



Машински факултет Универзитета у Нишу
Основне академске студије
Усмерење: Саобраћајно машинство транспорт и логистика

<http://pmilic.masfak.ni.ac.rs>

СТРУКТУРНА АНАЛИЗА КОНСТРУКЦИЈА

- ОСНОВНЕ ИНФОРМАЦИЈЕ О ПРЕДМЕТУ -

др Предраг Милић, доцент





Машински факултет Универзитета у Нишу
Основне академске студије
Предмет: Структурна анализа конструкција

<http://pmilic.masfak.ni.ac.rs>

ОСНОВНИ ПОДАЦИ О ИСПИТУ

Наставник: др Предраг Милић, доцент

Сарадник: Јован Павловић, асистент

ЕСПБ: 5

Фонад часова: 2 часа предавања / 2 часа вежбања

Година/Семестар: IV/8

Шифра предмета: Б.8.3-И.17-5





ПРЕДАВАЊА (теоријска настава) / ВЕЖБАЊА (практична настава)

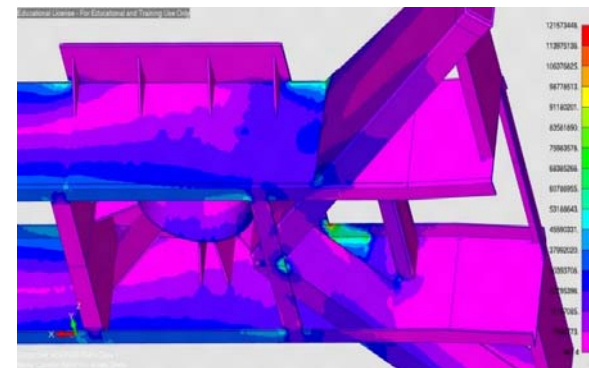
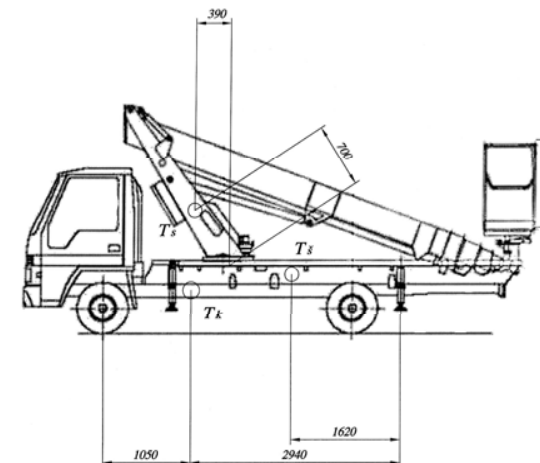
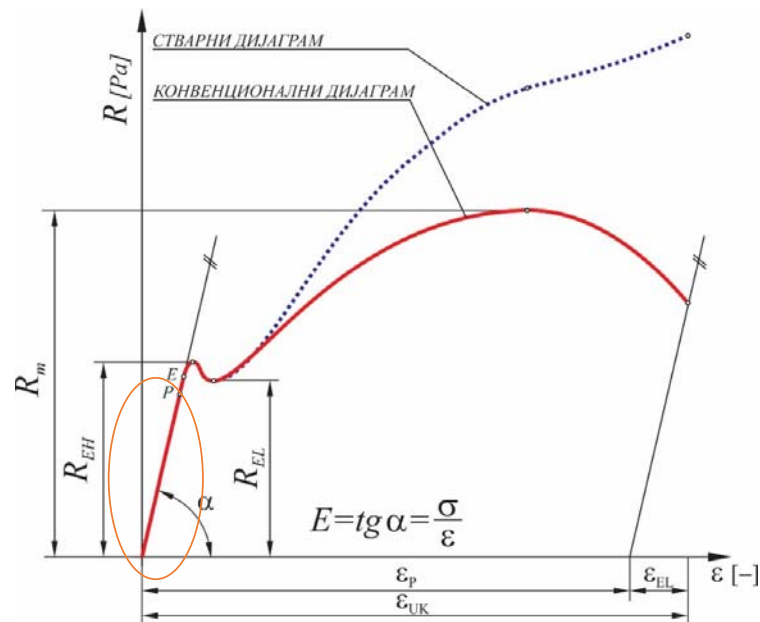
1.0 Основе линеарне методе коначних елемената.

Основна једначина равнотеже:

$$KU = R$$

У обалсти важења Хуковог закона:

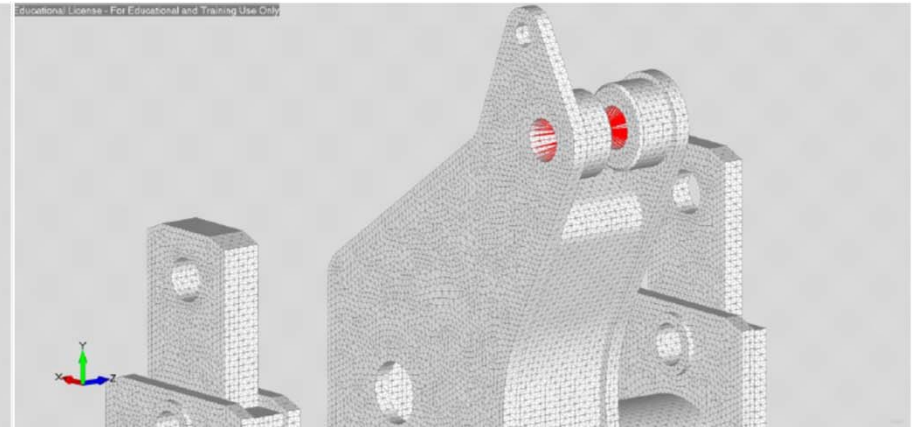
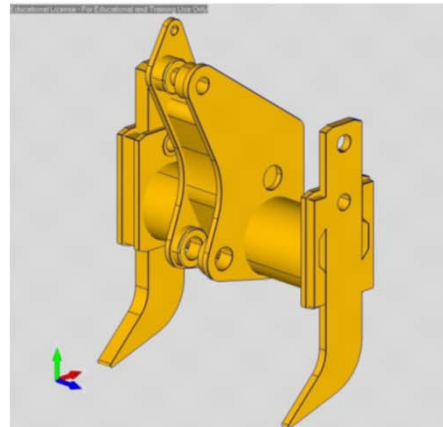
$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$





ПРЕДАВАЊА (теоријска настава) / ВЕЖБАЊА (практична настава)

1.0 Основе линеарне методе коначних елемената.



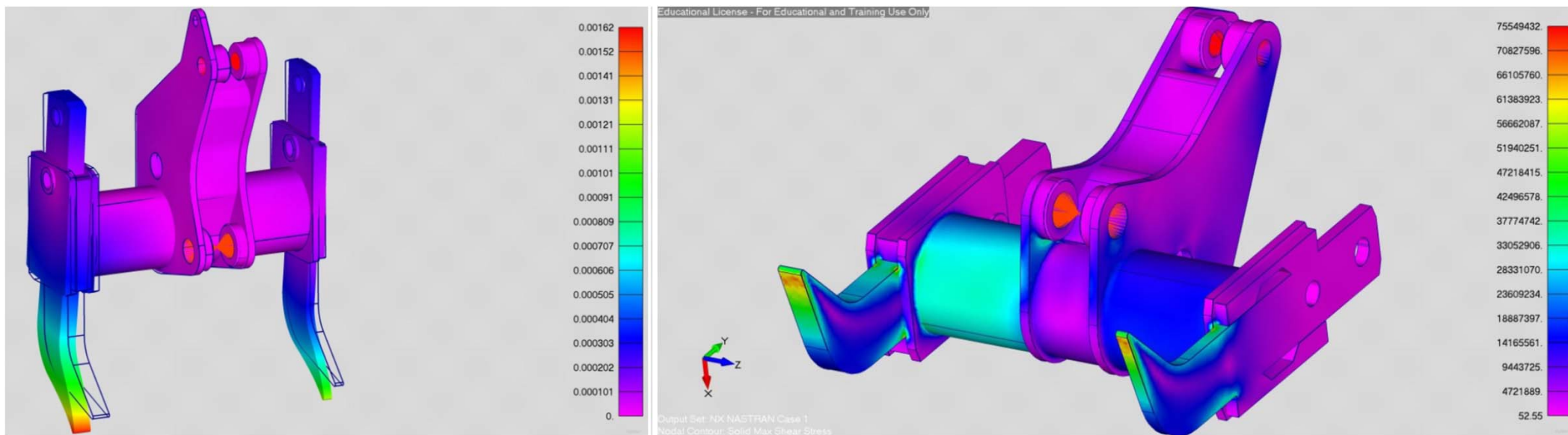
Модел рипера





ПРЕДАВАЊА (теоријска настава) / ВЕЖБАЊА (практична настава)

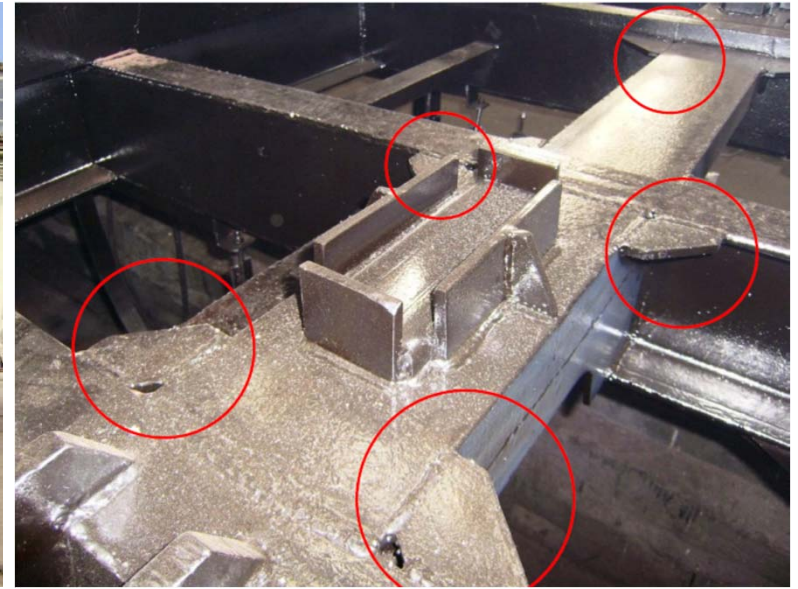
1.0 Основе линеарне методе коначних елемената.





ПРЕДАВАЊА (теоријска настава) / ВЕЖБАЊА (практична настава)

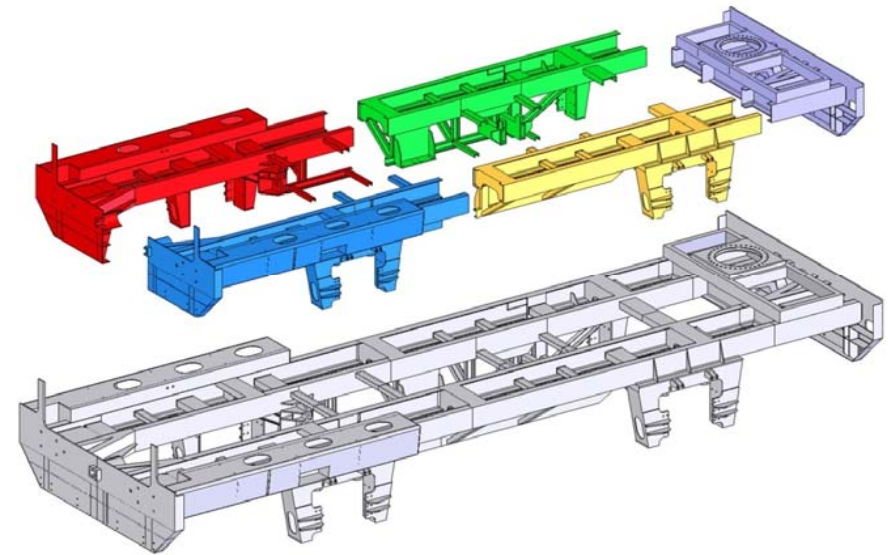
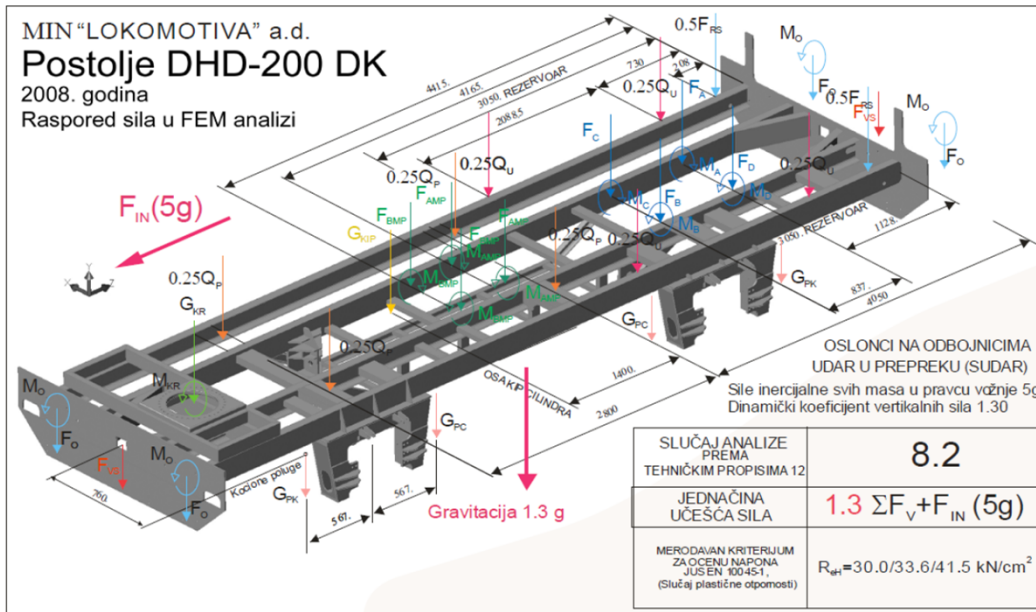
1.0 Основе линеарне методе коначних елемената.





ПРЕДАВАЊА (теоријска настава) / ВЕЖБАЊА (практична настава)

Моделирање сложених структура техником спајања подструктура

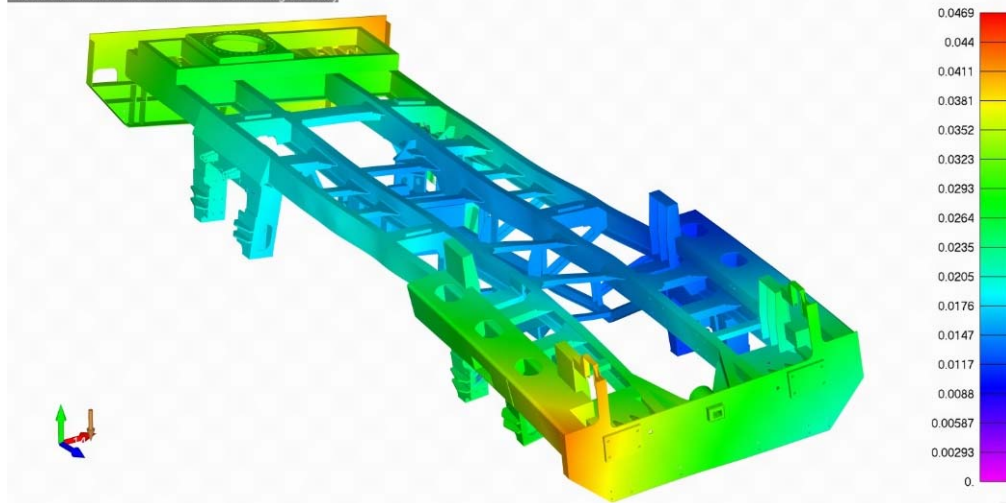




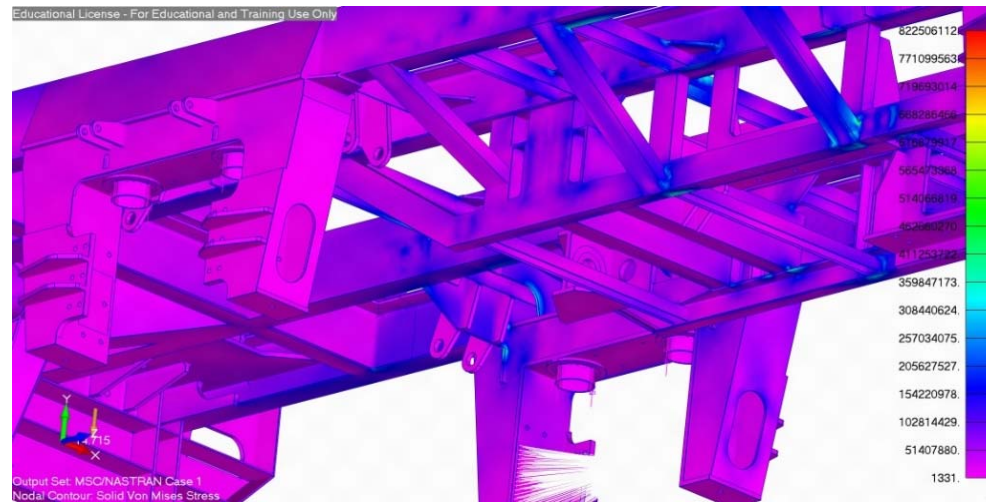
ПРЕДАВАЊА (теоријска настава) / ВЕЖБАЊА (практична настава)

1.0 Основе линеарне методе коначних елемената.

Educational License - For Educational and Training Use Only



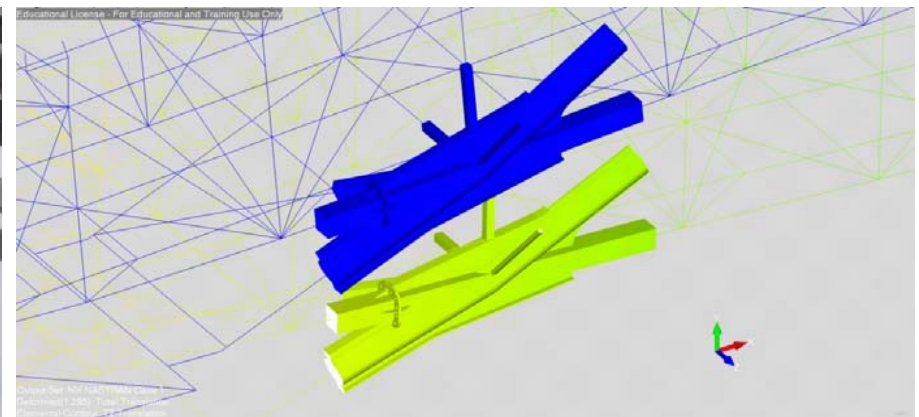
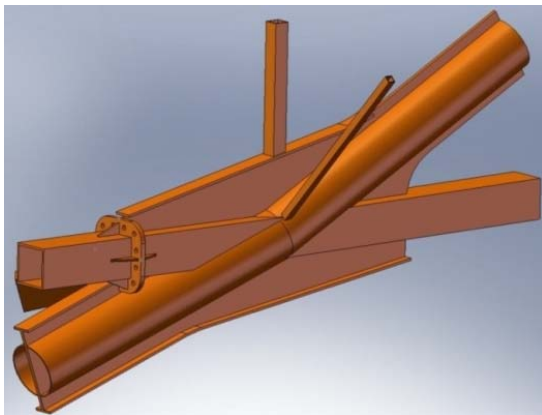
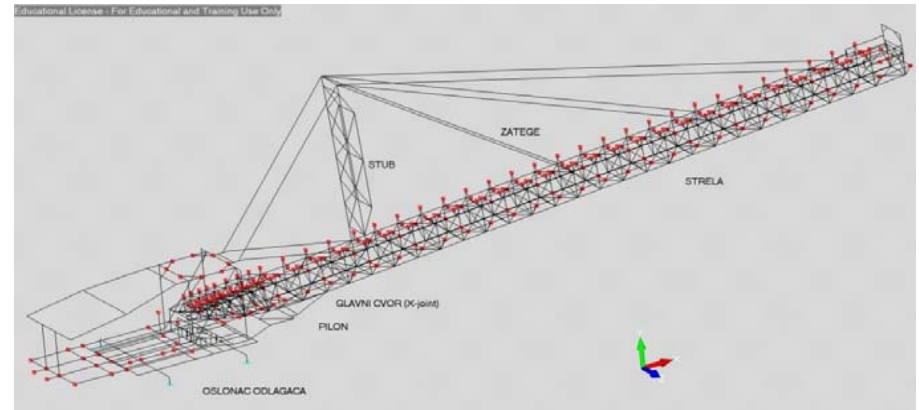
Educational License - For Educational and Training Use Only





ПРЕДАВАЊА (теоријска настава) / ВЕЖБАЊА

1.0 Основе линеарне методе коначних елемената.





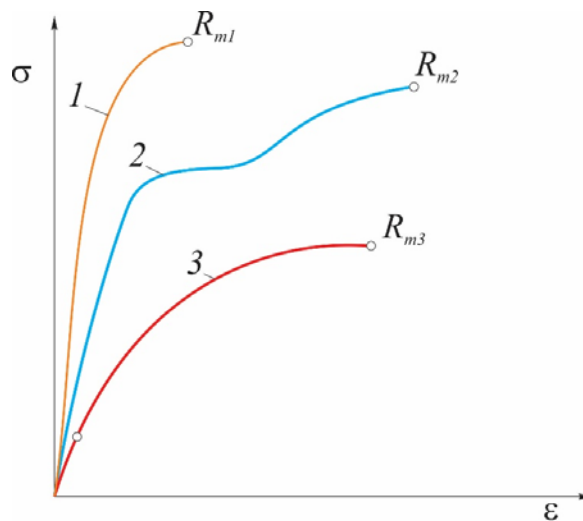
ПРЕДАВАЊА (теоријска настава) / ВЕЖБАЊА (практична настава)

2.0 Основе нелинеарне методе коначних елемената

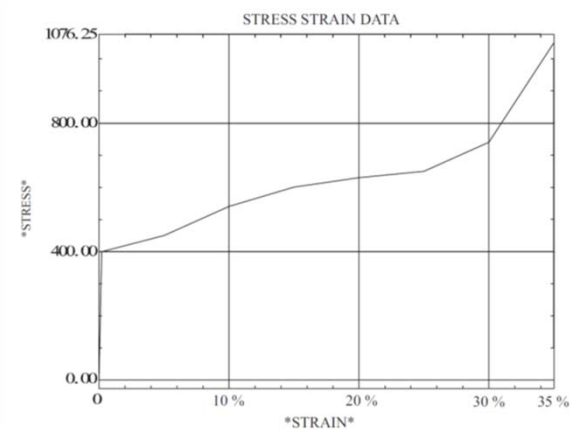
- Материјална нелинеарност
- Велика померања модела
- Контактна анализа

Za pojedine materijale kao što su obojeni metali i čelici visoke čvrstoće ponašanje materijala je manje više nelinearno pa se Hooke-ov zakon može sam delimično primenjivati ili se uopšte i ne može primeniti.

Материјална нелинеарност у МКЕ. Линеарна, би-линеарна и мултилинеарна карактеристика материјала. Пластичност.



1. Čelik visoke čvrstoće (S 460 NI)
2. Nelegirani konstruktivni čelik srednje čvrstoće (S 355 JO)
3. Mg, Al



Kriva zavisnosti napona od relativne deformacije za čelik S 355 JO

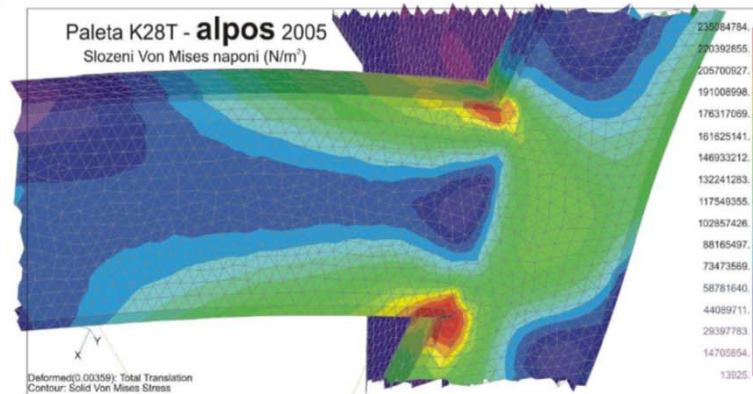
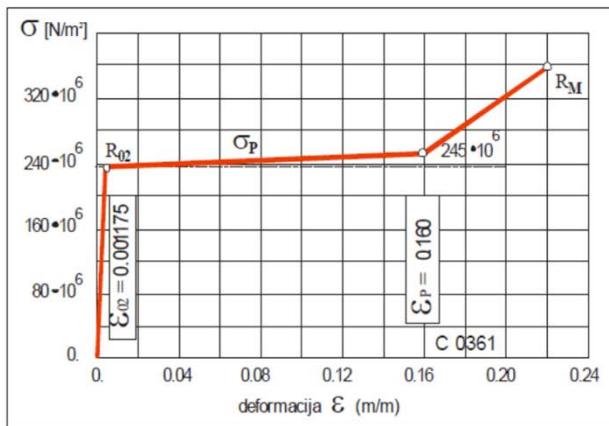
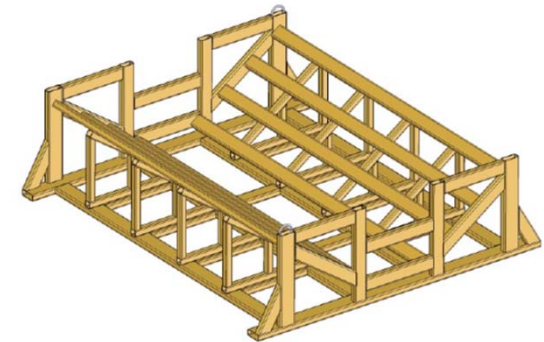




ПРЕДАВАЊА (теоријска настава) / ВЕЖБАЊА (практична настава)

2.0 Основе нелинеарне методе коначних елемената

Методе и алгоритми за решавање нелинеарних МКЕ проблема.
Инкрементална-итеративна Newton- Raphosnov-a процедура.



Slika 2.7 Detalj diskretne strukture spoja dve cevi, slozeni Von Mises naponi palete K28T (N/m^2)



Slika 2.8 Plasticne deformacije palete K28T (m/m)

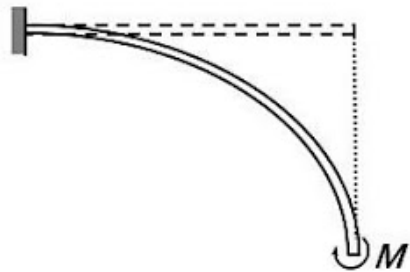




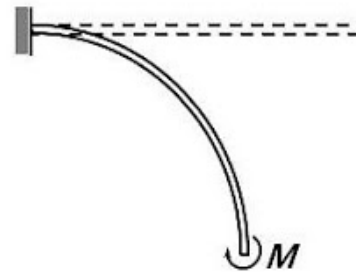
ПРЕДАВАЊА (теоријска настава) / ВЕЖБАЊА (практична настава)

2.0 Основе нелинеарне методе коначних елемената

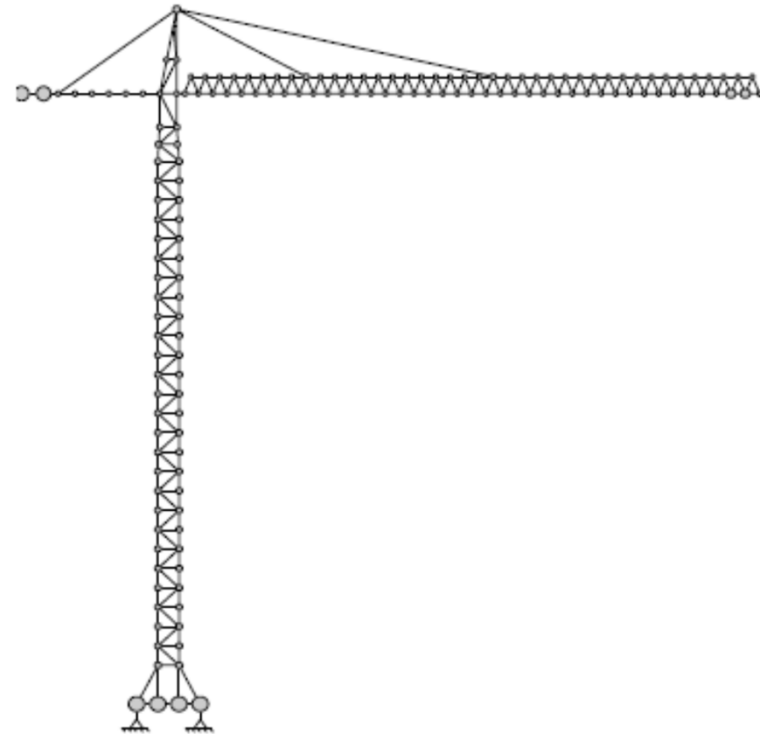
- Материјална нелинеарност
- Велика померања модела
- Контактна анализа



линеарни модел



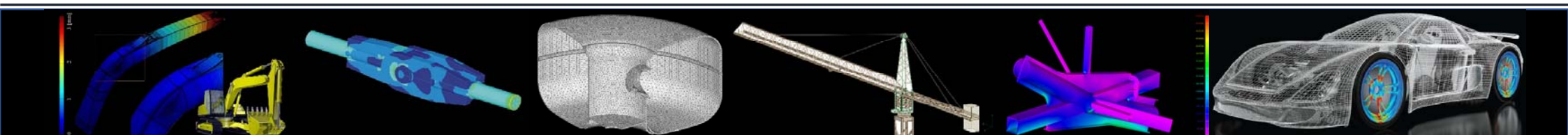
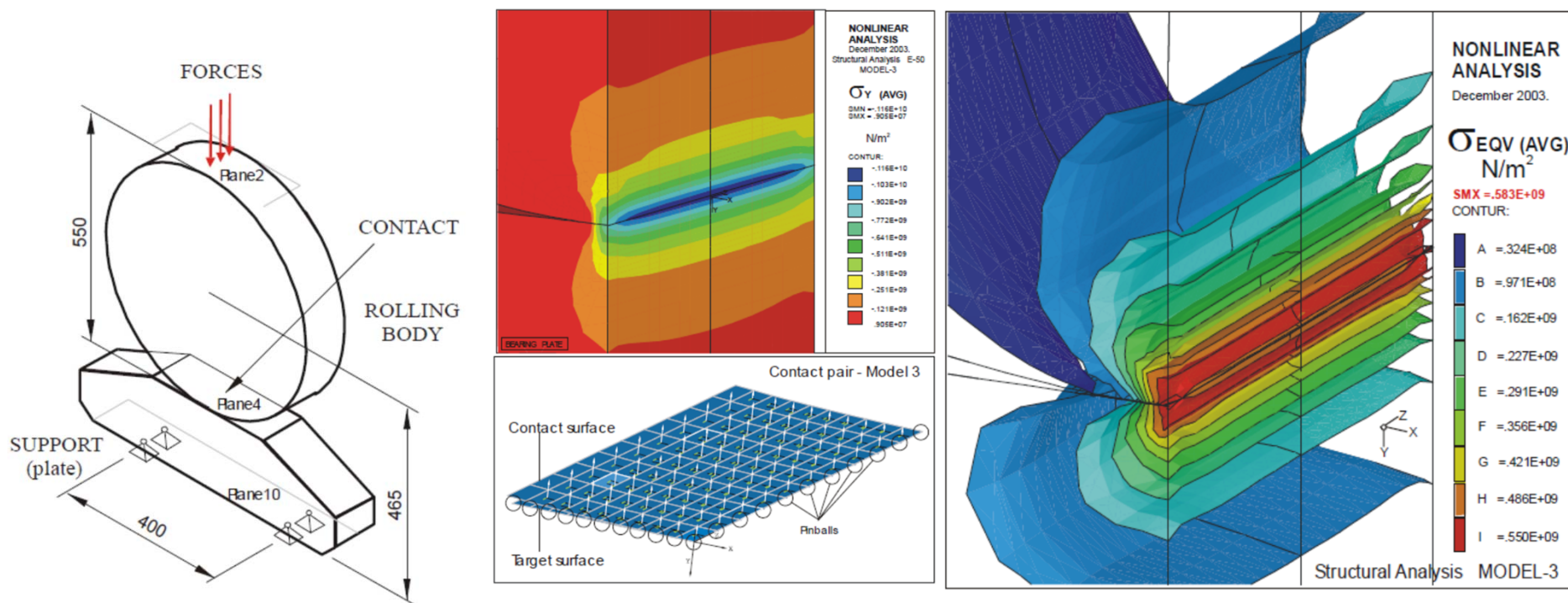
нелинеарни модел





ПРЕДАВАЊА (теоријска настава) / ВЕЖБАЊА (практична настава)

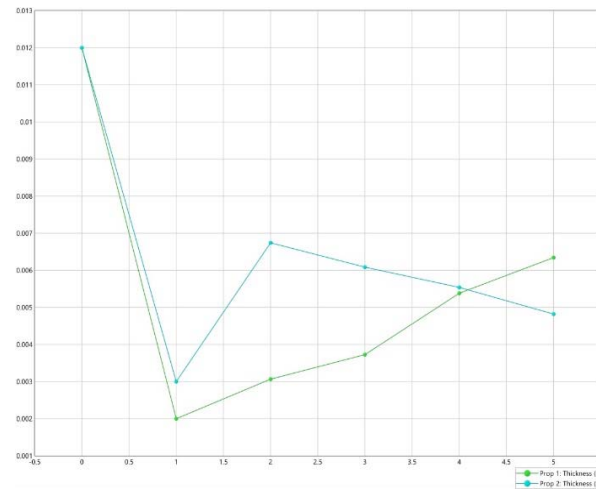
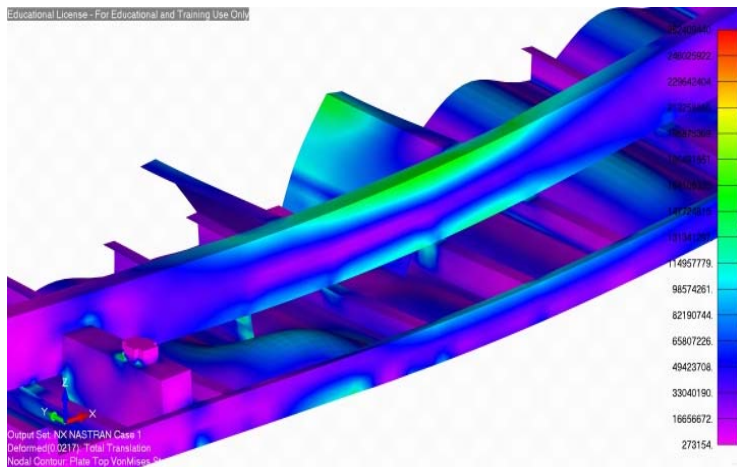
2.0 Основе нелинеарне методе коначних елемената





ПРЕДАВАЊА (теоријска настава) / ВЕЖБАЊА (практична настава)

3.0 Оптимизација методом коначних елемената





ПРЕДАВАЊА (теоријска настава) / ВЕЖБАЊА (практична настава)

4.0 Проблем сопствених вредности

Динамичка једначина слободних непригушених осцилација: $\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}} + \mathbf{K}\mathbf{U} = 0$ $\mathbf{U} = \Phi \sin(\omega(t - t_0))$

Решавањем система од n линеарно независних једначина: $|\mathbf{K} - \lambda \cdot \mathbf{M}| = 0$ одређујемо сопствене вредности и сопствене вектор који дају облик одговарајућег сопственог мода осциловања.

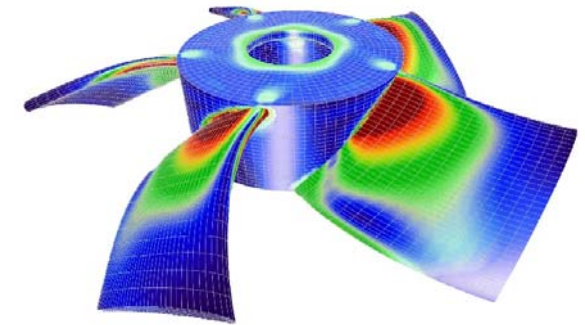
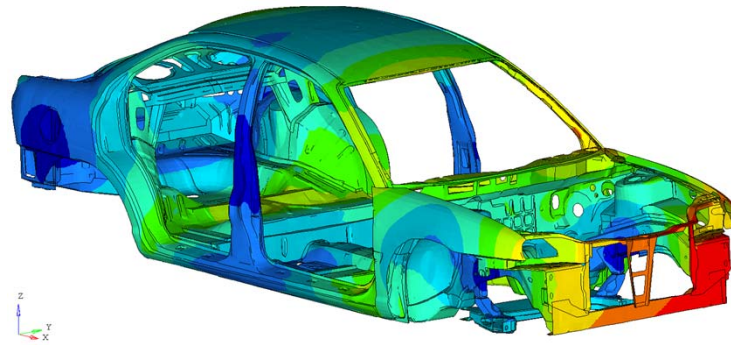
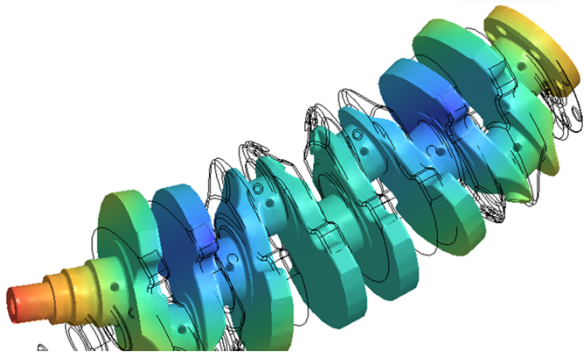
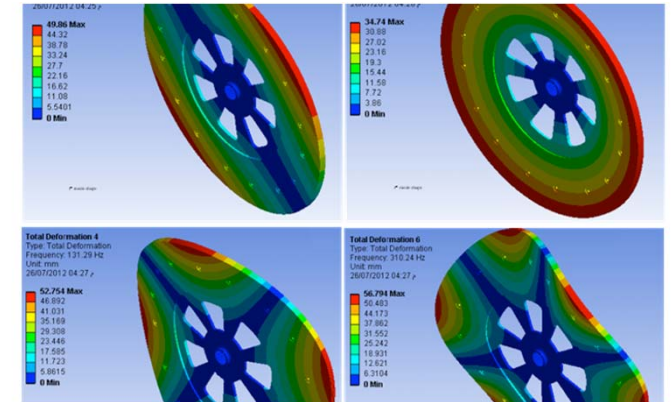
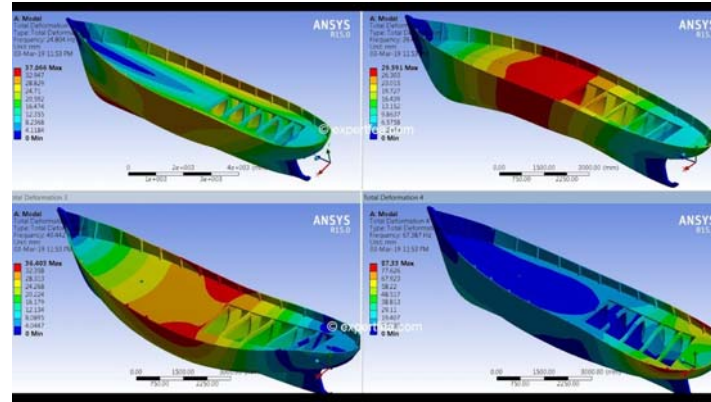
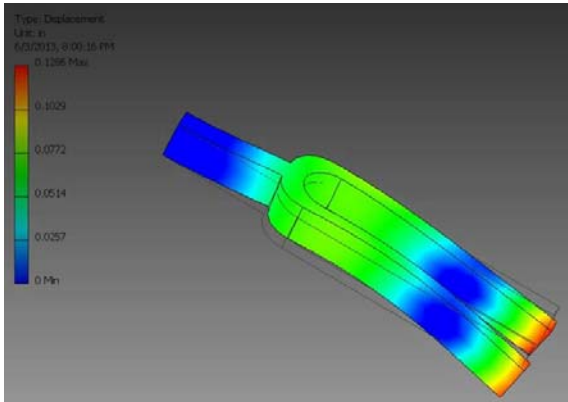
Инерциона матрице и њени облици (конзистентаи и концентрисани облик).

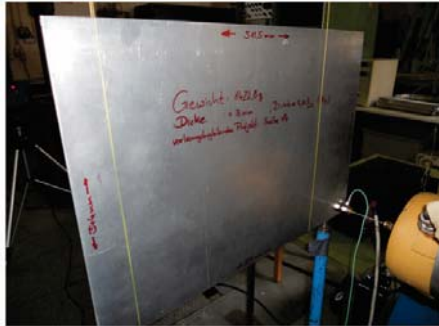
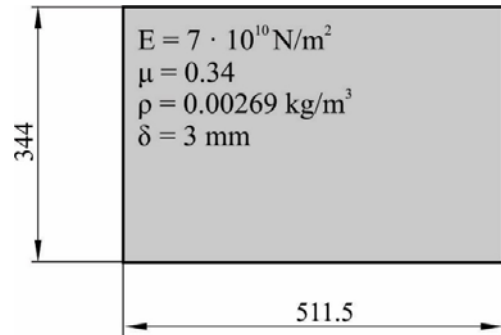


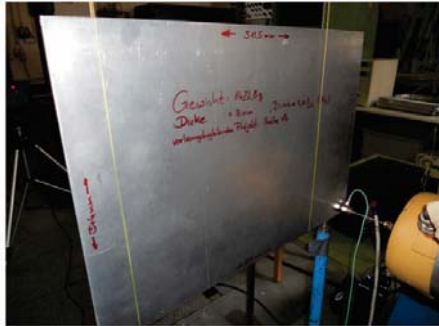
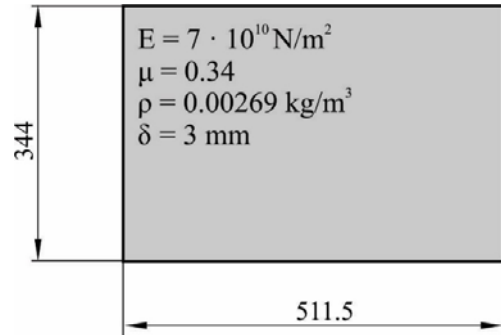


Машински факултет Универзитета у Нишу
Основне академске студије
Усмерење: Саобраћајно машинство транспорт и логистика

<http://pmilic.masfak.ni.ac.rs>

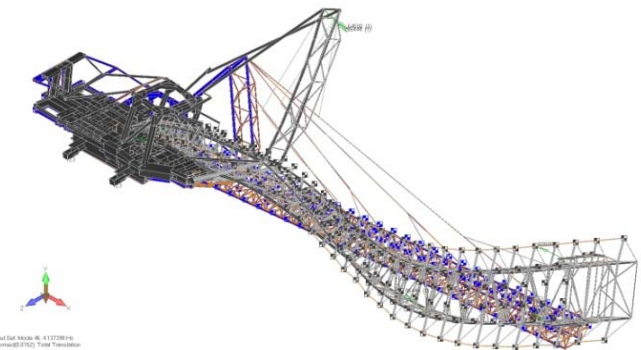
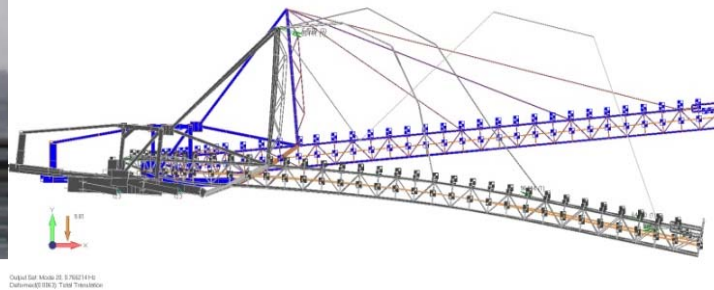
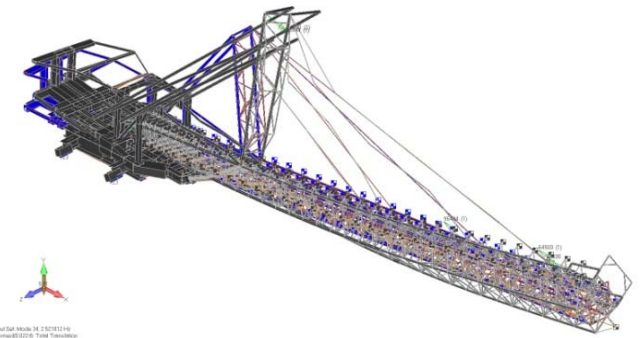
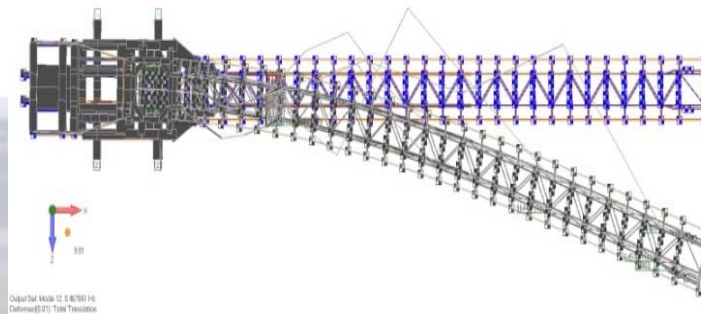






		ANSYS	NURBS – ne uniformna mreža KE				NURBS – uniformna mreža KE			Merenje	
br. elem.		10x10	10x10	10x10	10x10*	10x10	10x10	10x10	Hz	odstupanje u odnosu na * %	
stepen. osn. funk.		2	2	3	4	2	3	4			
br. tačaka KP		-	12x12	13x13	14x14	12x12	13x13	14x14			
Sopstveni oblik	7.	55.24	55.83	55.38	55.35	55.76	55.42	55.38	53.60	3.16	
	8.	60.35	64.04	60.42	60.38	61.89	60.44	60.39	62.40	3.35	
	9.		133.7	128.7			129.0	128.6			
		128.23	2	9	128.59	131.37	3	7	122.10	5.05	
	10.		145.9	139.8			140.0	139.8			
		139.76	2	9	139.83	143.15	1	4	139.20	0.45	
	11.		175.5	161.5			161.5	161.1			
		160.79	1	8	160.90	172.03	7	5	-		
	12.		223.4	190.3			190.4	189.8			
		189.41	1	4	189.55	207.93	5	0	182.80	3.56	
	13.		276.9	241.6			241.7	240.6			
		239.68	6	1	239.99	261.24	6	3	233.20	2.83	
	14.		286.1	275.0			275.9	274.6			
		273.57	9	4	274.34	281.77	2	3	267.30	2.57	
	15.			354.4			344.5	343.6			
		342.86	-	0	342.55	415.76	8	4	334.80	2.26	
16.		436.0	379.6			378.9	377.7				
	376.78	9	7	376.86	433.37	9	1	376.20	0.18		







5.0 Методе директне интеграције и методе суперпонирања модова осциловања

Динамичка једначина равнотеже може се представити у облику:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{U}} + \mathbf{K}\mathbf{U} = \mathbf{R}$$

Где је \mathbf{K} матрица крутости, \mathbf{C} матрица пригушења а \mathbf{M} инерциона матрица система, \mathbf{U} , $\dot{\mathbf{U}}$ и $\ddot{\mathbf{U}}$ представљају померања, брзине и убрзања система, \mathbf{R} представља вектор спољашњих сила. Претходну једначину можемо приказати као:

$$\mathbf{F}_I(t) + \mathbf{F}_D(t) + \mathbf{F}_E(t) = \mathbf{R}(t)$$

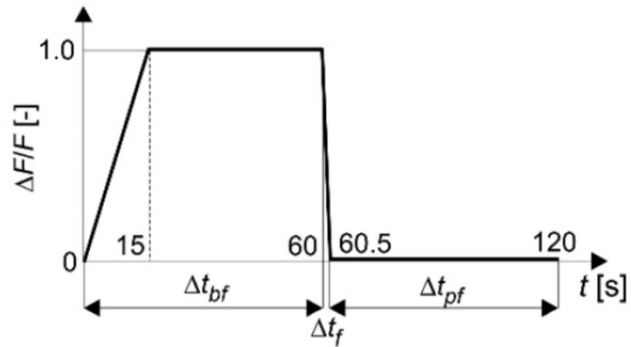
Где су:

$$\mathbf{F}_I(t) = \mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}} \quad - \text{инерционе силе}$$

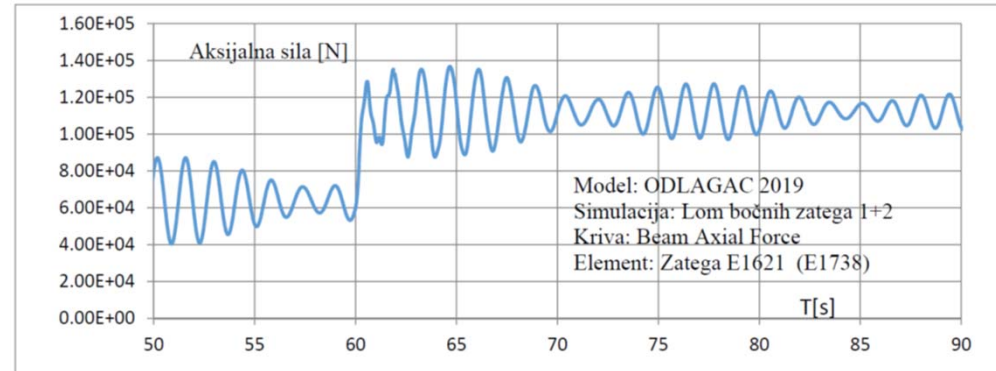
$$\mathbf{F}_D(t) = \mathbf{C}\dot{\mathbf{U}} \quad - \text{силе пригушења}$$

$$\mathbf{F}_E(t) = \mathbf{K}\mathbf{U} \quad - \text{еластичне силе}$$

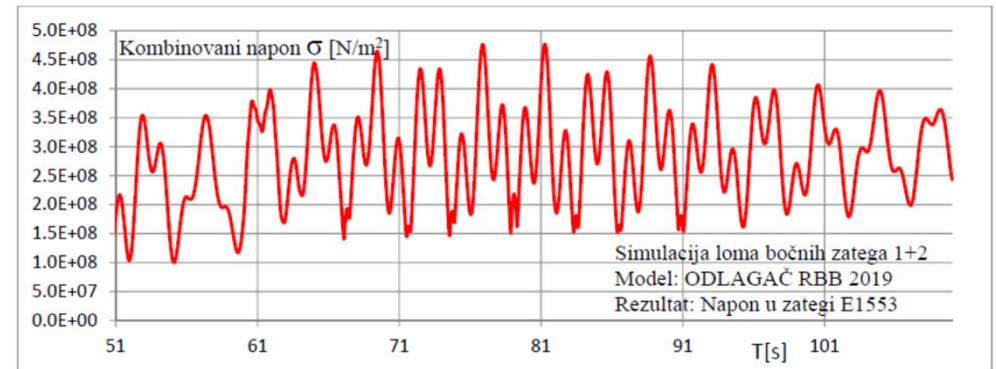




Фактор промене силе у затегама
 (симулација пуцања затега)



Слика 5.8 Дијаграм промене аксијалних сила у затеги 1 при лому - E1621 (Најдужа задња затега – затега 1)



Слика 5.11 Дијаграм max. комбинованих напона у затеги 1 (N/m^2) при лому – E1553
 Max komb. napon: 476.5 MPa prelazi dozvoljene vrednosti.





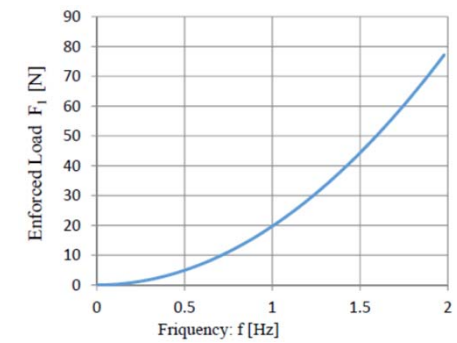
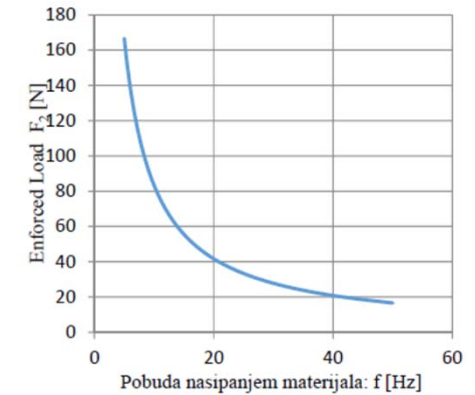
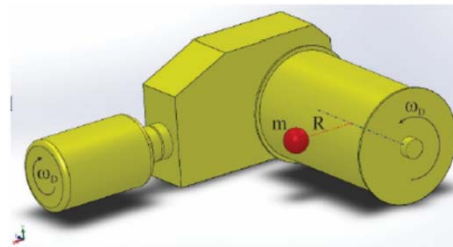
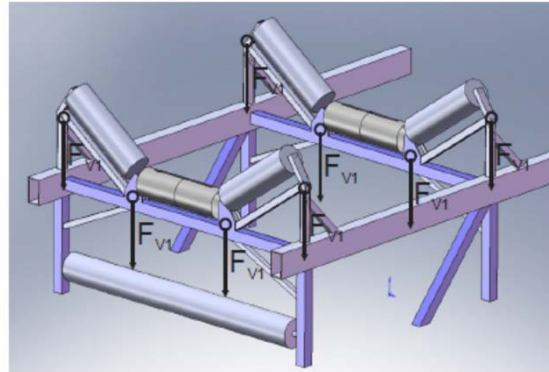
Развијене процедуре за интеграцију основне динамичке једначине равнотеже методом коначних елемената могу се поделити у две основне групе метода и то:

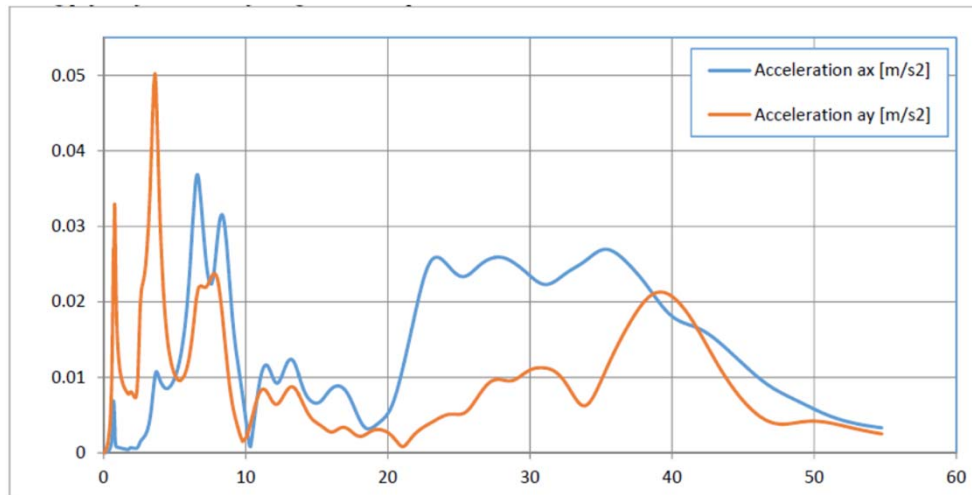
- **методе директне интеграције и**
- **методе суперпонирања модова осциловања.**



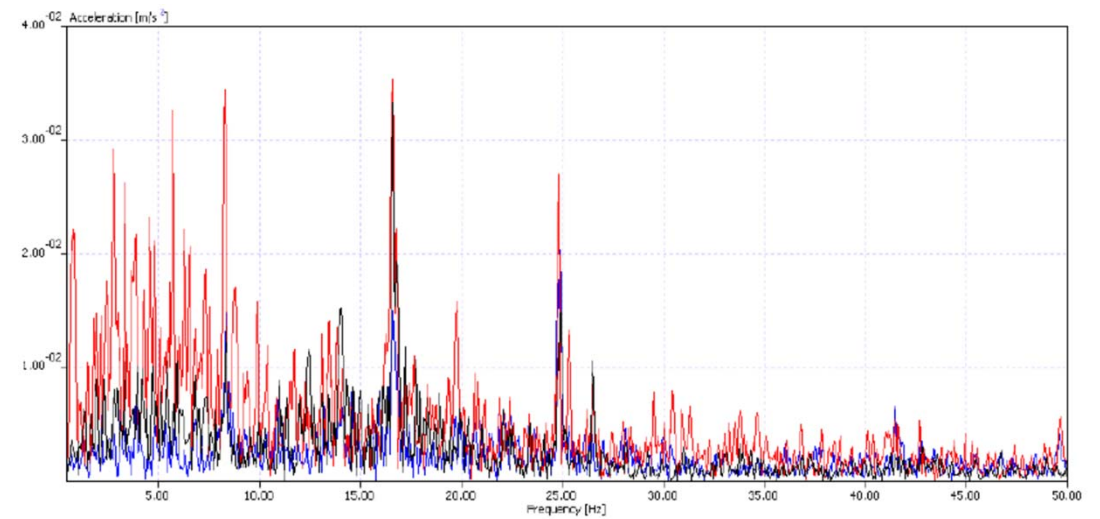


6.0 Фреквентне динамичке анализе





Slika 6.5 Numeričko rešenje analize frekventnog odgovora
Izračunata ubrzanja strukture a_x , a_y (m/s^2)
Posmatrana pozicija: Na kraju najduže zatege odlagача (br. 3), Node 692.



Slika 6.6 b Eksperiment [7]: Ubrzanja u frekventnom domenu na mestu strele kod treće zatege.
Lokacija merenja prema oznaci na slici 6.7.





Начин полагања испита

- Обавезна активност на предавањима и вежбањима
- Израда семинарских радова (за сваки пројекат)
- Одбрана семинарских радова (6) са објашњењем физикалности процеса и примењеног теоријског знања

Литература

- Klaus Jurgen Bathe, Finite element procedures, Prentice Hall, New Jersey, 1996.
- Јовановић М., Милић П., Примена методе коначних елемената у анализи структура: збирка решених задатака, Машински факултет Универзитета у Нишу, 2019.

<http://pmilic.masfak.ni.ac.rs>

