

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Информатика у инжењерству

Предмет: Коначни елементи I

Број индекса: 185/2010

Душан Р. Влајковац
Оптимизација EAF рама
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Мирослав Живковић-ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да оптимизује EAF рам употребом програма *FEMAP & NX Nastran*.

Препоручена литература:

- [1] M. Kojić, M.Živković, R.Slavković, and N.Grujović, “Metod konačnih elemenata”, Univerzitetu Kragujevcu, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, 1998.
- [2] Femap & NX Nastran.
- [3] M. Firl, R. Wüchner, K. U. Bletzinger, “Regularization of shape optimization problems using FE-based parametrization”, Struct Multidiscip O, Vol 47, pp. 507-521, (2013)

Крагујевац

ментор:
Др Мирослав Живковић

Садржај

1. Увод	5
2. Основни појмови	6
3. Теоријске основе оптимизације	7
4. Употреба FEMAP&NXNastran-а за оптимизацију	9
4.1 Goal	10
4.2 Vary – Design Variables.....	11
4.3 Limit – Design Constraints	12
5. Оптимизација рама	15
5.1 Материјал и дозвољени напон	15
5.2 Оптерећења	16
5.2.1 Случај оптерећења 1 (LC1)	17
5.2.2 Случај оптерећења 2 (LC2a и LC2b)	17
5.2.3 Случај оптерећења 3 (LC3)	17
5.2.4 Случај оптерећења 4 (LC4)	17
5.2.5 Случај оптерећења 5 (LC5)	18
5.2.6 Случај оптерећења 6 (LC6)	18
5.3 Гранични услови	18
5.4 Оптимизација	19
6. Закључак	34
Литература	35

1. Увод

Задатак машинских конструкција је извршење задате функције, при чему не сме доћи до појаве критичних стања у експлоатационим условима. Иницијална конструкција може се приближно дефинисати на основу претходног искуства. Конструкција се затим анализира како би се установило да ли су задовољена сва ограничења. У процесу анализе креира се математички модел конструкције. Математички модел конструкције и оптерећења дефинише конструктор. У конструкцији се одређују напони који се јављају као последица спољашњих оптерећења и упоређују се са дозвољеним напоном. Уколико је овај услов испуњен приступа се процесу оптимизације са циљем побољшања иницијалне конструкције. Уколико овај услов није задовољен, приступа се процесу варијације параметара конструкције све до коначног испуњења претходно дефинисаних ограничења. У оба случаја нова конструкција мора бити поново анализирана како би се установио њен однос према граничним условима система. Током процеса оптимизације најчешће је потребно више пута вршити поновну анализу конструкције па је прикладно овај процес учинити ефикаснијим применом рачунара.

2. Основни појмови

Оптимизација представља процес стварања бољег дизајна. Захтеви које пред савремене инжењере поставља тренд смањења трошкова производње, повећања ефикасности производних процеса, модуларности производа и слично, а све у циљу постизања конкурентности довели су до развоја робусних метода за доношење одлука као што су оптимизационе методе. Ове методе чине основу подршке процесу одлучивања током развоја производа и методологија у циљу истовременог постизања економичности и ефикасности.

Оптимизација представља поступак добијања најбољих резултата под одређеним околностима. У зависности од тога да ли приликом оптимизације долази до промене геометрије или не, оптимизације се дели на:

- оптимизацију облика
- параметарску оптимизацију.

Оптимизација облика представља промену геометрије делова све док се не добије најбоља комбинација димензија за одређене услове (смањење запремине уз повећање крутости за дате услове; смањење запремине уз повећање крутости за дате услове). Параметарска оптимизација представља мењање дебљине елемената структуре без промене геометрије.

3. Теоријске основе оптимизације

У математици, израз оптимизација, или математичко програмирање, се односи на проучавање проблема у којима се тражи максимизовање или минимизовање реалне функције систематичким бирањем вредности реалних или целобројних променљивих из одређеног скупа. За дефинисање оптимизације користимо три параметра:

1. Функција циља коју желимо да минимизујемо или максимизујемо. На пример при дизајнирању аутомобилског панела желимо да ограничимо тежину.
2. Сет променљивих димензија које утичу на функцију циља.
3. Сет ограничења којима се дефинишу границе из сета променљивих димензија.

Могуће је креирати проблем оптимизације и без ограничења. У том случају дефинишемо функцију минимизирања или максимизирања $f(x)$, где је вектор који представља променљиве димензије. Математички изражено, тражимо вектор, такав да је:

$f(x^*) \leq f(x)$	(1)
--------------------	-----

За све x који су близу x^* . Треба напоменути да не тражимо глобални минимум до кога је тешко доћи чак и уз најновију технологију. За већину примена локални минимум је довољан посебно када корисник на основу свога искуства зада одговарајуће почетне вредности за променљиве димензије. Постоје две врсте метода за решавање једначине (1) методе нултог реда код којих се избегавају изводи или градијенти од $f(x)$ и методе првог реда које користе градијенте од $f(x)$.

У случају оптимизације у машинству методе првог реда захтевају доста рачунарских ресурса јер се градијенти морају рачунати користећи коначне разлике у простору након што се добије $f(x)$ за различите вредности. Нумеричка захтевност је последица чињенице да свака евалуација $f(x)$ захтева извршење МКЕ анализе. Па ипак ако се жели тачност треба користити методе првог реда. Њих треба користити у сваком случају кад год је $f(x)$ веома осетљива на изабране променљиве димензије.

Већина алгоритама првог реда су адаптација Newton-овог метода, који захтева израчунавање вектора градијената:

$\nabla f(x) = \begin{pmatrix} \partial f_1(x) \\ \vdots \\ \partial f_N(x) \end{pmatrix}$	(2)
--	-----

И Hessian-ове матрице:

$\nabla^2 f(x) = (\partial_j \partial_i f(x)), \quad i, j = 1, \dots, N$	(3)
--	-----

где је N број променљивих димензија. Употреба Newton-ове методе резултира квадратном функцијом модела од $f(x)$, око интеграције X_k .

$g_k^T \delta = f(X_k) + \nabla f(X_k)^T \delta + \frac{1}{2} \delta^T \nabla^2 f(X_k) \delta$	(4)
--	-----

Вредност која минимизује g_k се добија решавањем $N \times N$ система једначина, и користи се за одређивање следеће интерације

$X_{k+1} = X_k + \delta$	(5)
--------------------------	-----

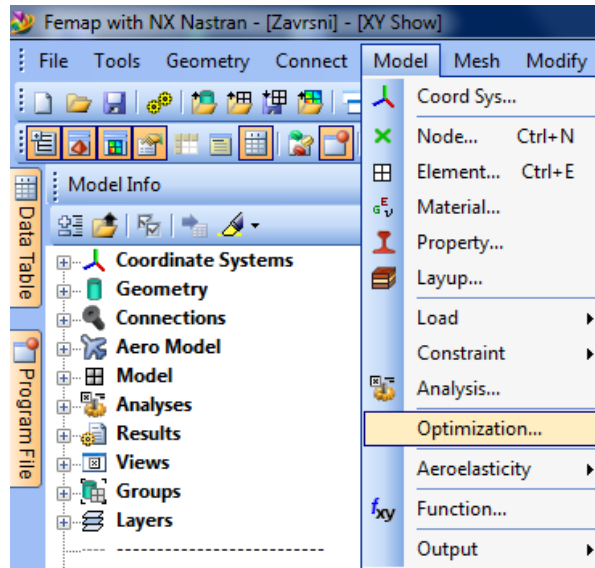
Као што је већ речено, неки проблеми оптимизације захтевају примену ограничења променљивих димензија.

$f(x^*) \leq f(x) ; l \leq x^* \leq u$	(6)
--	-----

Приступ описан у једначинама (2) до (5) се може адаптирати за решавање проблема оптимизације са ограничењем увођењем трансформација променљивих. Ови проблеми се још називају методе редукованог градијента.

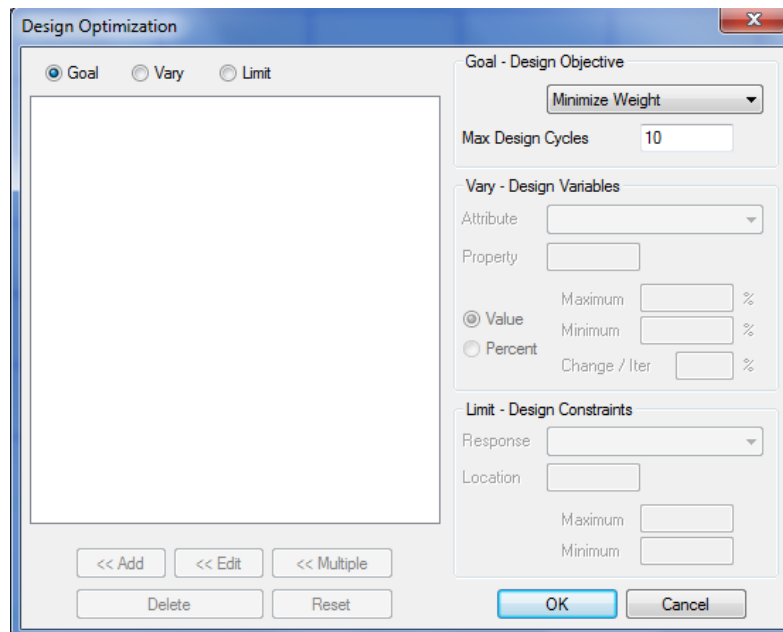
4. Употреба FEMAP&NXNastran-а за оптимизацију

За оптимизацију се дефинишу циљеви, променљиве и границе. Резултат оптимизације је одређена димензија у оквиру задатих граница за задате услове. Резултат анализе се чува као функција које показују промену димензија током анализе, тј. промена димензије у итерацијама. У FEMAP-у се параметри за оптимизацију подешавају избором команде *Model>Optimization* (Слика 4.1).



Слика 4.1

Избором команде *Model>Optimization* појављује се прозор *Design Optimization* (Слика 4.2).

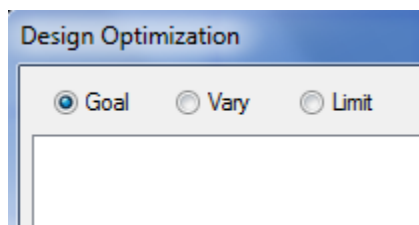


Слика 4.2

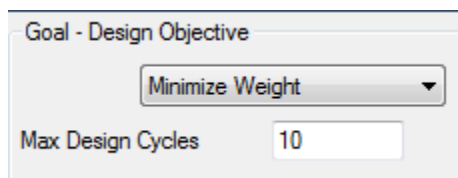
Прозор *DesignOptimization* садржи три дела: *Goal* (циљ), *Vary* (променљиве димензије) и *Limit* (ограничења). Параметре које треба унети зависе од селектоване опције. Параметри који су дефинисани за *Vary* или за *Limit* биће приказане у *ListBox*-у на левој страни прозора. У доњем левом углу прозора налазе се дугмићи: *Add* за додавање параметра, *Multiple* које омогућавају селекцију више параметара и *Edit* које омогућава промену селектованог параметра. Дугме *Delete* служи за брисање селектованог параметра док *Reset* служи за брисање целе листе.

4.1 Goal

Приликом отварања *DesignOptimization* селектована је опција *Goal* (Слика 4.3).



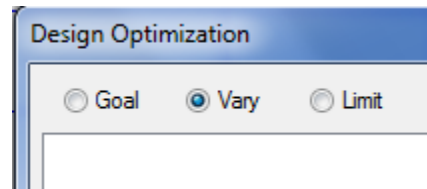
Слика 4.3



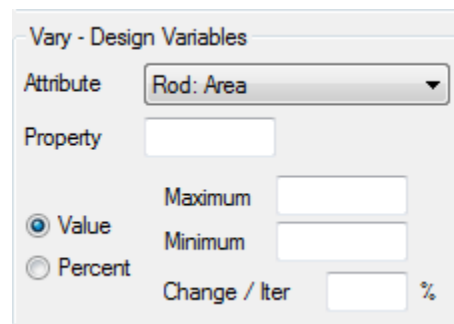
Слика 4.4

За сада је подржано смањивање тежине (*MinimizeWeight*). Избор се не може променити и једини параметар који треба унети је максимални број циклуса оптимизације (*MaxDesignCycles*) (Слика 4.4).

4.2 Vary – Design Variables

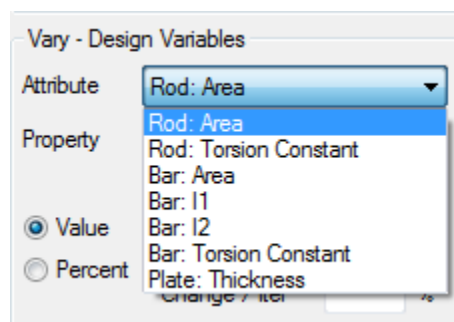


Слика 4.5



Слика 4.6

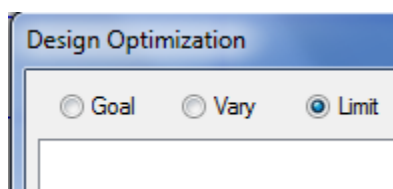
Након дефинисања броја циклуса потребно је дефинисати границе димензија које се дефинишу. Потребно је селектовати опцију *Vary*, слика 4.5. Селектовањем опције *Vary* мења се прозор *DesignOptimization*, појављује се део *Vary– Design Variables*, Слика 4.6. Прво се дефинише параметар (*Attribute*) који се оптимизује избором опције на падајућој листи (Слика 4.7). На падајућој листи могуће је селектовати површину попречног пресека штапа (*RodArea*), увијање штапа (*RodTorsionConstant*), површину попречног пресека греде (*BarArea*), увијање греде (*BarTorsion*), моменте инерције греде (*BarI1* и *BarI2*) и дебљину љуске (*PlateThickness*). За оптимизацију EAF рама користи се опција дебљина љуске (*PlateThickness*).



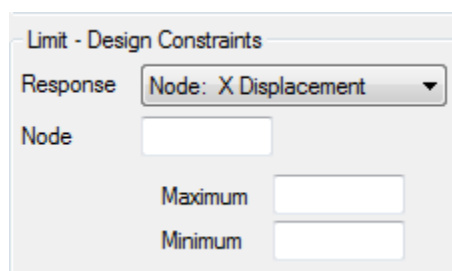
Слика 4.7

Након селектовања атрибута потребно је селекувати одговарајући *Property*, а затим унети вредности *Maximum* и *Minimum*. Такође, потребно је задати максималну дозвољену промену по итерацији (изражену у процентима) или оставити вредност по дефиницији (Слика 4.6). Када су све вредности унете, треба кликнути на дугме *Add* (Слика 4.2). Дефинисани параметри биће приказани у *ListBox*-у – на левој страни дијалога *DesignOptimization*.

4.3 Limit – Design Constraints

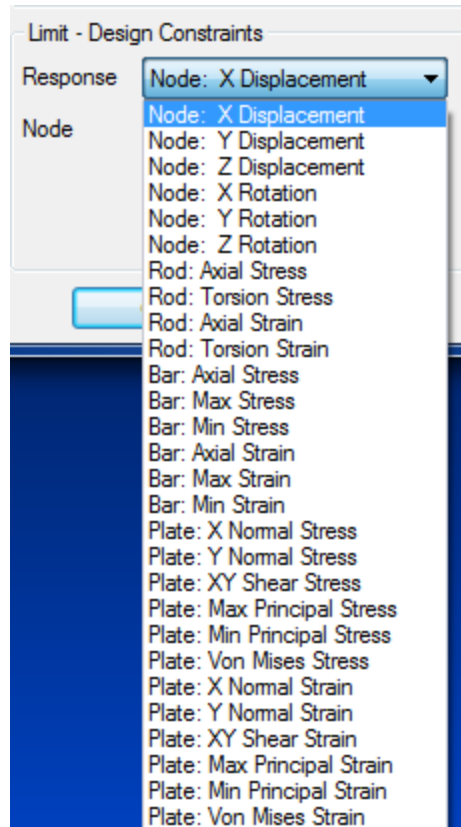


Слика 4.8



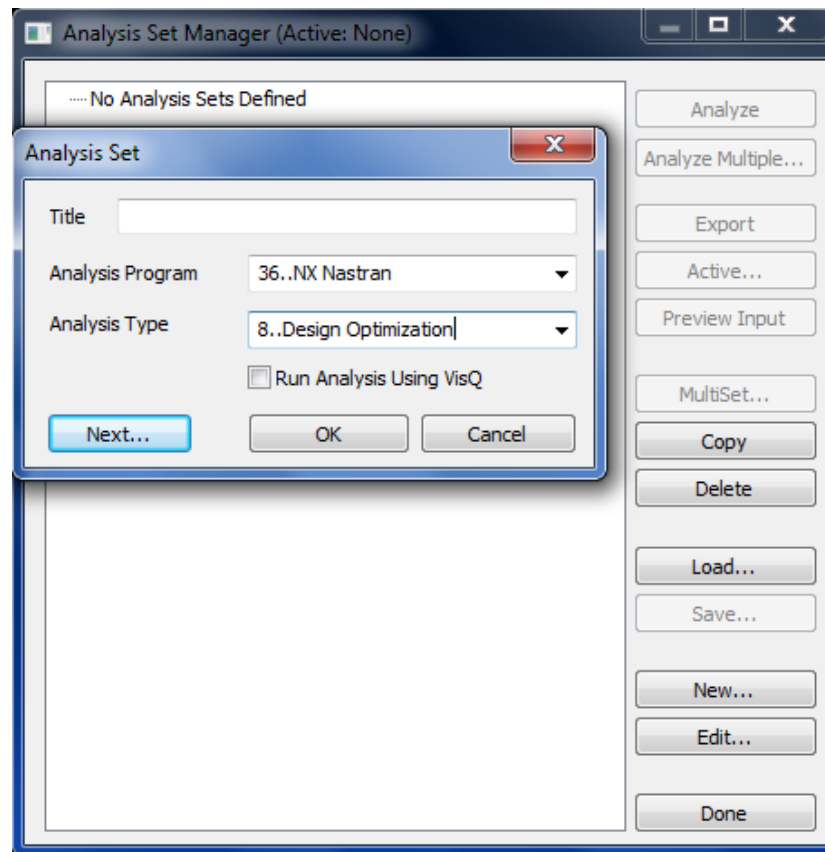
Слика 4.9

После дефинисања параметра који се оптимизује потребно је задати ограничења на основу којих се врши оптимизација. То су најчешће померања, напони и деформације. Селекувати опцију *Limit*, Слика 4.8. Селековањем опције *Limit* мења се прозор *DesignOptimization*, појављује се део *Limit – Design Constraints*, Слика 4.9. На падајућој листи *Response* селекувати жељено ограничење (Слика 4.10) и унети вредности *Maximum* и *Minimum*. Зависно од избора ограничења (*Response*) треба унети *ID* број чвора (*Node*) или *IDProperty* (Слика 4.9). Када су све вредности унете, треба кликнути на дугме *Add* (Слика 4.2). Дефинисани параметри биће приказани у *ListBox*-у – на левој страни дијалога *DesignOptimization*.

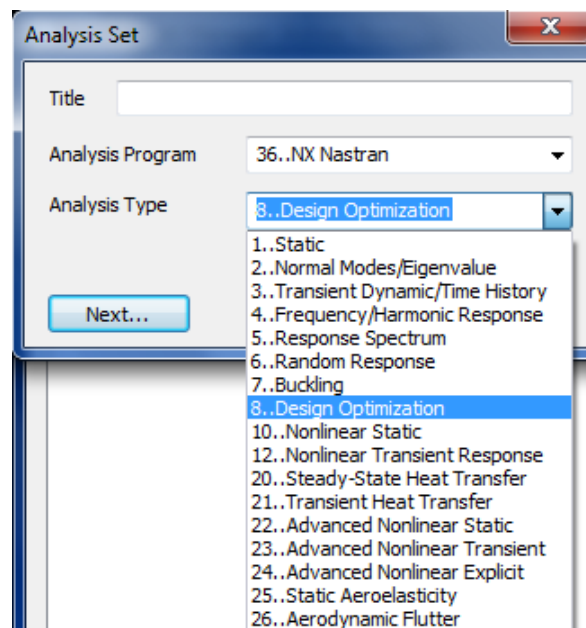


Слика 4.10

Након уноса свих потребних параметара, кликом на *ОК* (Слика 4.2) затвара се дијалог *DesignOptimization*. Потребно је још дефинисати тип анализе. Тип анализе се дефинише командом *Model>Analysis* након чега се отвара дијалог *AnalysisSetManager* (Слика 4.11). Кликот на дугме *New* отвара се дијалог *AnalysisSet* (Слика 4.11). За оптимизацију нападајућој листи *AnalysisType* изабрати опцију *8.DesignOptimization* (Слика 4.12). Модел је спреман за анализу. Оптимизација се покреће кликом на дугме *Analyze* (Слика 4.11).



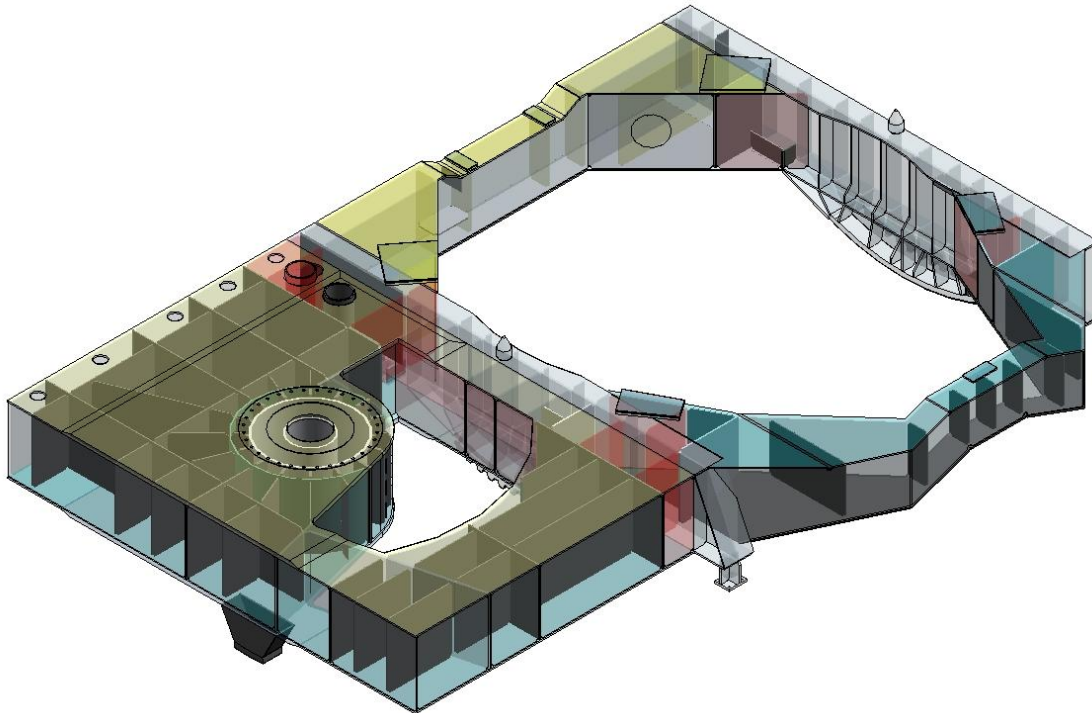
Слика 4.11



Слика 4.12

5. Оптимизација рама

Циљ оптимизације је да смањи тежина конструкције а да притом ефикасност остане иста. Смањивање тежине конструкције ће се остварити смањивањем дебљине делова конструкције. Модел коначних елемената рама је урађен у *FEMAP* софтверу коришћењем коначних елемената ђуски и *3D*. Геометрија рама је приказана на слици 5.1. Задатак је да се оптимизује EAF рам, тј. да се смањи тежина тако што ћемо оптимизовати дебљине делова рама.



Слика 5.1 Модел рама

5.1 Материјал и дозвољени напон

Рам је направљен од челика S355J2G3. Физичке и механичке карактеристике дате су у Табели 5.1.1.

Табела 5.1.1

Физичке карактеристике			
Челик	E [MPa]	ρ [kg/mm ³]	ν
S355J2G3	$2.1 \cdot 10^5$	$7.85 \cdot 10^{-6}$	0.3
Механичке карактеристике			
Челик	R_e [MPa]	R_m [MPa]	
S355J2G3	355	510	

Дозвољени напони се одређују према стандарду DIN 15018 Part 1. Услови које треба да задовољи конструкција су:

- бројциклуса 108800
- опсегциклусанапора N1
- групанапона S3
- групаоптерећења B4
- фактор концентрације напона за заварене спојеве K2
- фактор концентрације напона за основни материјал W2.

Дозвољени напони за дату конструкцију према табели 17, DIN 15018 Part 1cy:

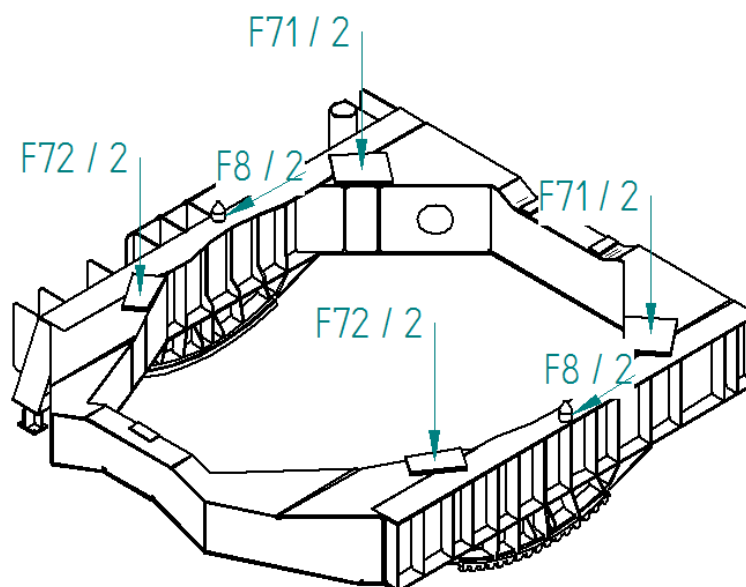
- за заварене спојеве - 126 MPa
- за основни материјал - 129.3 MPa.

5.2 Оптерећења

Анализирано је шест случајева оптерећења које конструкција треба да задовољи. Случајеви оптерећења су приказани на слици 5.2.1, а вредности сила дат су у табели 5.2.1.

Tabela 5.2.1 Вредности сила

F/M \ $LC [kN]$	$LC1$	$LC2a$	$LC2b$	$LC3$	$LC4$	$LC5$	$LC6$
F_{71}	0	2.720,500	3.220,500	2.720,500	2.720,500	2.203.393	0
F_{72}	0	2.720,500	3.220,500	2.720,500	2.720,500	2.533.902	0
$F_7 = 2 \cdot F_{71} + 2 \cdot F_{72}$	0	5.441,000	6.441,000	5.441,000	5.441,000	4.737.296	0
F_8	0	0	0	0	0	1.723.285	0



Слика 5.2

5.2.1 Случај оптерећења 1(LC1)

Преднапрезање конструкције од притезања завртњева.

Сила на завртњима (M48) $F_3 = 1193 \text{ kN}$

5.2.2 Случај оптерећења 2 (LC2a и LC2b)

а) Поклопац је подигнут изнад пећи у неутрални положај. Сила на горњим и доњим конусима је у правцу x осе.

Примењене силе:	На горњим и доњим конусима	$F_1 = 1359.91 \text{ kN}$
	Укупна тежина поклопца	$F_2 = 2000 \text{ kN}$
	Сила на завртњима	$F_3 = 1193 \text{ kN}$
	Укупна тежина горње конструкције	$F_7 = 5441 \text{ kN}$

б) Поклопац је спуштен у неутрални положај.

Примењене силе:	На горњим и доњим конусима	$F_1 = 1359.91 \text{ kN}$
	Укупна тежина поклопца	$F_2 = 1000 \text{ kN}$
	Сила на завртњима	$F_3 = 1193 \text{ kN}$
	Укупна тежина горње конструкције	$F_7 = 6441 \text{ kN}$

5.2.3 Случај оптерећења 3 (LC3)

Поклопац је подигнут изнад пећи и ротиран за 36.5° .

Примењене силе:	На горњим и доњим конусима	$F_1 = 1359.91 \text{ kN}$
	Укупна тежина поклопца	$F_2 = 2000 \text{ kN}$
	Сила на завртњима	$F_3 = 1193 \text{ kN}$
	Сила ротационог цилиндра	$F = 275.27 \text{ kN}$
	Момент ротационог цилиндра	$M = 403271 \text{ Nm}$
	Укупна тежина горње конструкције	$F_7 = 5441 \text{ kN}$

5.2.4 Случај оптерећења 4 (LC4)

Поклопац је подигнут изнад пећи и ротиран за 73° .

Примењене силе:	На горњим и доњим конусима	$F_1 = 1359.91 \text{ kN}$
	Укупна тежина поклопца	$F_2 = 2000 \text{ kN}$
	Сила на завртњима	$F_3 = 1193 \text{ kN}$
	Укупна тежина горње конструкције	$F_7 = 5441 \text{ kN}$

5.2.5 Случај оптерећења 5 (LC5)

Рам је нагнут за 20° .

Примењене силе:	На горњим и доњим конусима	$F_1 = 598.98 \text{ kN}$
	Укупна тежина поклопца	$F_2 = 1332.94 \text{ kN}$
	Сила на завртњима	$F_3 = 1193 \text{ kN}$
	Кочна сила	$F_c = 712.699 \text{ kN}$
	Укупна тежина горње конструкције	$F_7 = 4737.296 / F_8 = 1723 \text{ kN}$

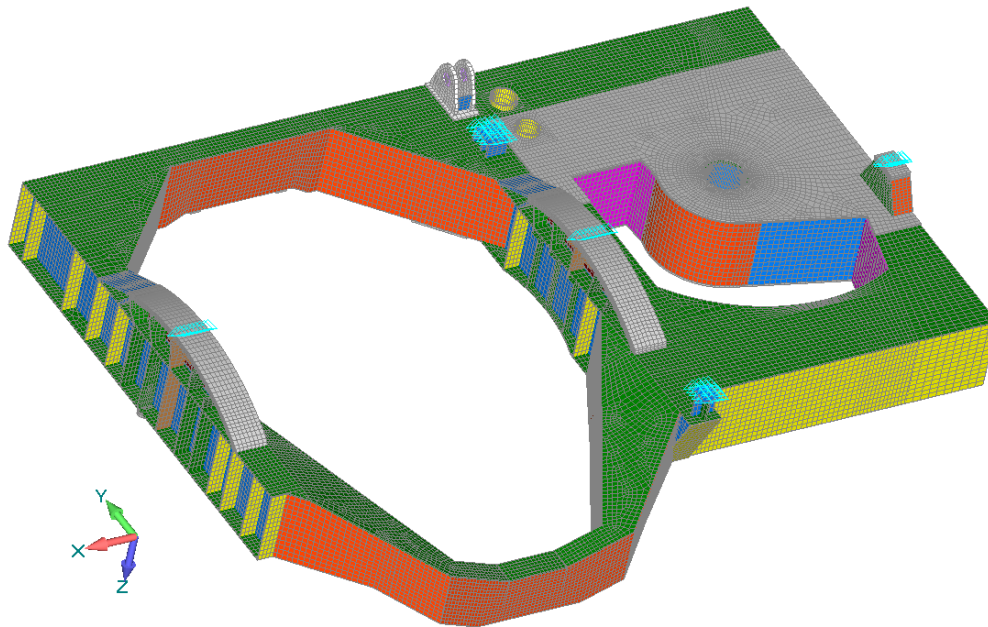
5.2.6 Случај оптерећења 6 (LC6)

Вратасу подигнута уз помоћ три хидраулична цилиндра до одређене тачке.

Примењене силе:	Сила у тачки А + тежина конуса	$F_6 = 199.6 + 71.3 \text{ kN}$
	Сила у тачки В	$F_5 = 566.0 \text{ kN}$
	Тежина горњег конуса	$F_4 = 463.2 \text{ kN}$
	Сила на завртњима	$F_3 = 1193 \text{ kN}$

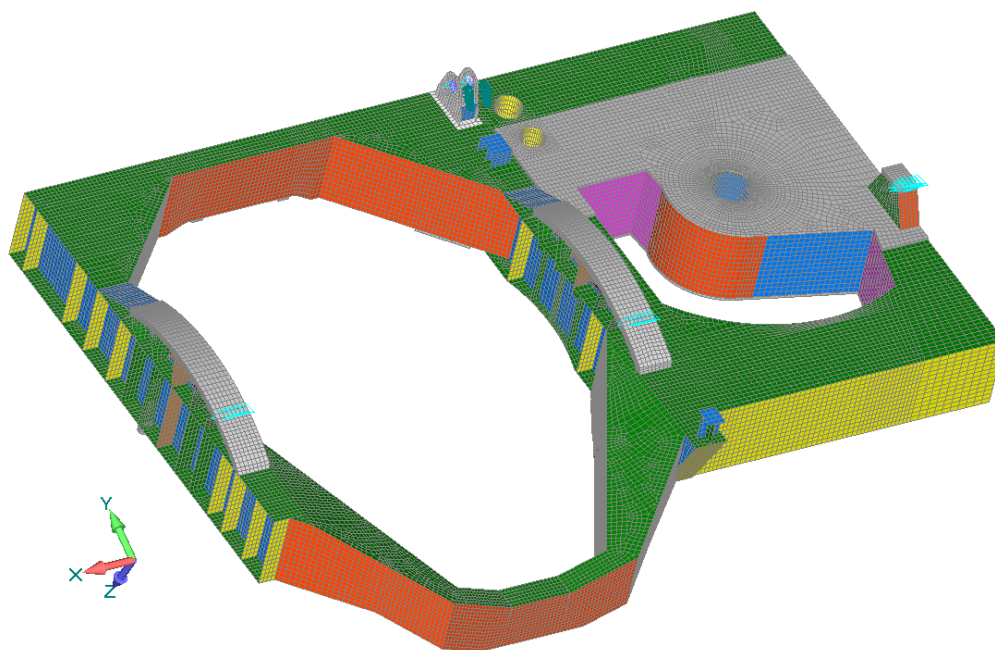
5.3 Гранични услови

За случајеве оптерећења LF1, LF2, LF3, LF4 и LF6 конструкција је ослоњена на кружне и помоћне подупираче (Слика 5.3).



Слика 5.3 Гранични услови

За случај оптерећења LF5 конструкција је нагнута преко цилиндра за 20° и наслоњена на кружне подупираче (Слика 5.4).



Слика 5.4 Гранични услови

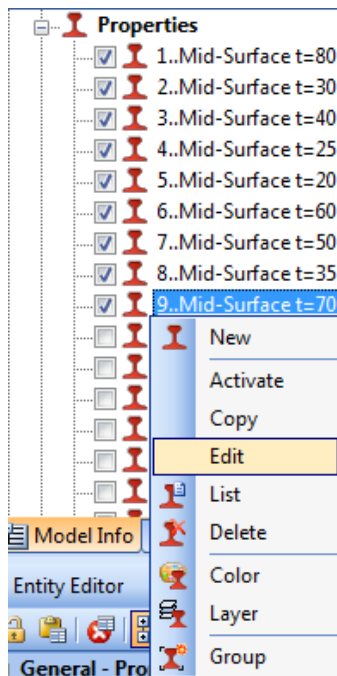
5.4 Оптимизација

Урађена је оптимизација делова рама који су у моделу дефинисани са *Property* 1,2,3,4,5,7,8,9 и 17. Границе дебљина одговарајућих *Property*-ја приказане су у табели 5.2. Максималне вредности у табели су дебљине делова не оптимизованог рама.

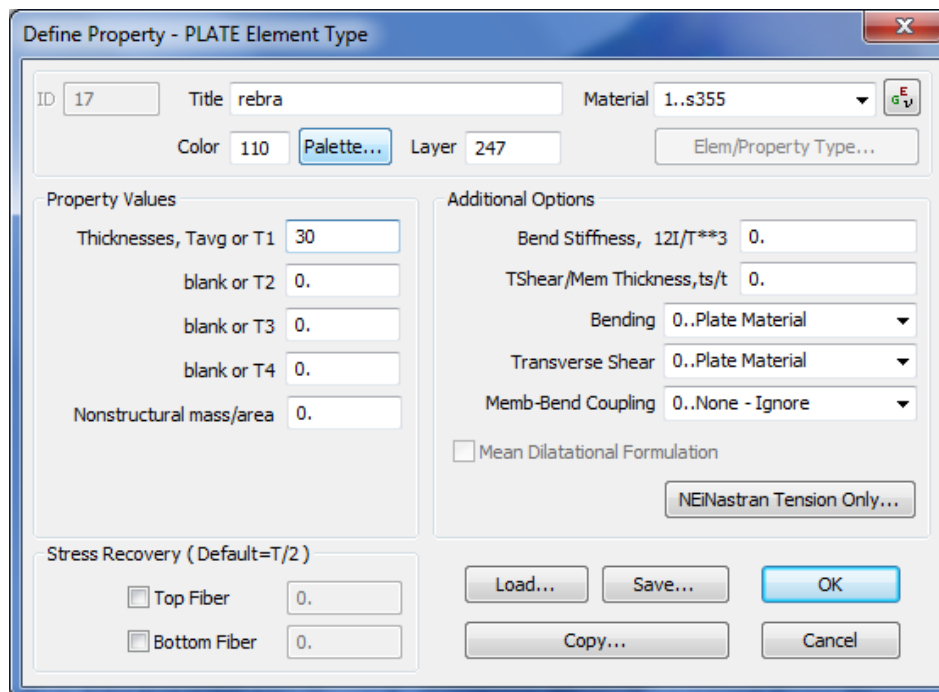
Табела 5.2 Граничне вредности дебљина

<i>Property</i>	Максимална вредност	Минимална вредност
1	90	60
2	35	20
3	45	20
4	30	15
5	25	10
7	60	30
8	40	20
9	80	50
17	60	30

Први корак у оптимизацији је промена дебљине елемената у конструкцији на минималне вредности из табеле 5.2. Промена дебљине *Property*-ја 17 је приказана на сликама 5.5 и 5.6.

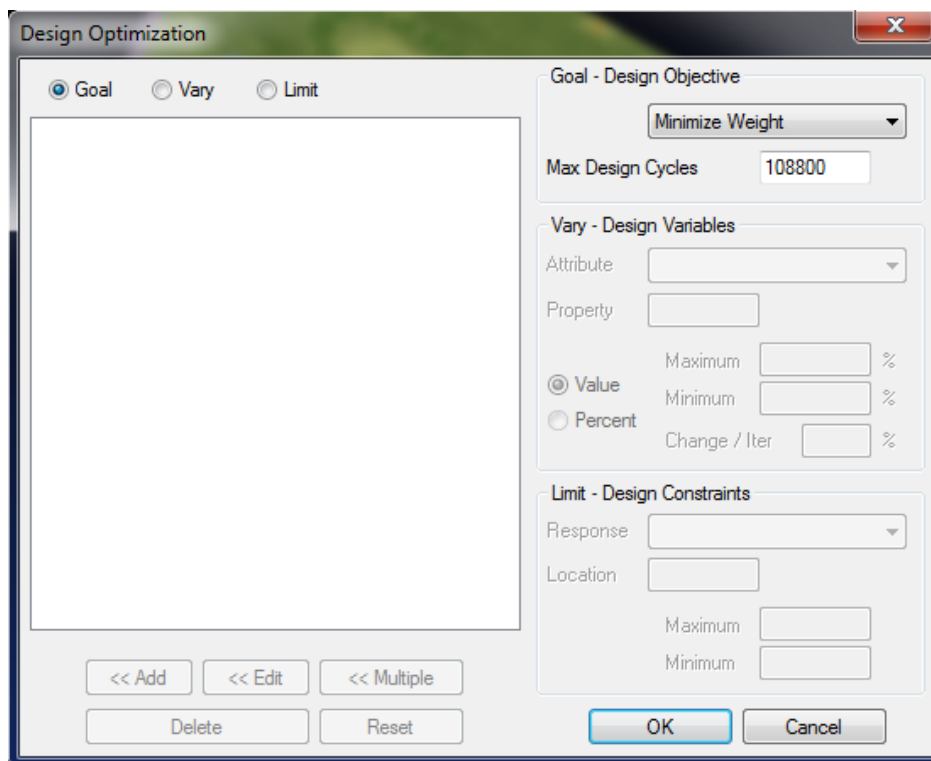


Слика 5.5 Едитовање Property-ја 17



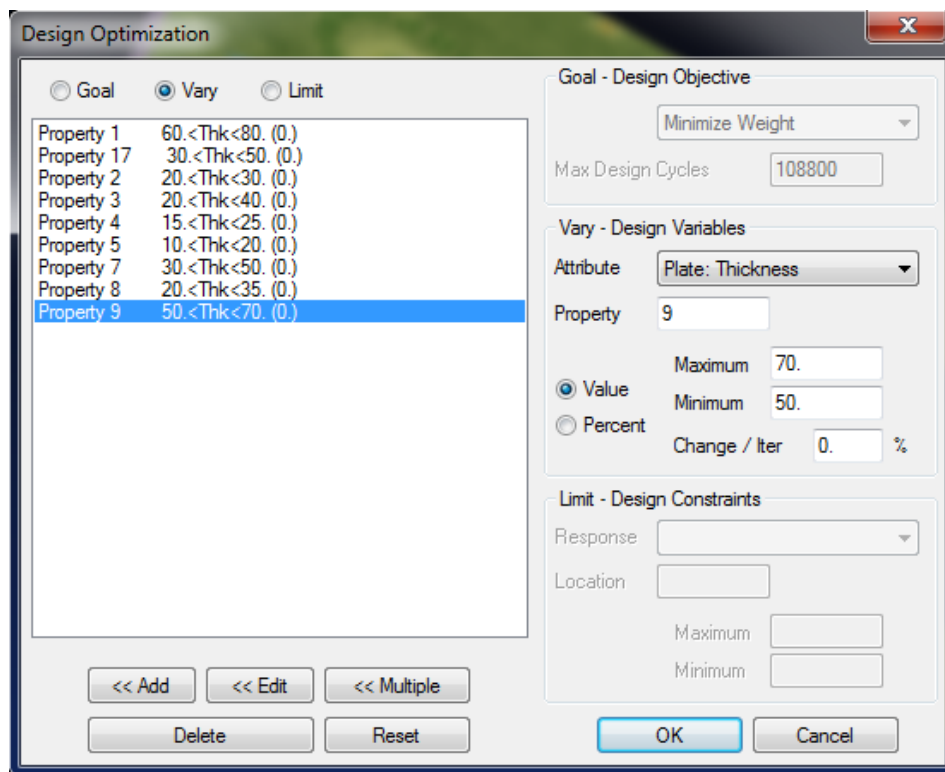
Слика 5.6 Дијалог Define Property

Након промене дебљине љуски, потребно је дефинисати параметре оптимизације. Командом *Mode>Optimization* отвара се дијалог *Design Optimization* приказан на слици 5.7.

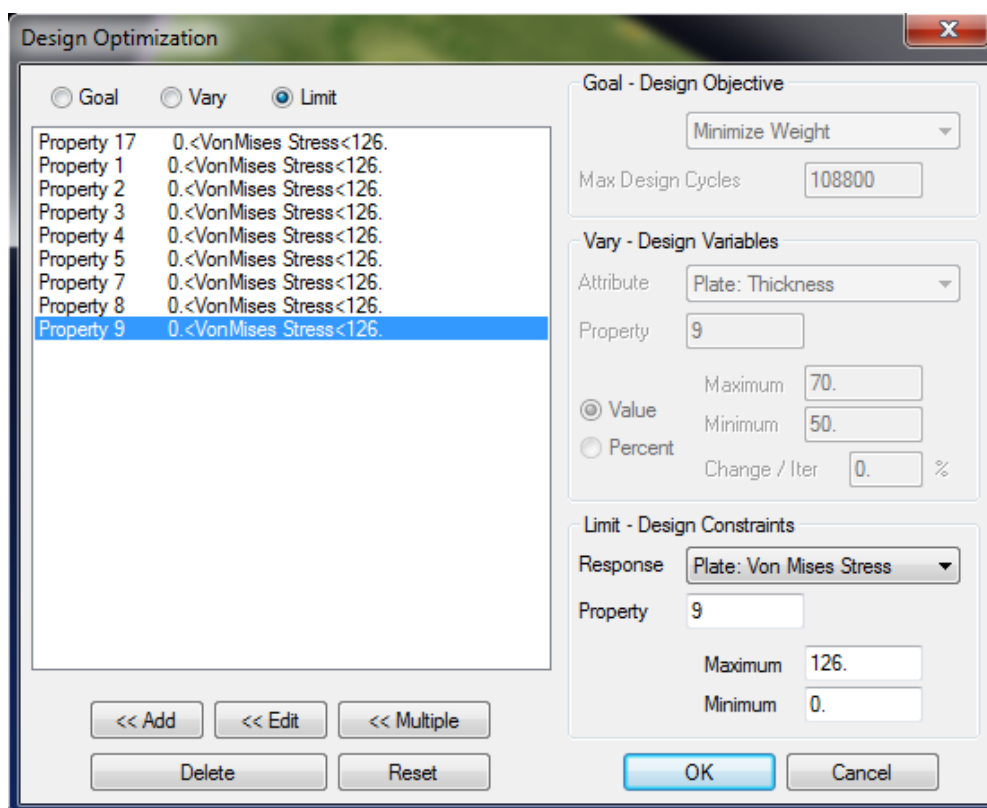


Слика 5.7

У дијалогу *Design Optimization* уноси се максималаног броја циклуса (*Max Design Cycles*) 108800, слика 5.7. Кликном на *Vary* постаје доступан део *Vary – Design Variable* дијалога *Design Optimization*, слика 5.8. У *Vary – Design Variables* делу прво селекујемо атрибут (за рам *PlateThickness*) а затим уносимо максималну и минималну вредност изабраног параметра и ID параметра. ID *Property*-ја, максималне и минималне вредности које треба унети су дате у табели 5.2. Сваки пут када се зада вредност за *Property*, потребно је кликнути на дугме *Add* након чега се *Property* са границама приказује у *ListBox*-у са леве стране дијалога *Design Optimization* (Слика 5.8). Након уноса одговарајућих параметра у *Vary*, прелазимо у део за задавање ограничења *Limit* (Слика 5.9). На падајућој листи *Response* селекујемо жељено ограничење, за рам *Plate:VonMises Stress* (Слика 5.9) и унети вредности *Maximum* и *Minimum*. Минимална вредност је 0 а максимална вредност је 126. Максимална вредност је вредност дозвољеног напона која је одређенау поглављу 5.1. Након унетих вредности можемо изабрати опцију *Multiple* којом селекујемо све ID *Property* које оптимизијемо (*Property 1,2,3,4,5,7,8,9* и *17*). Опцију *Multiple* можемо користити зато што су једнаке минималне и максималне вредности напоназа све *Property*-је. Дефинисани параметри биће приказани у *ListBox*-у – на левој страни дијалога *DesignOptimization* (Слика 5.9). Командом *OK* затварамо прозор *DesignOptimization*.

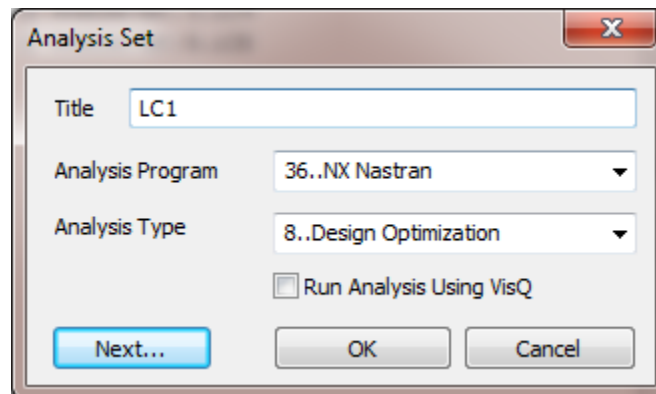


Слика5.8



Слика5.9

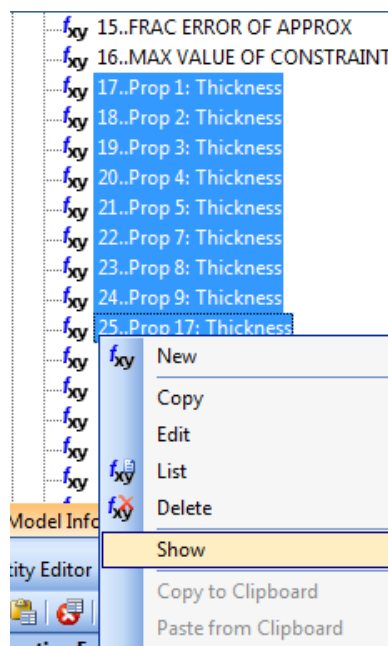
Потребно је још дефинисати тип анализе. Тип анализе се дефинише командом *Model>Analysis* након чега се отвара дијалог *AnalysisSetManager* (Слика 4.11). Кликот на дугме *New* отвара се дијалог *AnalysisSet* (Слика 5.10). За оптимизацију на падајућој листи *AnalysisType* изабрати опцију *8.Design Optimization*. Модел је спреман за анализу. Оптимизација се покреће кликом на дугме *Analyze* (Слика 4.11).



Слика 5.10

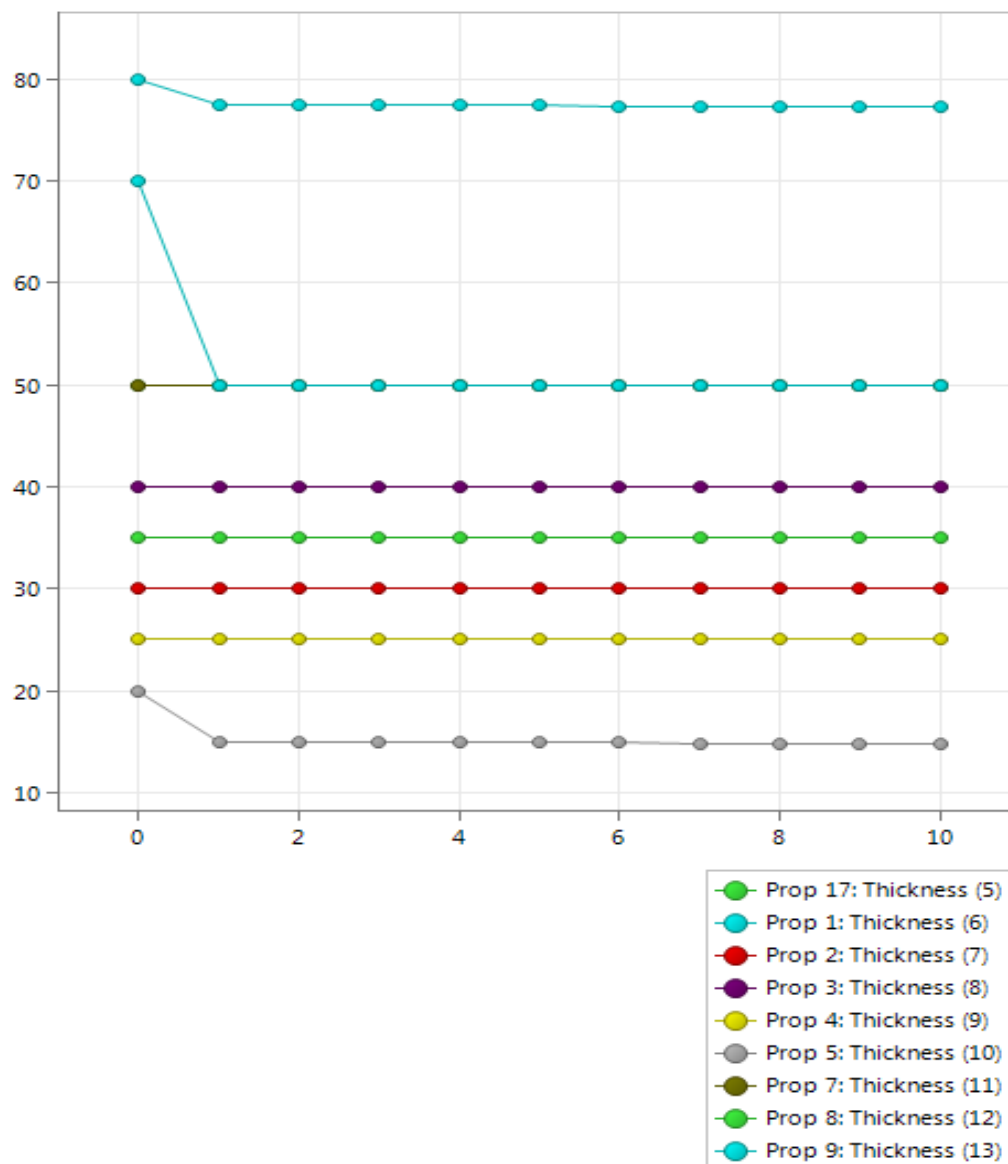
Рам је анализирана за шест случајева оптерећења. Да би могли да урадимо оптимизацију рама потребно је урадити оптимизацију за сваки случај оптерећења.

Резултати оптимизације се чувају као функције промене дебљине љуске у итерацији. Функције добијене након анализе се могу видети у стаблу са леве стране прозора *FEMAP*, као што је приказано на слици 5.11.

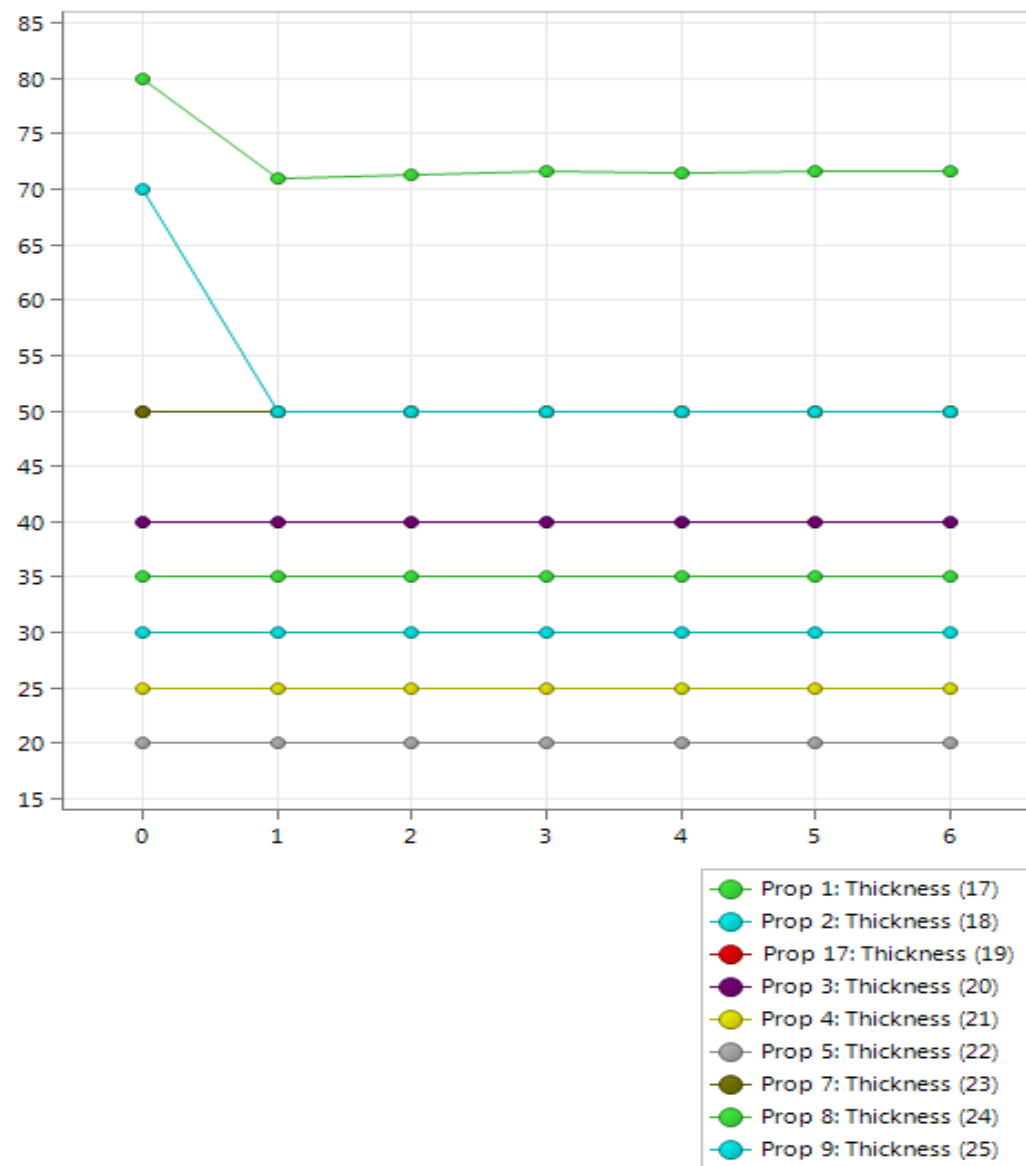


Слика 5.11

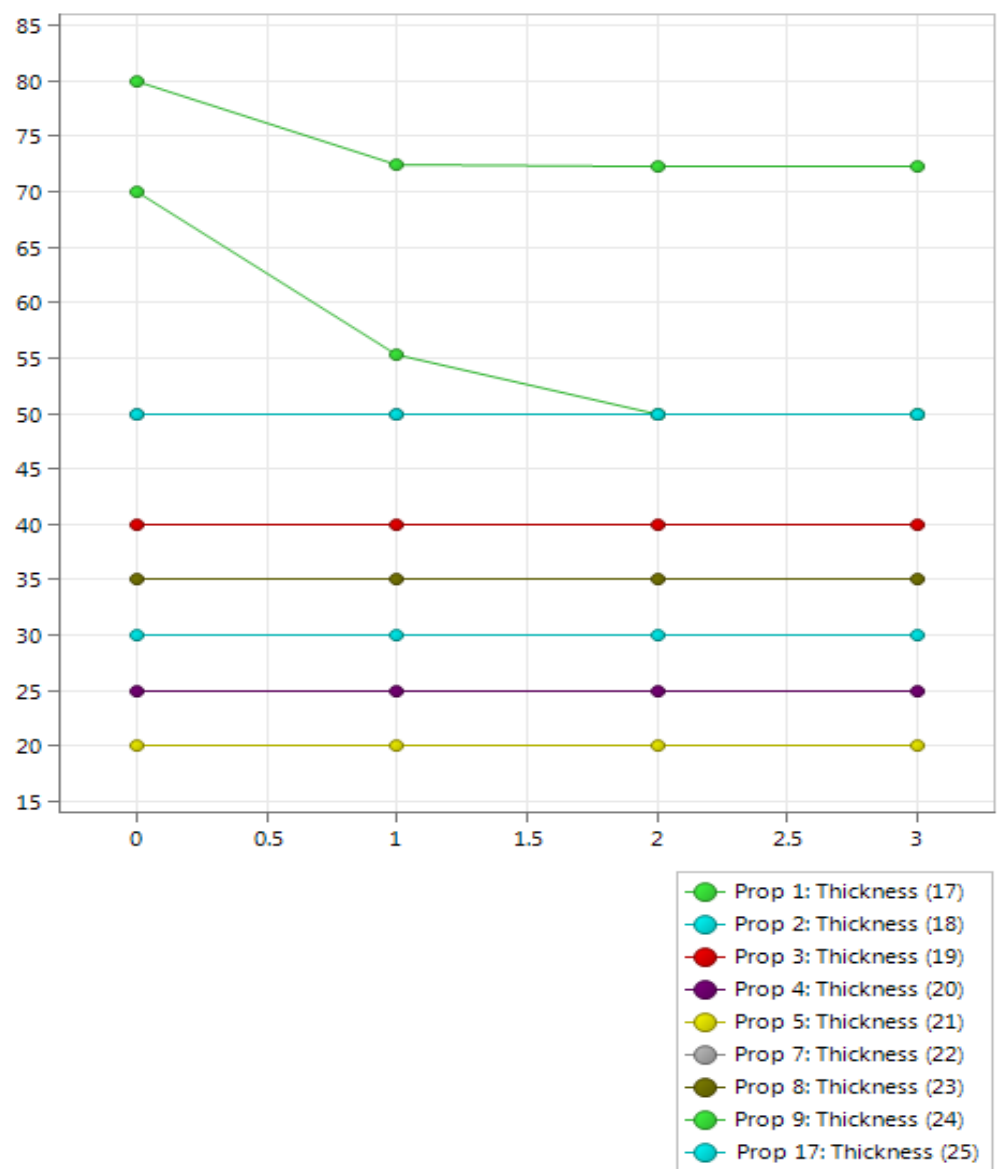
Да би приказали дијаграме функција свих *Property*-ја потребно је прво селектовати функције у стаблу а затим кликом на десни тастер миша на падајућем менију селектовати *Show* (Слика 5.11). Дијаграми промене дебљине *Property*-ја за анализиране случајеве оптерећења приказани су на сликама 5.12 – 5.17.



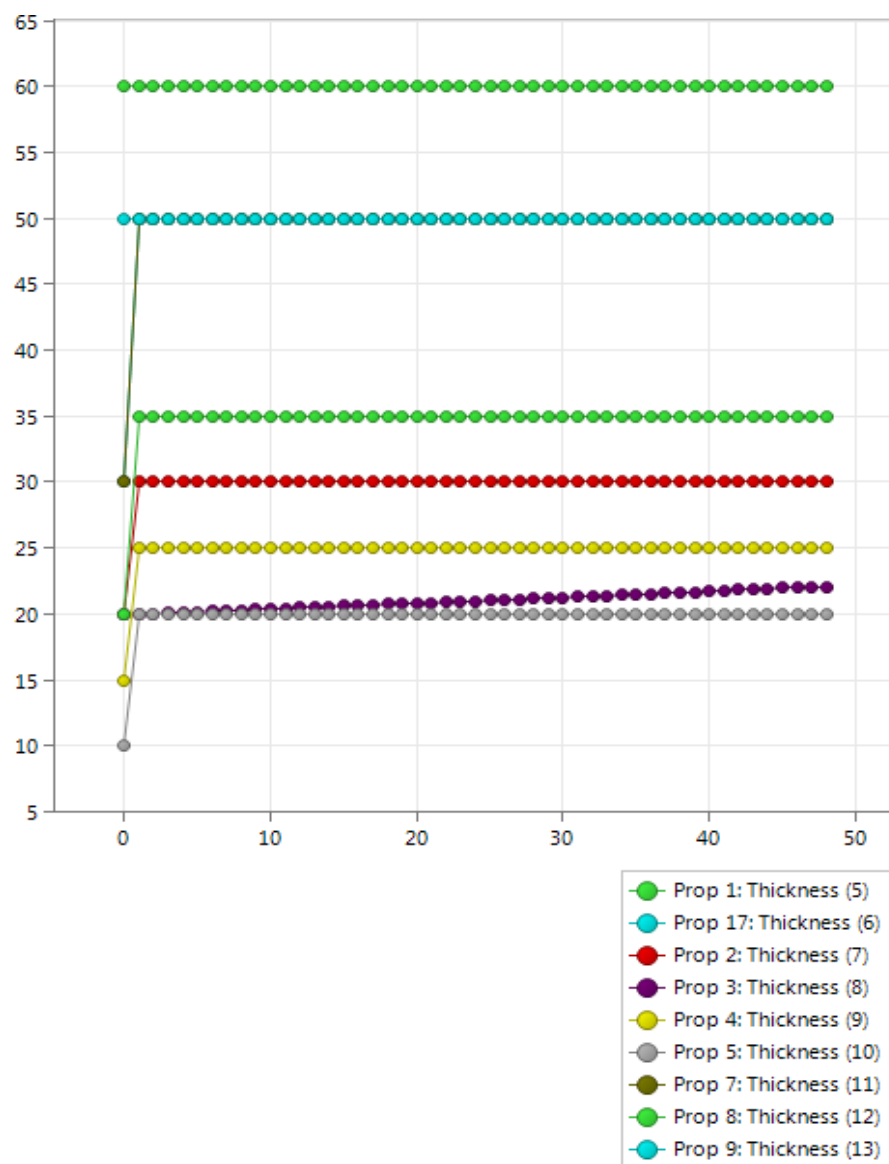
Слика5.12 LC2a



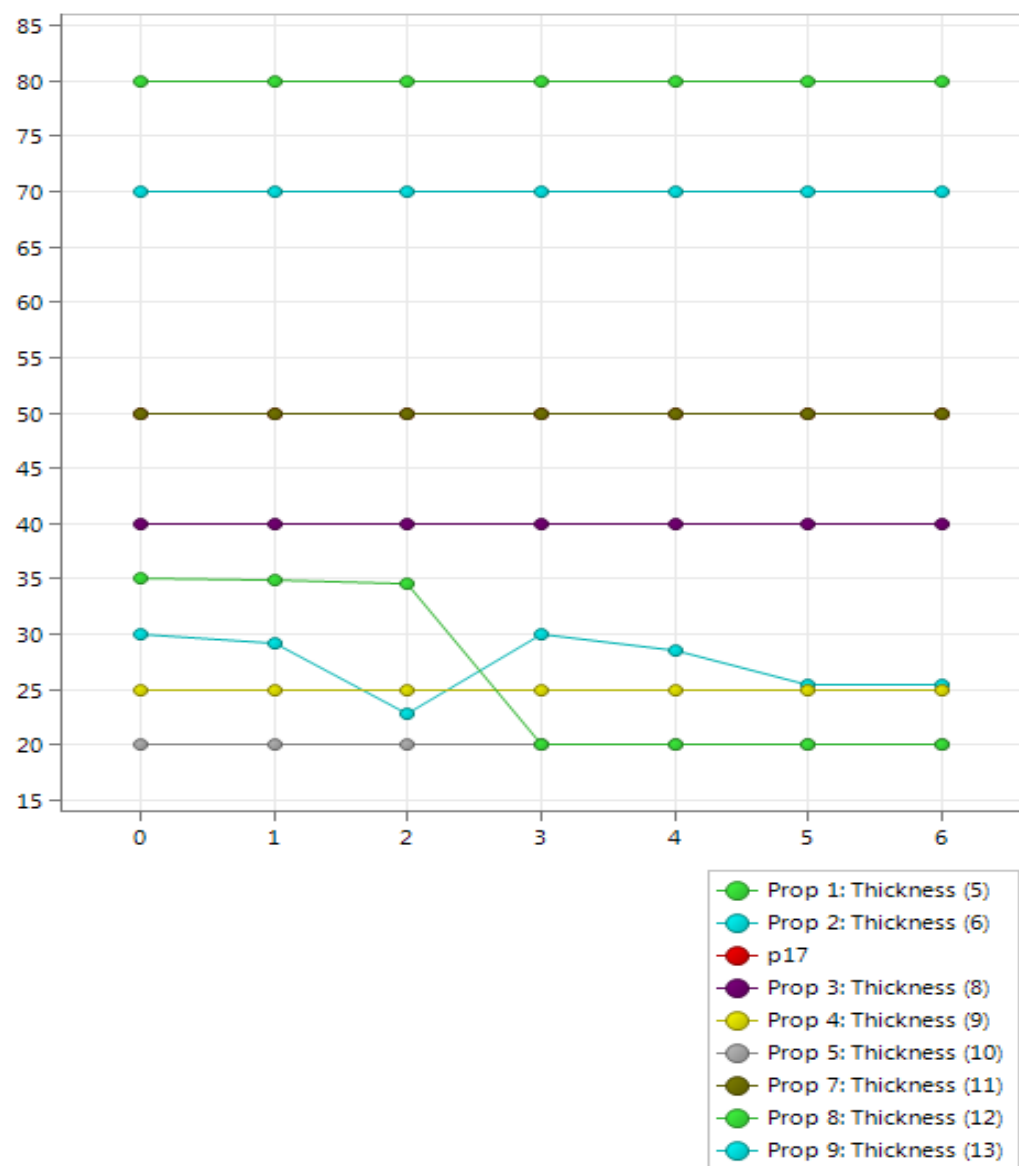
Слика5.13 LC2b



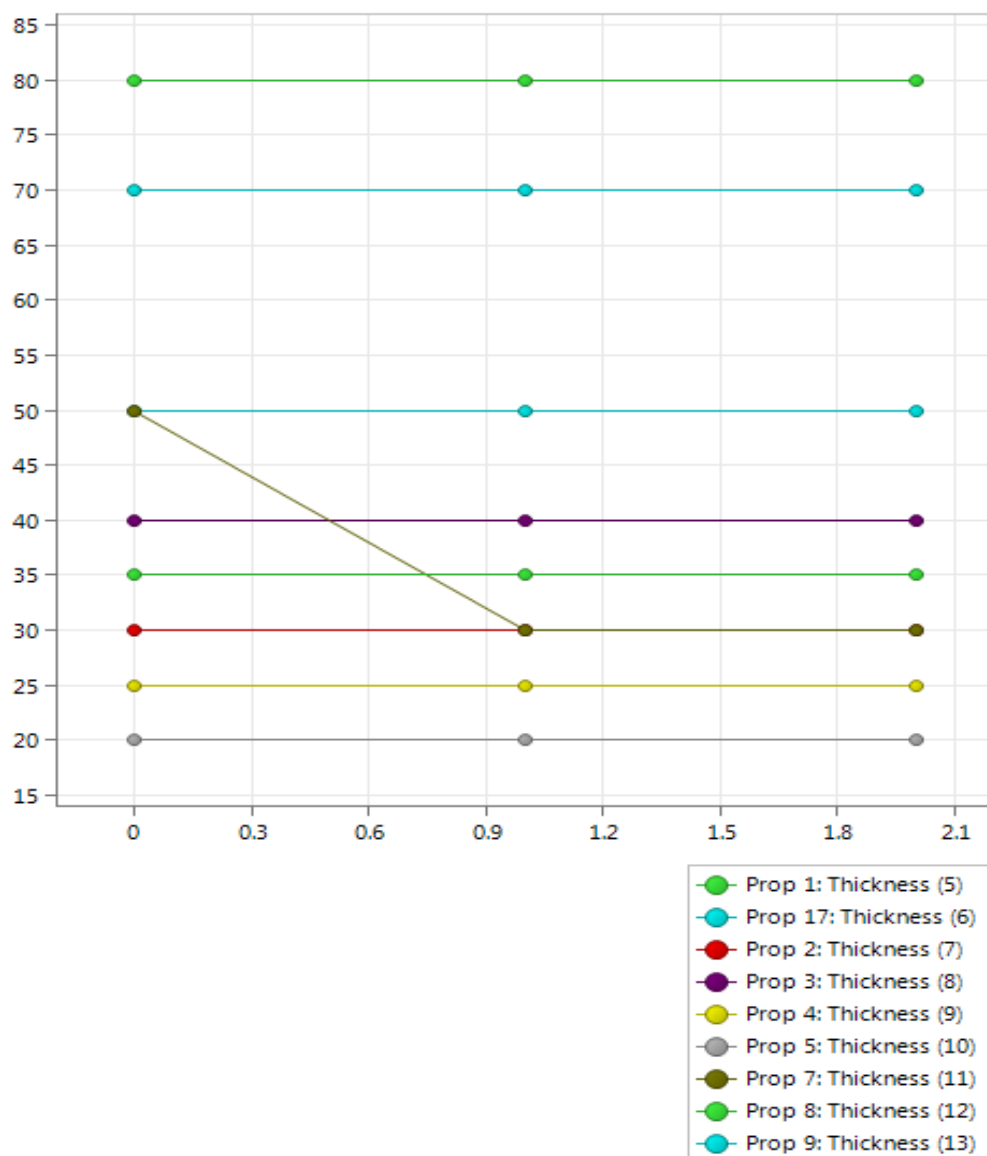
Слика5.14 LC3



Слика5.15 LC4



Слика5.16 LC5



Слика5.17

У табели 5.3 приказани су резултати дебљина елемената за сваки случај оптерећења.

Табела5.3 Дебљине добијене оптимизацијом

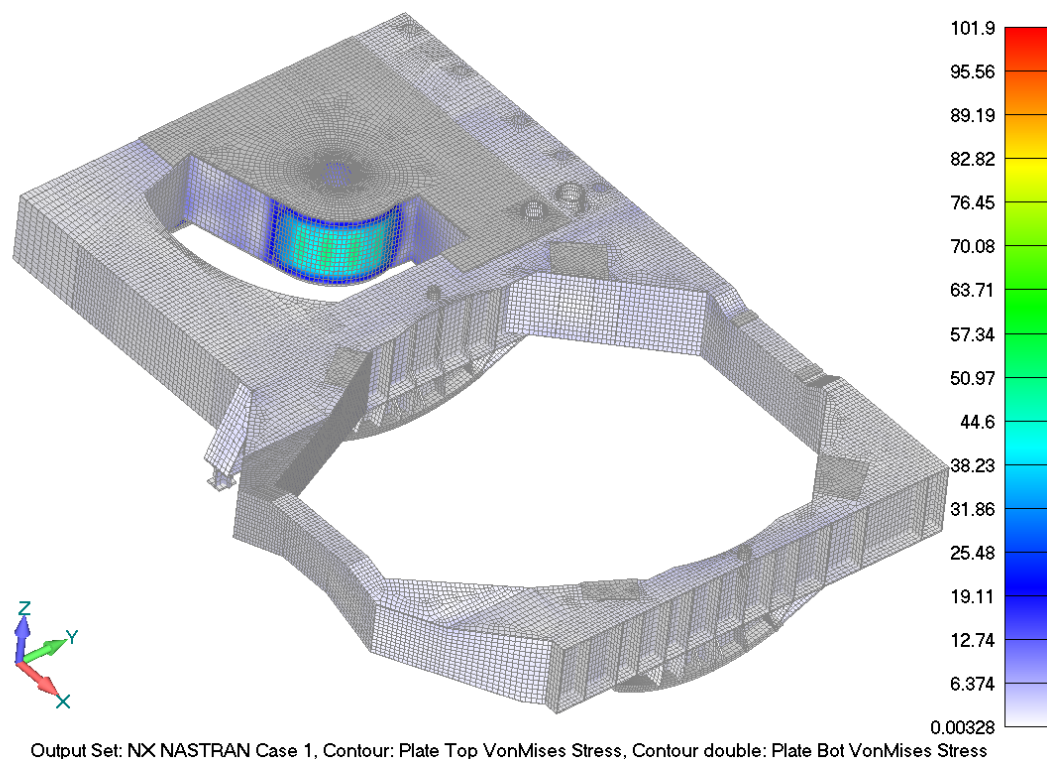
Property	LC2a	LC2b	LC3	LC4	LC5	LC6
1	78	72	72	60	80	80
2	30	30	30	30	25	30
3	40	40	40	22	40	40
4	25	25	25	25	25	25
5	15	20	20	20	20	20
7	50	50	50	50	50	50
8	35	35	35	35	20	30
9	50	50	50	50	70	50
17	50	50	50	50	50	50

На основу резултата оптимизације усвајају се дебљине плоча које задовољавају све случајеве оптерећења. Усвајају се максималне вредности из табеле 5.3. Усвојене дебљине су приказане у табели 5.4.

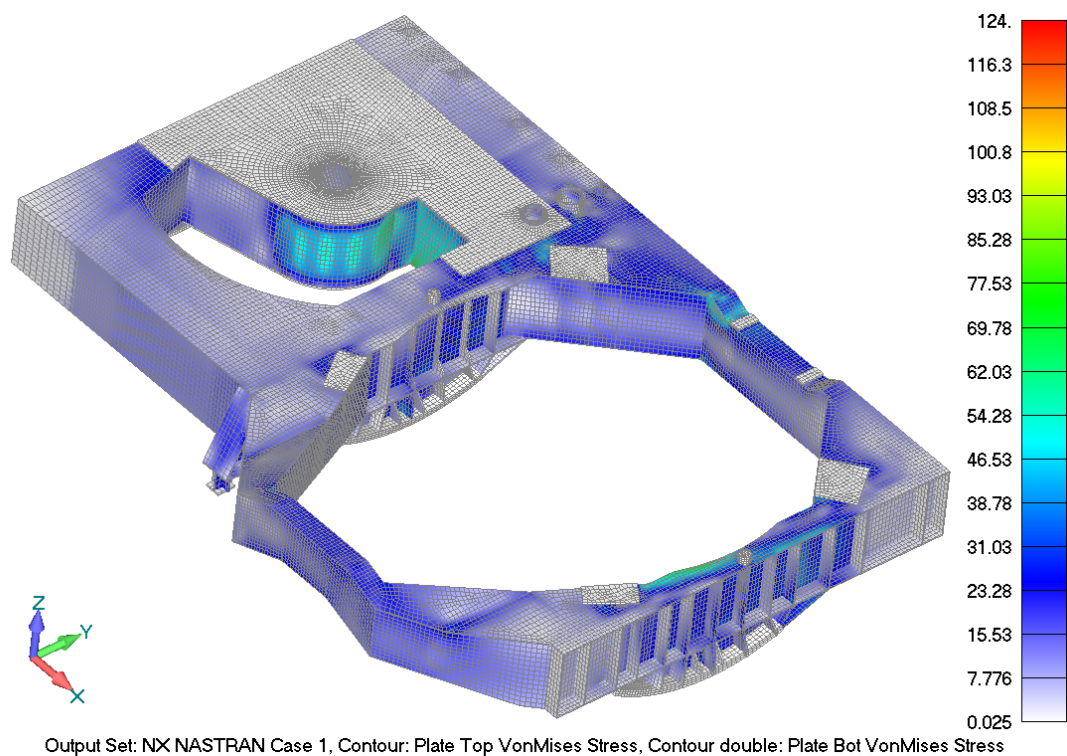
Табела 5.4 Усвојене дебљине

Property	Усвојенедебљине
1	80
2	30
3	40
4	25
5	20
7	50
8	35
9	70
17	50

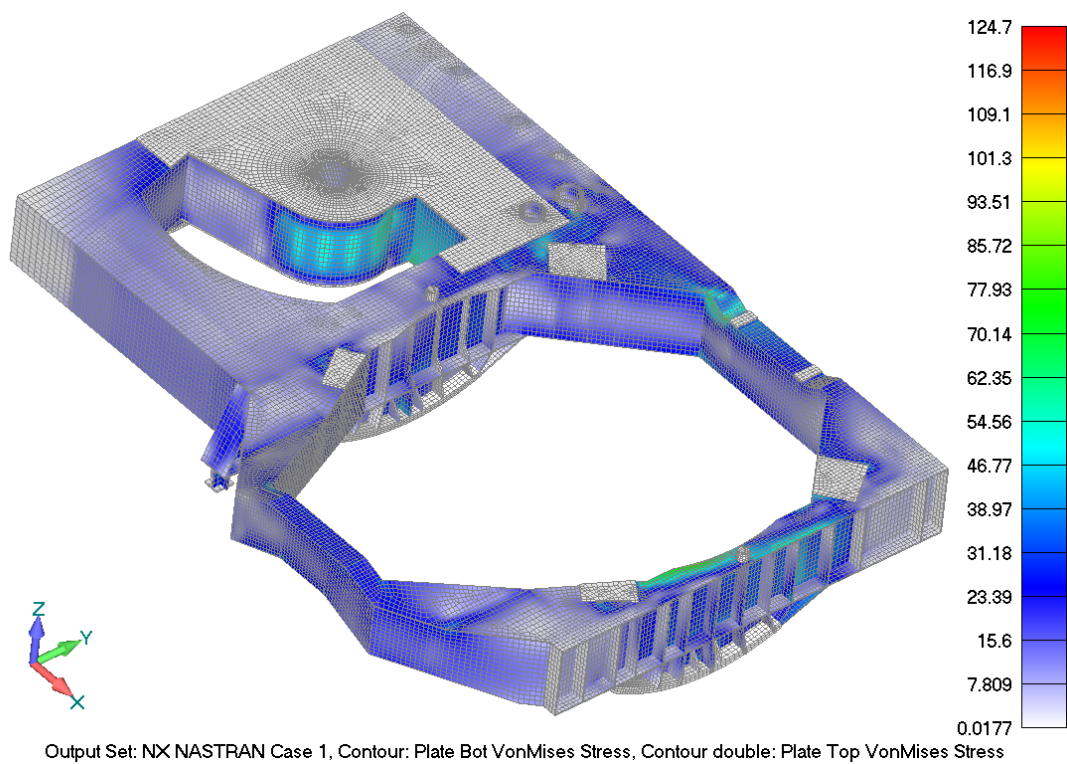
На сликама 5.18 – 5.31 приказано је поље еквивалентног von Mises напон оптимизованог EAF рама за све случајеве оптерећења 1(LC1-LC6). Са слика се види да напон не прелази дозвољени напон који смо задали у оптимизацији као ограничење.



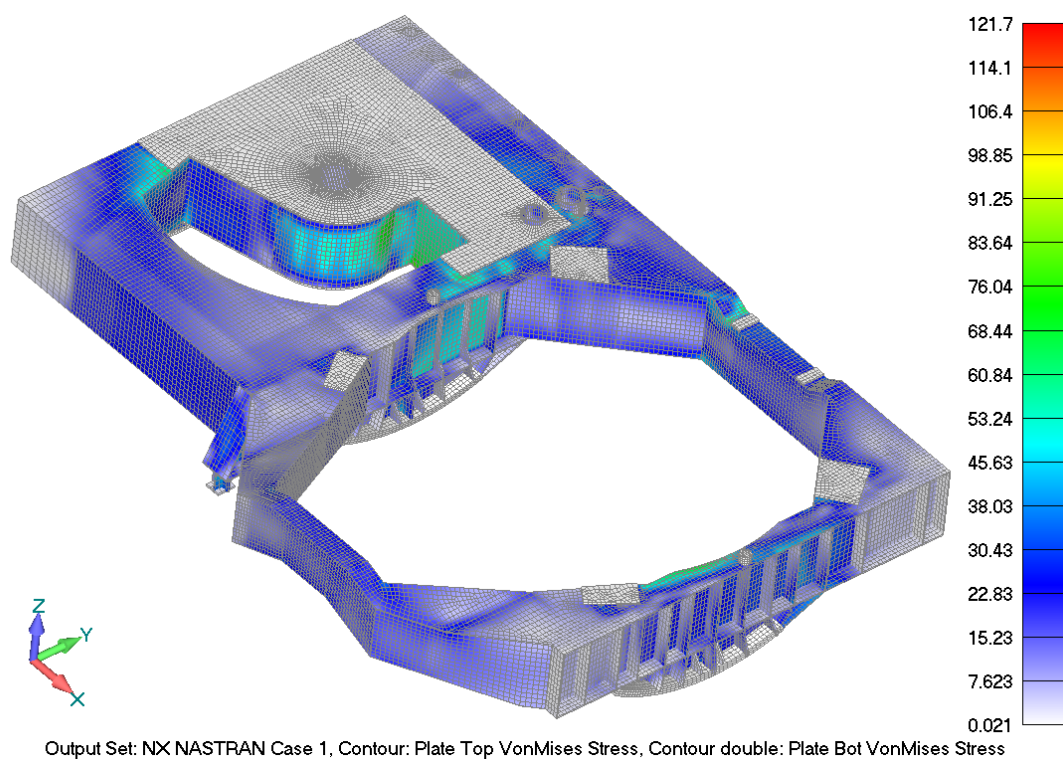
Слика 5.18 Поље еквивалентног von Mises напон за случај оптерећења LC1



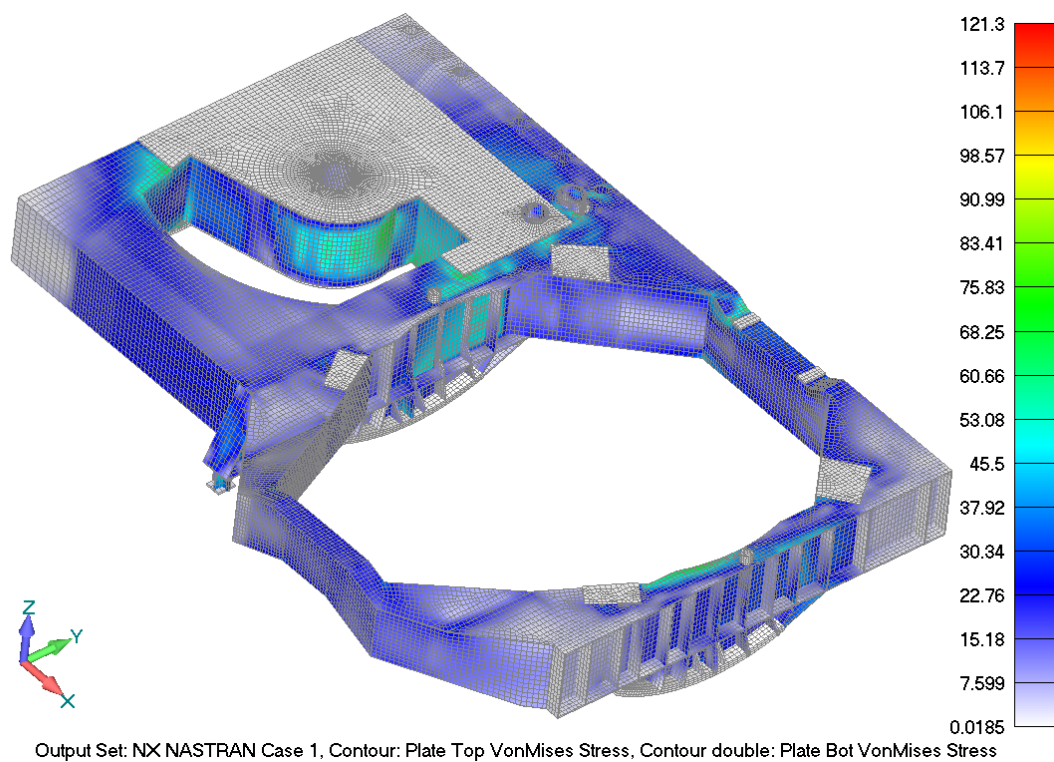
Слика5.19 Поље еквивалентног von Misse напон за случај оптерећења LC2a



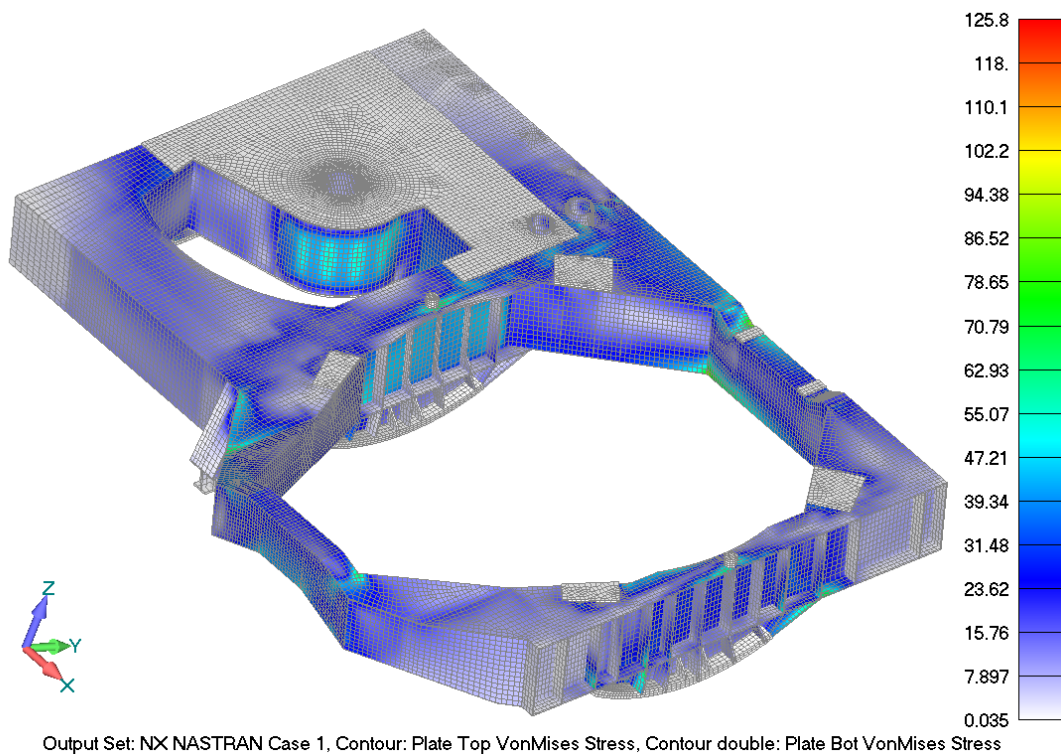
Слика5.20 Поље еквивалентног von Misse напон за случај оптерећења LC2b



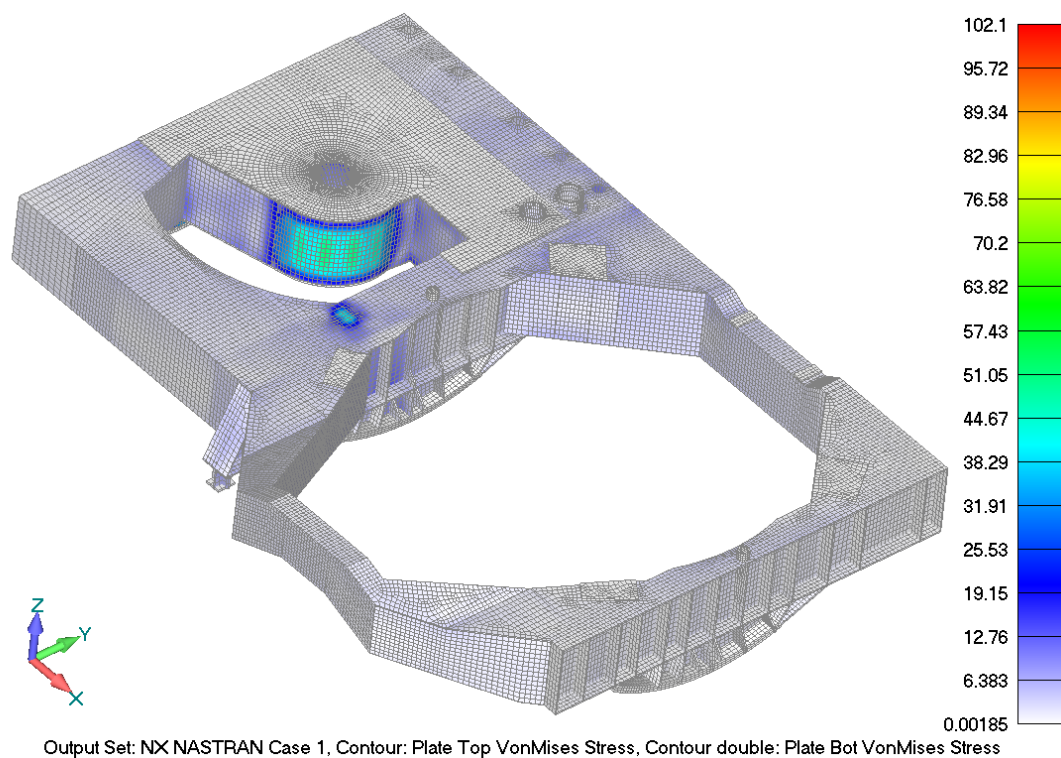
Слика5.21 Поље еквивалентног von Misse напон за случај оптерећења LC3



Слика5.22 Поље еквивалентног von Misse напон за случај оптерећења LC4



Слика5.23 Поље еквивалентног von Misse напон за случај оптерећења LC5



Слика 5.24 Поље еквивалентног von Misse напон за случај оптерећења LC6

6. Закључак

Типични инжењерски системи описани су са веома великим бројем променљивих тако да је задатак конструктора да дефинишу одговарајуће вредности за дате променљиве. Вешти конструктори користе своје знање, искуство и логику да дефинишу дате променљиве и да дизајнирају ефикасне инжењерске системе. Због величине и комплексности типичног задатка приликом дизајнирања конструктори нису у могућности да узму у обзир све променљиве истовремено.

Методе оптимизација омогућавају тражење најповољнијих решења различитих проблема. Најчешће се користе методе линеарне оптимизације које омогућавају налажење решења проблема и функција, тј. величина коју желимо оптимизовати. Код свих метода заједничко је то да је потребно формулисати модел проблема, анализирати могуће варијанте решења и међу њима пронаћи најповољније решење по одабраном критеријуму.

У раду је урађена оптимизација EAF рама са циљем смањења тежине. Оптимизација је урађена за шест случајева оптерећења. Након оптимизације сваког случаја оптерећења усвојене су дебљине елемената које испуњавају задато ограничење за све случајеве оптерећења. Укупна тежина EAF рама пре оптимизације је била 128973kg. Након оптимизације успели смо да смањимо тежину конструкције на 112074kg. Тежина рама је смањена за 13,1 %.

Литература

- [1] M. Kojić, M. Živković, R. Slavković, and N. Grujović, "Metod konačnih elemenata", Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija, 1998.
- [2] Femap & NX Nastran
- [3] DIN 15018 Part 1 – Cranes; steel structures, verification and analyses.
- [4] R. Roy, S. Hinduja, Teti R, "Recent advances in engineering design optimization: Challenges and future trends", CIRP Ann Manuf Technol, Vol. 57, pp. 697–715, (2008)
- [5] Z. Pahlavani, R. Ebrahimi, "Optimization of specific die profiles in thin walled tube extrusion", Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering, Vol. 37, No. M2, pp. 203-215, (2013)
- [6] M. Savković, M. Gašić, D. Čatić, R. Nikolić, G. Pavlović, "Optimization of the box section of the main girder of the bridge crane with the rail placed above the web plate", StructMultidiscip O, Vol 47, pp. 273-288, (2013)
- [7] M. Firl, R. Wüchner, K. U. Bletzinger, "Regularization of shape optimization problems using FE-based parametrization", StructMultidiscip O, Vol 47, pp. 507-521, (2013)
- [8] B. Hassani, S. M. Tavakkoli, H. Ghasemnejad, "Simultaneous shape and topology optimization of shell structures", StructMultidiscip O, (2013)
- [9] S. Hertelé, W. De Waele, R. Denys, M. Verstraete, J. Van Wittenberghe, "Parametric finite element model for large scale tension tests on flawed pipeline girth welds", AdvEngSoftw Vol. 47, pp. 24–34, (2012)
- [10] S. Kitayama, M. Arakawa, K. Yamazaki, "Sequential approximate optimization for discrete design variable problems using radial basis function network", Appl Math Comput, Vol. 219, pp. 4143–4156, (2012)
- [11] D. Van Nguyen, "Global maximization of UTA functions in multi-objective optimization", Eur J Oper Res Vol. 228, pp. 397–404, (2013)
- [12] M. Ohsaki, "Design sensitivity analysis and optimization for nonlinear buckling of finite-dimensional elastic conservative structures", Comput Method Appl M Vol. 194, pp. 3331–3358, (2005)
- [13] J. París, F. Navarrina, I. Colominas, M. Casteleiro, "Stress constraints sensitivity analysis in structural topology optimization", Comput Method Appl M, Vol. 199, pp. 2110–2122, (2010)
- [14] Y. Luo, M. Y. Wang, Z. Kang, "An enhanced aggregation method for topology optimization with local stress constraints", Comput Method Appl M Vol. 254, pp. 31–41, (2013)
- [15] M.A. Hassan, W.J. Leong, M. Farid, "A new gradient method via quasi-Cauchy relation which guarantees descent", J ComputAppl Math Vol. 230, pp. 300–305, (2009)