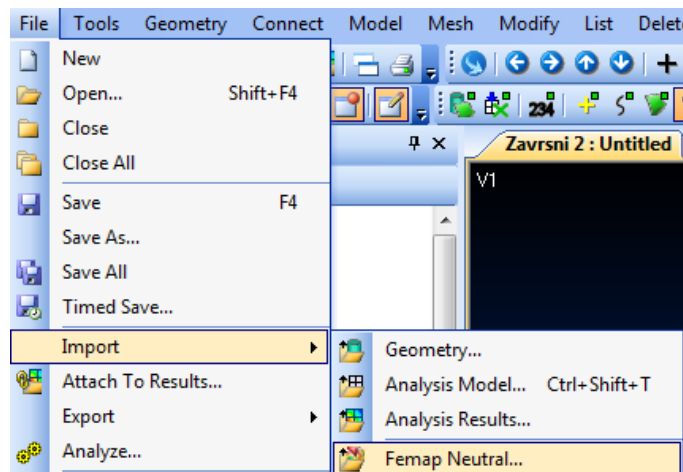
Завршни рад – Стеван Миловановић

Добијени модел колског слога екпортујемо као датотеку типа *.neu, избором команде **File>Export>Femap Neutral**, а модел снимамо као **Kolskislog.neu file**.



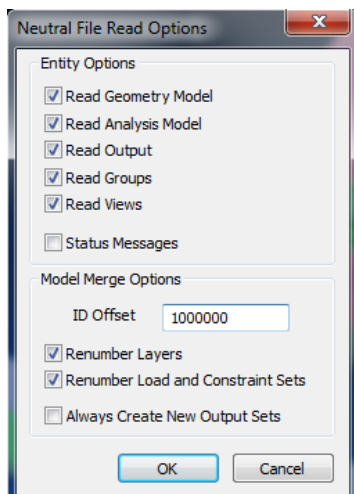
Слика 32.Извоз модела колског слога

Након овог корака модел колског слога затварамо и отварамо фајл *Postolje.modfem*.Избором команде**File>Import>Femap Neutral** увозимо претходно снимљену датотеку. Отвара се прозор под именом **Neutral File Read Options**, у коме у пољу **IDOffset** уносимо вредност 1000000 (слика 34), да не би дошло до преклапања нумерације чворова старог и увеженог модела.Приликом сваког следећег увоза у основну датотеку,овај број ћемо повећавати за један милион како не би дошло до преклапања нумерације елемената и чворова са постојећим.



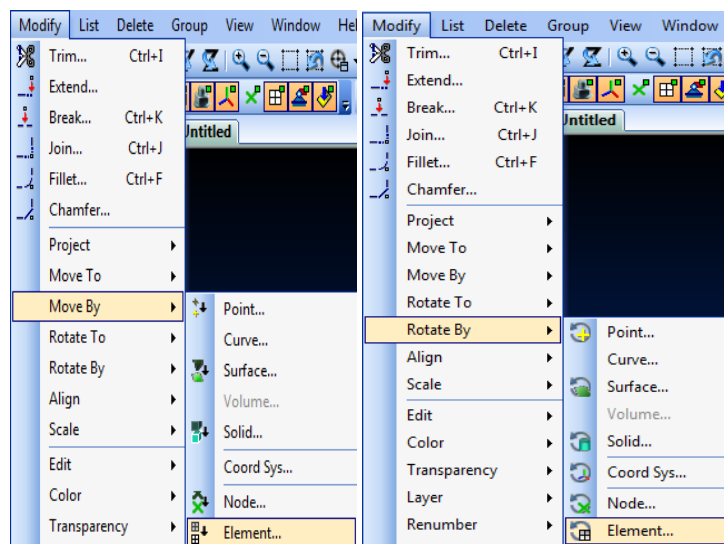
Слика 33. Увоз модела колског слога у основну датотеку

Завршни рад – Стеван Миловановић



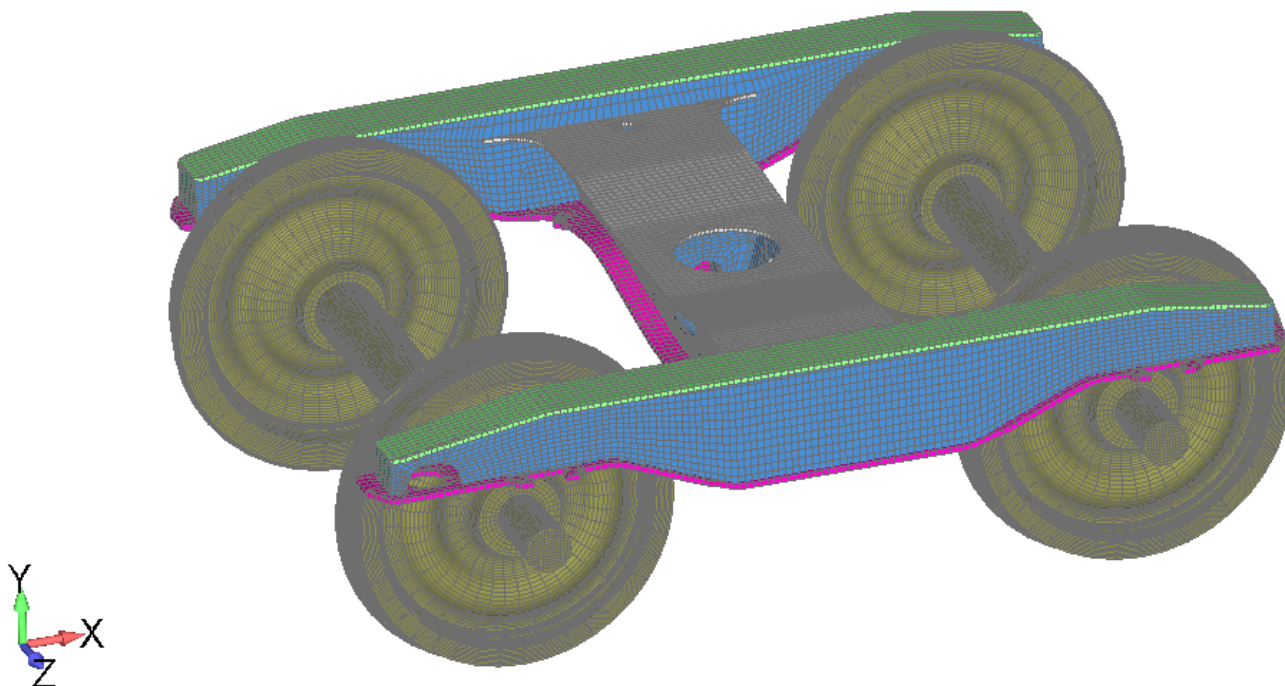
Слика 34. Поље *Neutral File Read Options*

Сада, када је модел коначних елемената колског слога увежен у основну датотеку, потребно га је поставити на тачну позицију у односу на остале елементе обртног постоља. Избором команде **Modify>Move By> Element** и **Modify>Rotate By> Element** вршимо померање и ротацију модела колског слога.



Слика 35. Команде *Move By* (лево) и *Rotate By* (десно)

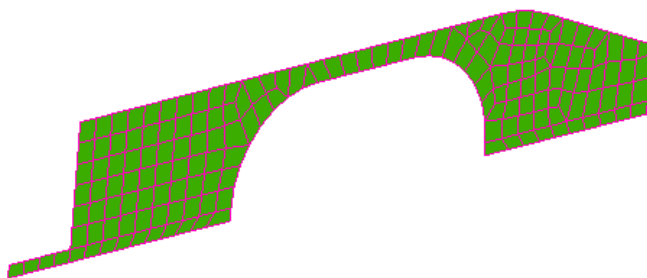
Када позиционирамо модел колског слога остаје још само да га рефлектујемо да бисмо добили и други део колског слога. Коришћењем команде **Reflect** добијамо коначан изглед и позицију колских слогова модела обртног постоља вагона.



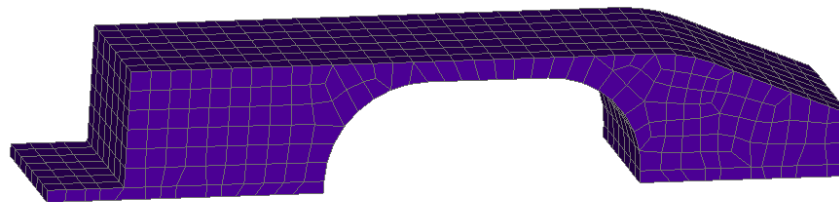
Слика 36. Позиционирани колски слогови

3.2.3. Моделирање надгибањског носача обртног постоља

За моделирање надгибањског носача искористили смо површину профила дела, коју смо увезли из софтвера *Catia*. Површину смо изделили на 2Д коначне елементе да бисмо могли извршити њено извлачење командом **Extrude** и добили коначан модел 3Д елемената.

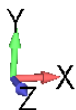
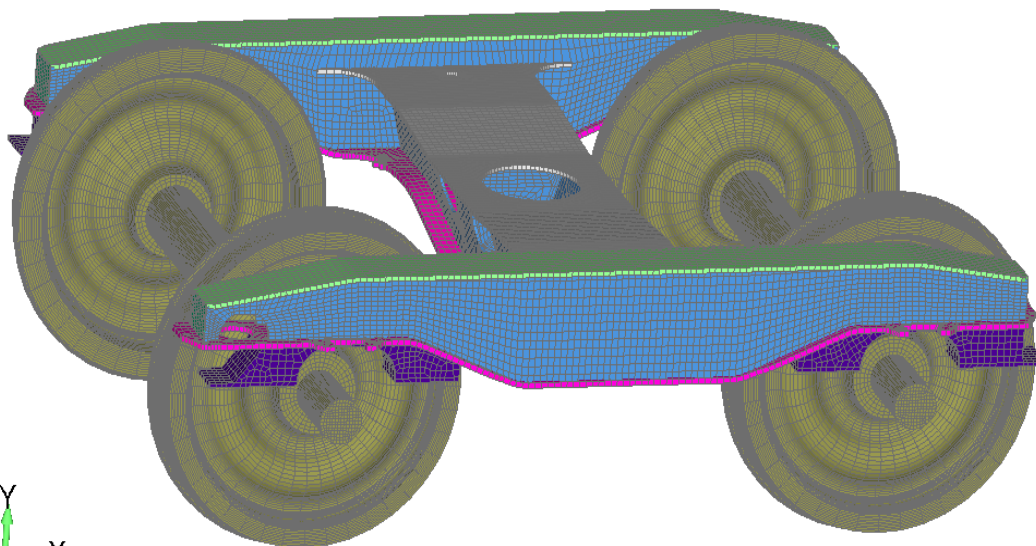


Слика 37. 2Д мрежа коначних елемената попречног пресека надгибањског носача



Слика 38. 3Д мрежа коначних елемената надгибањског носача након коришћења команде *Extrude*

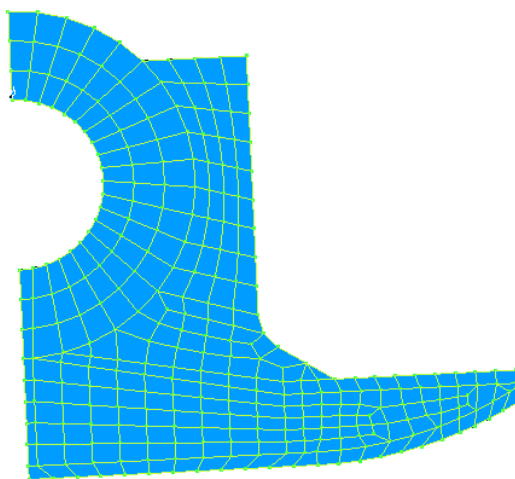
На исти начин, као и у случају колског слога, вршимо извоз и увоз надгибањског носача у основну датотеку. Приликом увоза у основну датотеку водимо рачуна да повећамо **IDOffset**. Због чињенице да имамо четири надгибањска носача (изнад сваког точка по један) користимо команду **Reflect** да бисмо измоделирали преостала три.



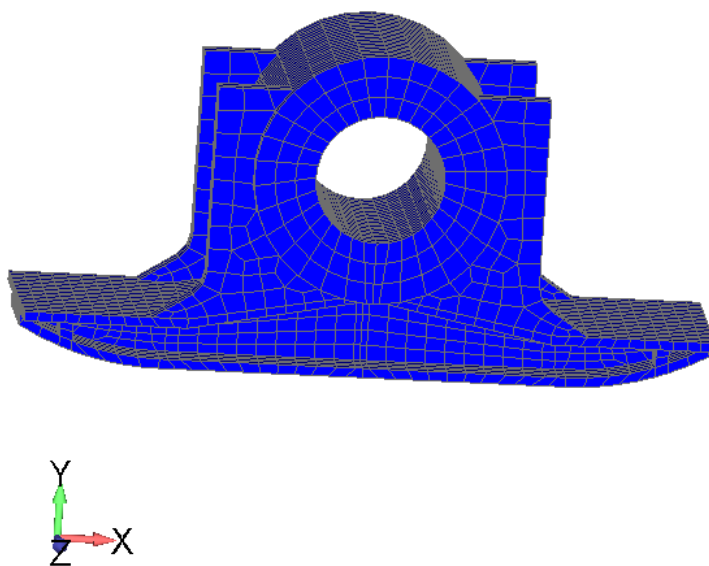
Слика 39. Изглед модела обртног постоља након убацивања надгибањских носача

3.2.4. Моделирање тулца обртног постоља

Као и код надгибањског носача прво вршимо увоз површине из софтвера *Catia* у *Femap*. На увезеној површини правимо 2Д мрежу, а затим командама ***Extrude*** и ***Reflect*** добијамо коначан изглед 3Д коначних елемената. Добијени модел извозимо у основни фајл као фајл под називом ***Tulac.neu***.



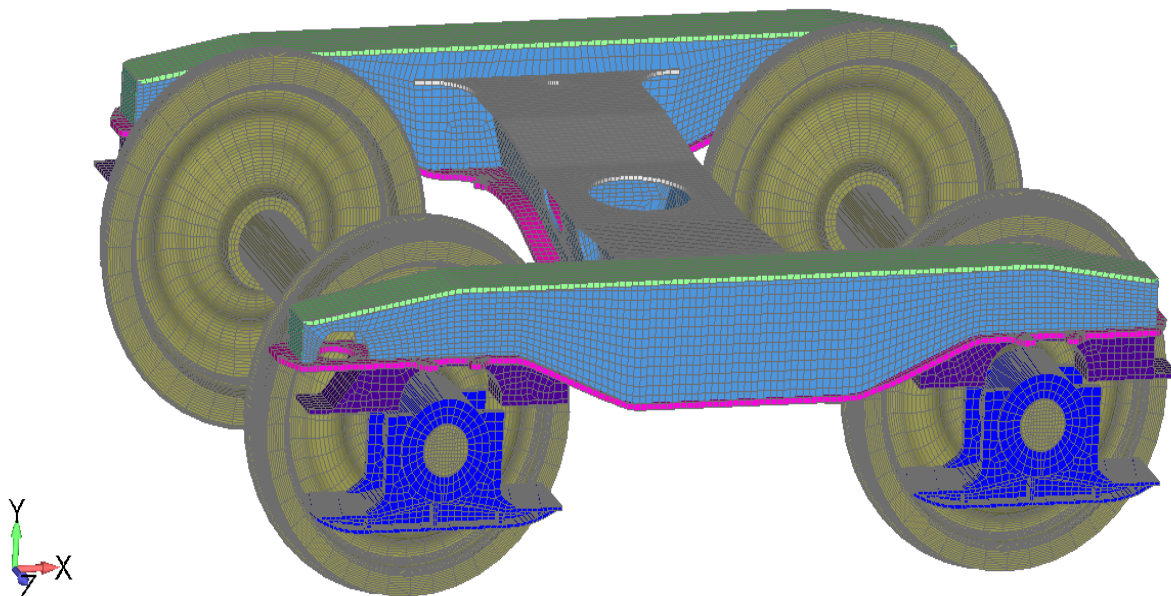
Слика 40. Модел мреже 2Д елемената на површини увезеној из софтвера *Catia*



Слика 41. Коначан изглед 3Д модела коначних елемената тулца

Завршни рад – Стеван Миловановић

Након увоза тулца у основни фајл вршимо његово позиционирање командама **Move By**, **Rotate By** и командом **Reflect** моделирамо преостала три тулца.

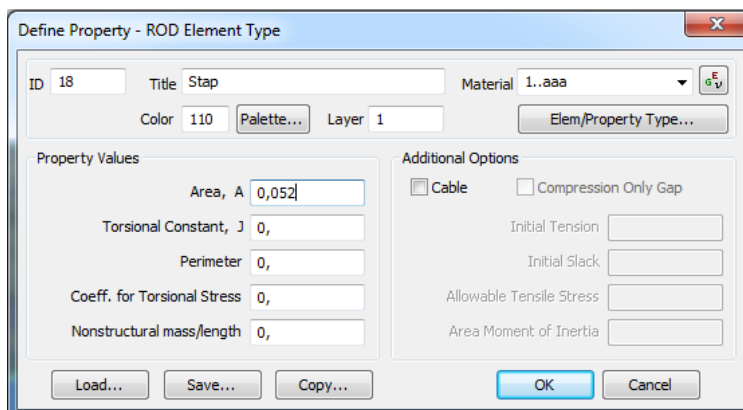


Слика 42. Изглед модела обртног постоља након убацивања тулца

3.2.5. Моделирање опруга

Због компликованости геометрије опруга постоља и опруга бочних клизача, опруге се не моделирају, већ се замењују системом штапова исте укупне крутости. У случају опруга постоља сваки пар од осам пари опруга постоља се замењује са 34 штапа. Због тога је потребно одредити укупну крутост две упарене опруге, како бисмо задали сваком штапу $1/34$ укупне крутости две упарене опруге. У случају опруга бочних клизача свака опруга се замењује са 20 штапова, а сваком од штапова се задаје $1/20$ крутости опруге клизача.

Избором команде **Model>Property>Element Property Type** бира се коначни елемент штапа (**Rod**). Након тога нам се отвара нови прозор у коме се уноси површина попречног пресека штапа.

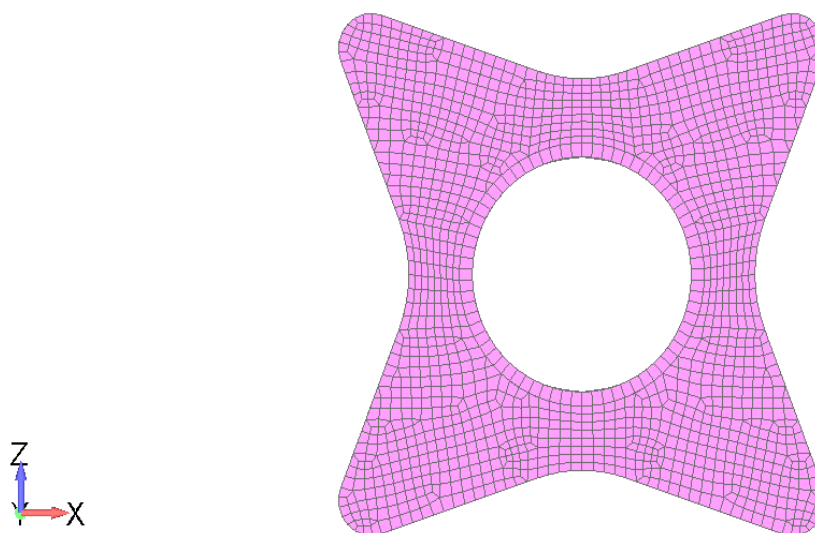


Слика 43. Уношење површине попречног пресека штапа

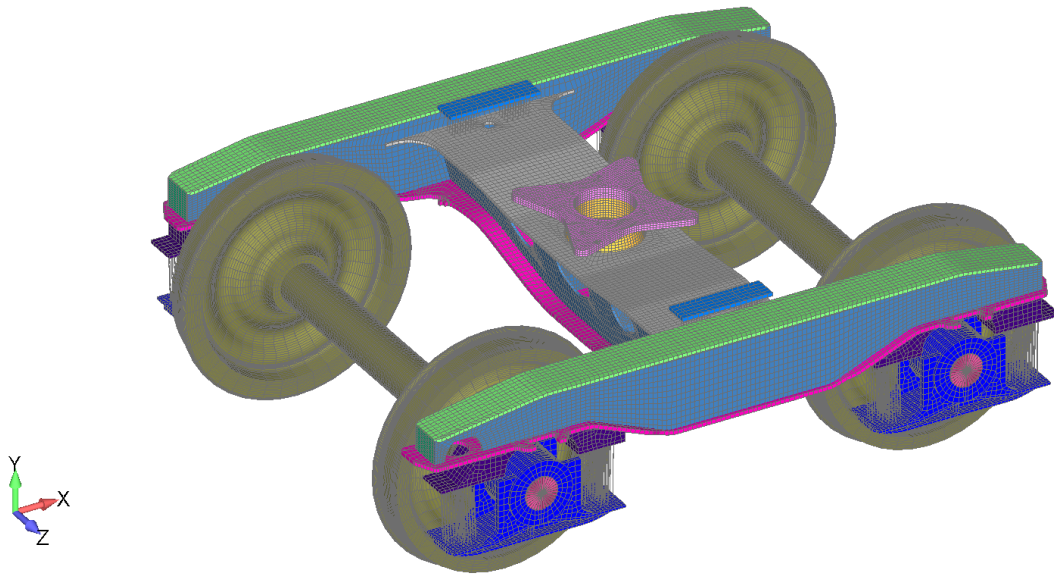
Након одабира типа коначног елемента штапа, за сваку од опруга креира се одговарајући број штапова.

3.2.6. Моделирање ослонца обртног постоља

Површина профила ослонца, на начин који је претходно описан и за остале додатне делове постоља, увози се из *Catia*-е у *Femap*. Моделирамо 2Д коначне елементе љуске, који нам користе као помоћ за моделирање 3Д мреже коначних елемената командом **Extrude**. Готов модел ослонца увозимо у основну датотеку, позиционирамо га и везујемо за одговарајуће делове постоља.



Слика 44. 2Д модел мреже ослонца



Слика 45. Коначан изглед модела коначних елемената обртног постоља вагона

4.Анализа резултата

За анализу модела коришћен је солвер *NX Nastran*. Циљ анализе је провера напонско-деформационих стања обртног постоља вагона задавањем оптерећења у складу са стандардом EN13749:2005, клаузула C.3.3., вертикално оптерећење, случај 2.

Сила је задата на месту споја обртног постоља са конструкцијом вагона (тј. на месту ослонца) и на једном бочном клизачу:

$$F_{z1} \text{ (или } F_{z2}) = F_z \cdot \alpha = 225000 \text{ N} \cdot 0.2 = 45000 \text{ N}$$

$$F_{zp} = F_z(1 - \alpha) = 225000 \text{ N} \cdot 0.8 = 180000 \text{ N}$$

где је:

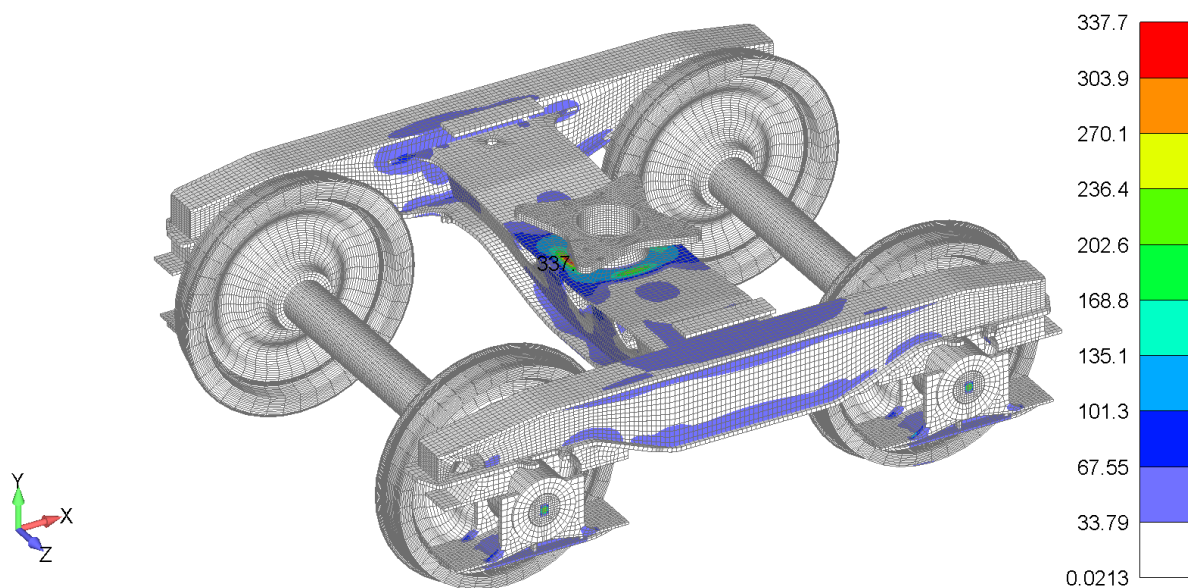
F_{z1}, F_{z2} – сила која се задаје на местима бочних клизача

F_{zp} – сила која се задаје на месту сворњака обртног постоља.

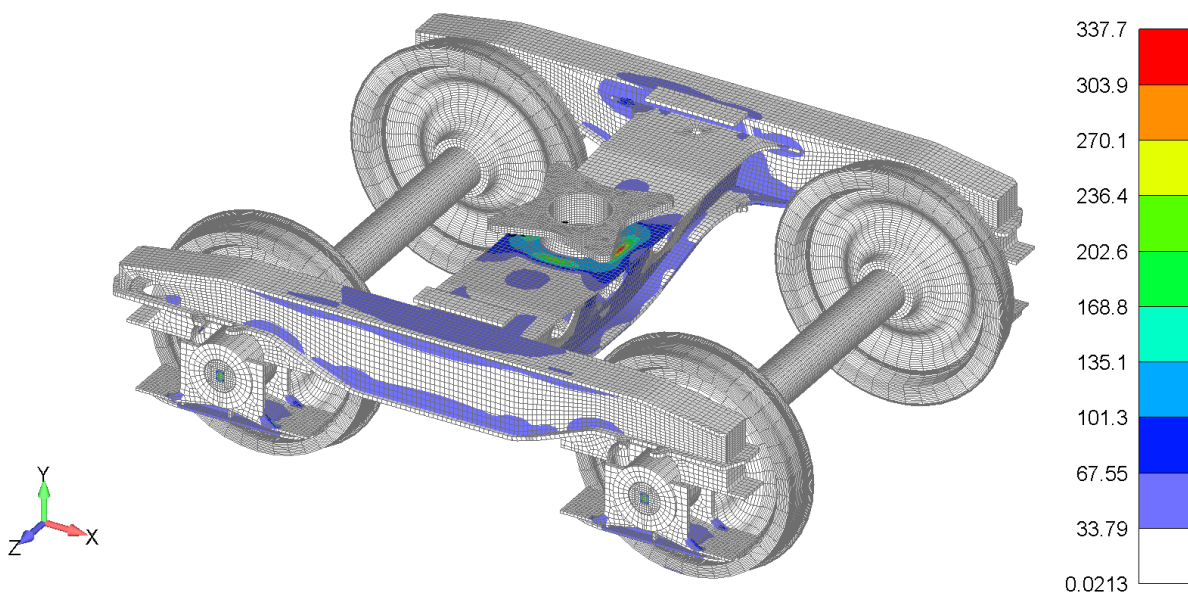
F_z – укупна вертикална сила- осовинско оптерећење обртног постоља (Табела 1)

α - коефицијент који зависи од растојања бочних клизача. У складу са UIC стандардима за обртна постоља код којих је растојање између бочних клизача 1700mm узима се да је $\alpha=0,2$.

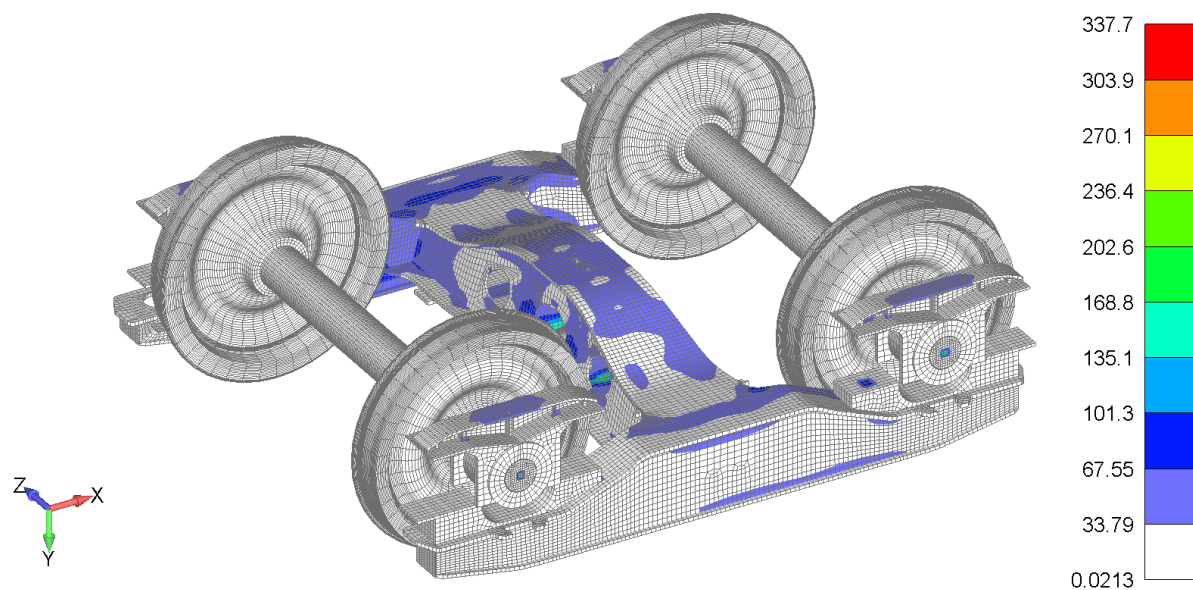
Ради боље прегледности и тумачења добијених резултата, направљена је група у којој се налазе 3Д коначни елементи и елементи љуске. На сликама 46- 49 приказано је поље ефективног напона у неколико погледа. На слици 50 приказано је место максималног напона и налази се на попречном носачу и износи 337.67MPa.



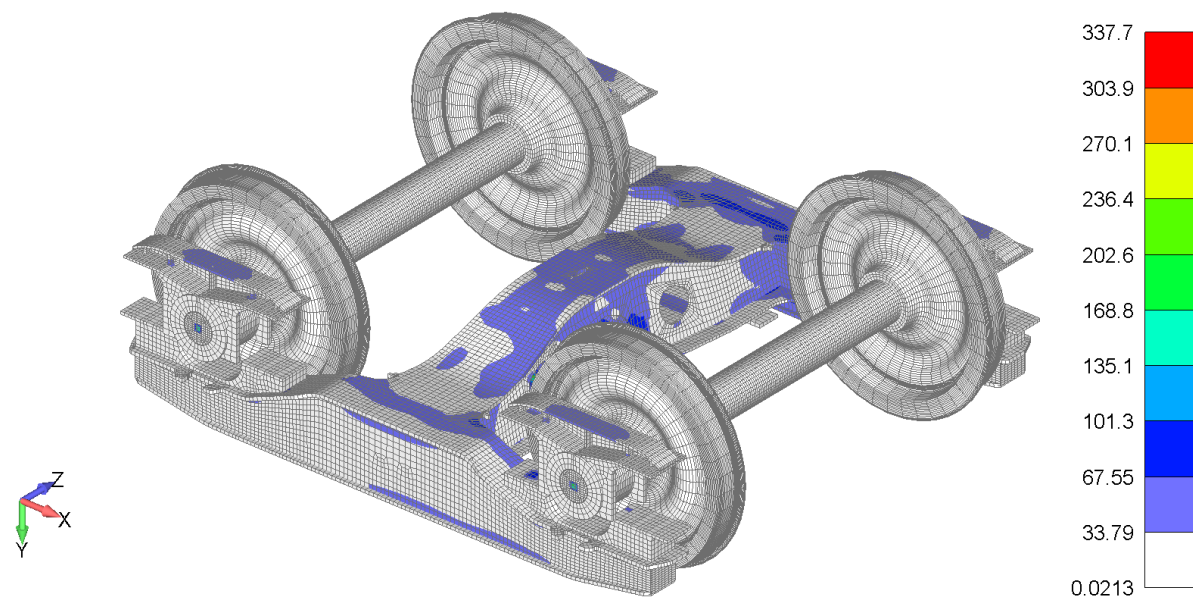
Слика 46. Поље ефективног напона



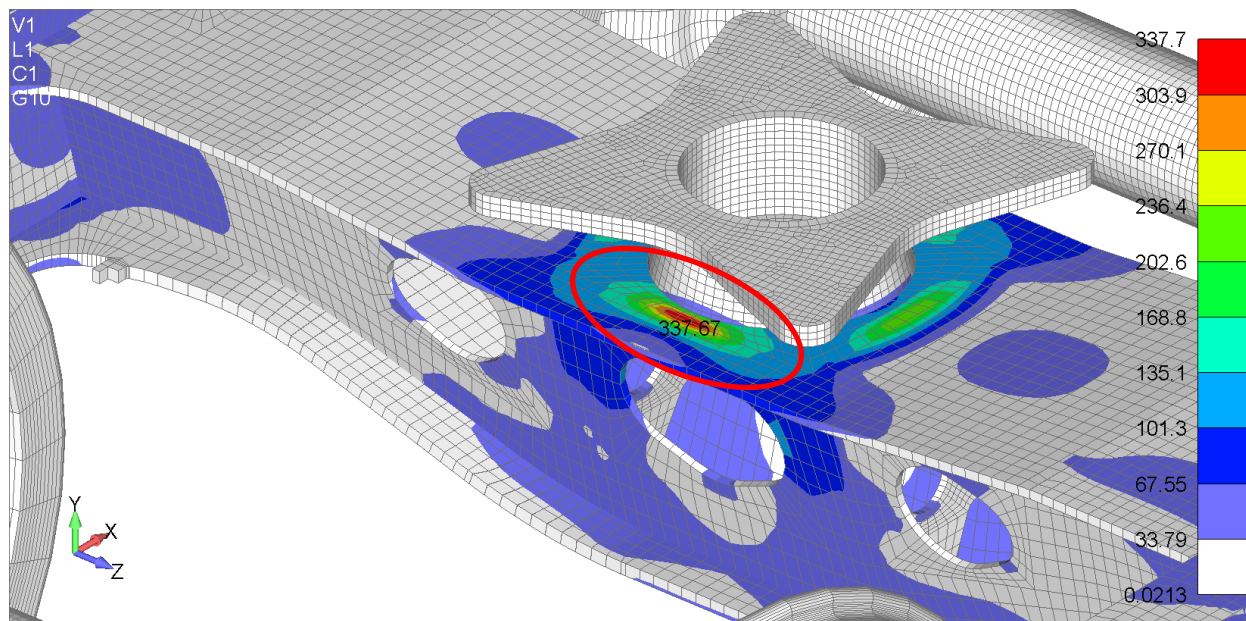
Слика 47. Поље ефективног напона



Слика 48. Поље ефективног напона



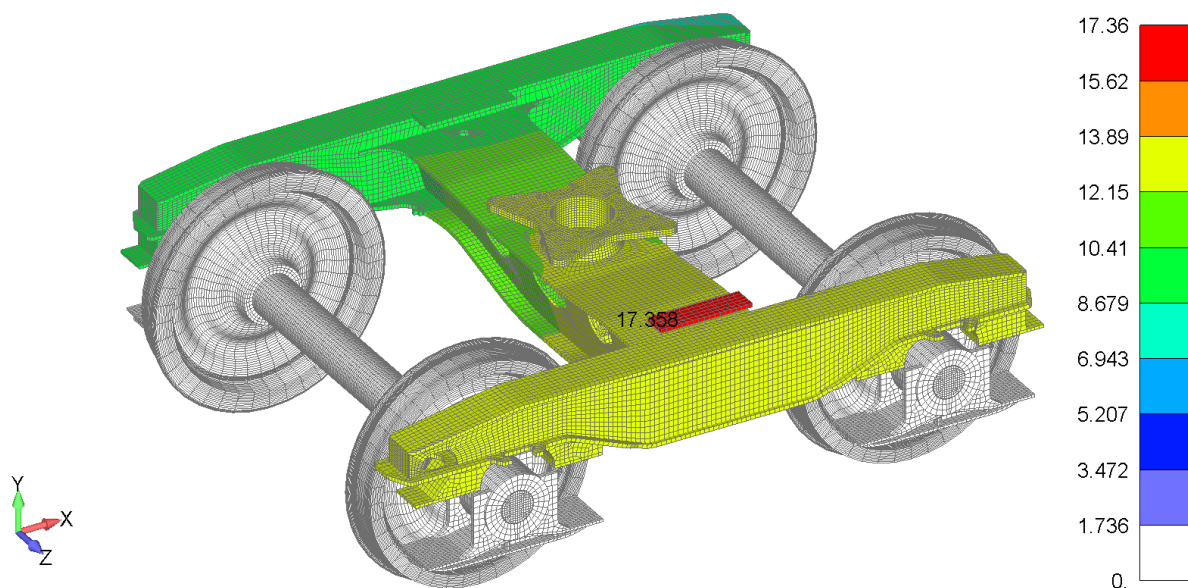
Слика 49. Поље ефективног напона



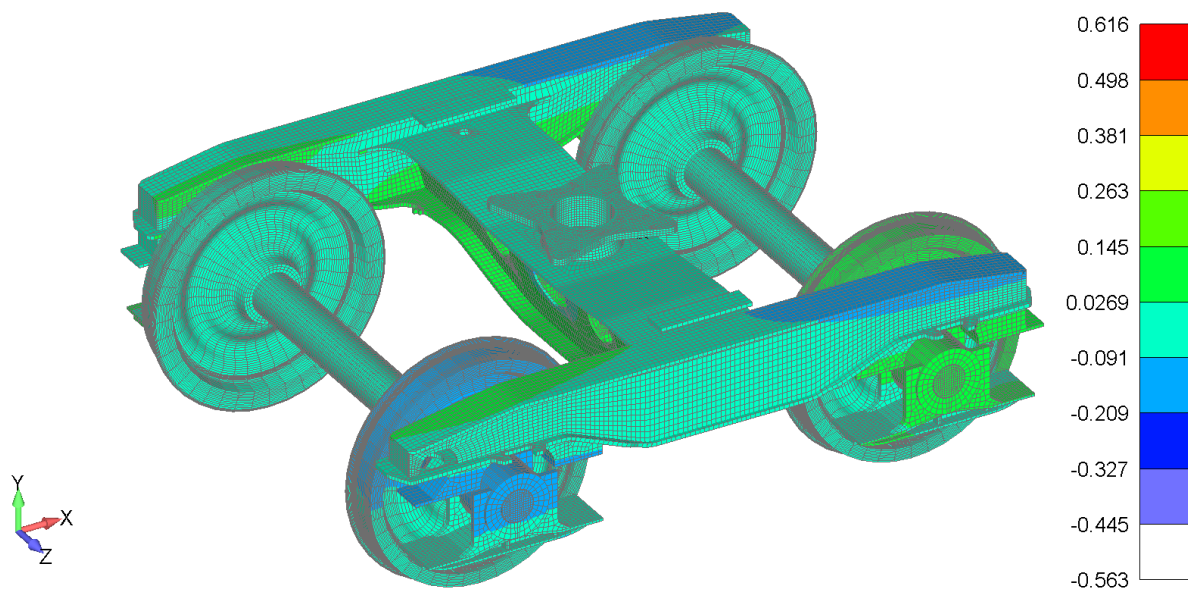
Слика 50. Поље ефективног напона- место максималног напона

Добијена вредност степена сигурности је $S_1=1,05$, што је изнад дозвољене вредности дефинисане стандардом **EN13749:2005**, клаузула E6.

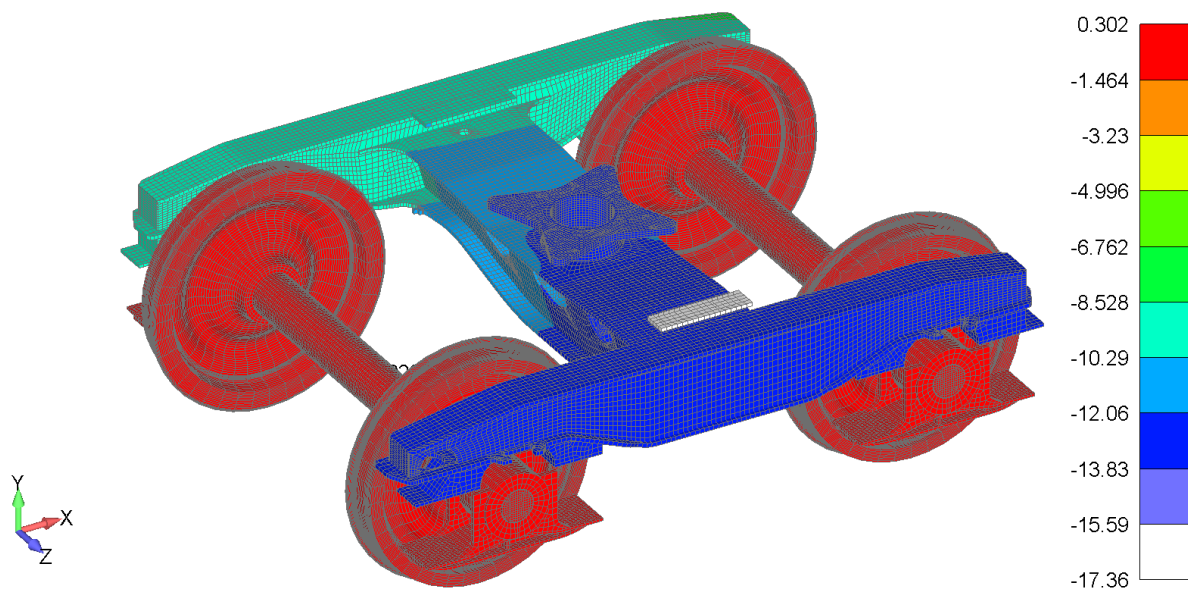
На слици 51 приказано је поље укупних померања модела. На сликама 52, 53 и 54 приказана су поља померања модела у X, Y и Z правцу, респективно.



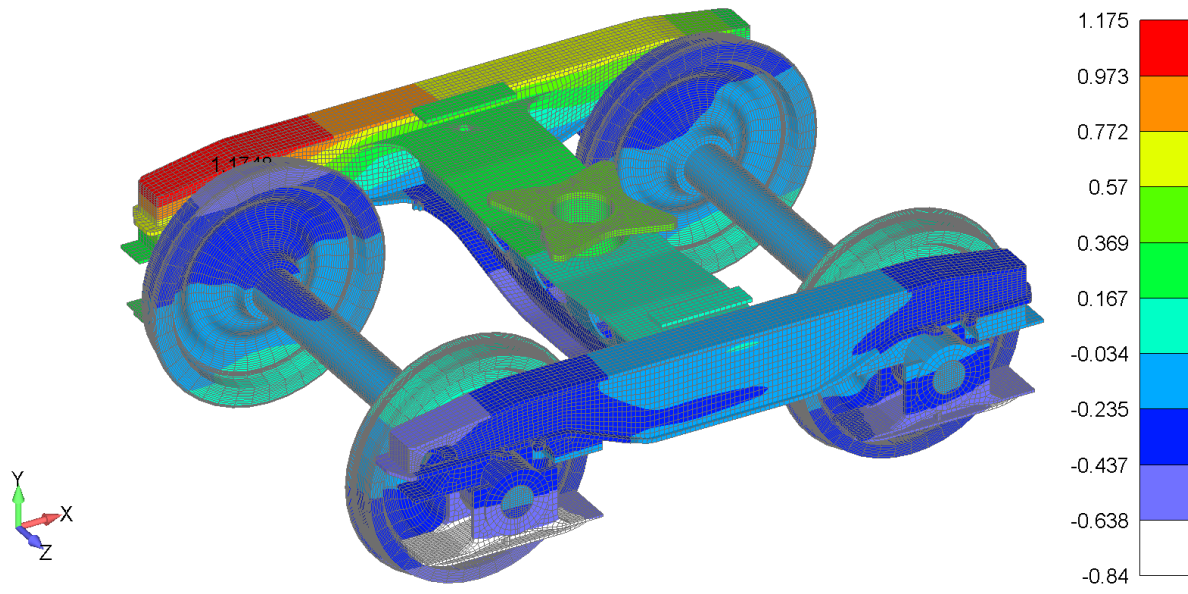
Слика 51. Поље укупних померања



Слика 52. Поље померања у подужном правцу



Слика 53. Поље померања у вертикалном правцу



Слика 54. Поље померања у попречном правцу

5.Закључак

На основу извршене анализе и провере напонско деформационих резултата обртног постоља вагона при дејству вертикалног оптерећења прописаног у складу са стандардом EN13749:2005, може се закључити следеће:

- Максимално померање услед деловања оптерећења износи 17.358 mm.
- Максимални напон се јавља на попречном носачу на месту око кружног отвора и износи 337.67MPa
- Степен сигурности је $S_1=1,05$, што је изнад дозвољене вредности дефинисане стандардом **EN13749:2005**, клаузула E6.

Уз овај закључак би требало додати, да је овим поступком показано како се помоћу коришћених софтвера може анализирати једна сложена конструкција, у овом случају, обртно постоље вагона. Овде су дате само смернице на који начин се долази до модела коначних елемената, који су само полазна основа за даље анализе. Поред ове врсте оптерећења, неопходно је проверити понашање конструкције и у случају деловања осталих оптерећења која су дефинисана стандардима.

Све ово представља једну добру основу, за даља истраживања којима се треба позабавити у неком наредном периоду.

Литература:

- [1] Милош Којић, Радован Славковић, Мирослав Живковић, Ненад Грујовић, Метод коначних елемената 1- Линеарна анализа, Крагујевац, 1998.
- [2] Мирослав Живковић, Снежана Вуловић, Linear static and dynamic structural analysis, Pre-andpost- processing examples in program Femap for program package PAK, Faculty for Mechanical Engineering, Kragujevac, University of Kragujevac, 2013.
- [3] Драган Игњатовић: Машине и уређаји за транспорт на површинским коповима, Рударско-геолошки факултет, Београд 2010.
- [4] EN 13749:2005 - Railway applications – Wheelsets and bogies – Methods of specifying structural requirements of bogie frames, European Standard.
- [5] <http://www.elh.de/index.php?id=34&L=1> , преузето октобар 2014.
- [6] <http://www.gosa-fsv.rs/userfiles/file/produktove-listy-gosa/Y25.pdf>, преузето октобар 2014.
- [7] <http://ttl.masfak.ni.ac.rs/MS-SA/PREDAVANJE-1.pdf>
- [8] Femap with NX Nastran