

# Proračun čeličnog stupa metodom konačnih elemenata

---

**Malešević, Ana**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:616797>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-02**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Ana Malešević**

**Proračun čeličnog stupa metodom konačnih elemenata**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2023.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Diplomski sveučilišni studij  
konstrukcije  
Računalno modeliranje**

**Ana Malešević  
JMBAG: 0114030859**

**Proračun čeličnog stupa metodom konačnih elemenata**

**Diplomski rad**

**Rijeka, rujan 2023.**

## **IZJAVA**

Diplomski rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Ana Malešević

U Rijeci, 18.rujna, 2023.

Diplomski rad nastao je kao rezultat rada u okviru projekta Unaprjeđenje modela stjecanja stručnih kompetencija učenjem uz rad kroz izradu diplomskog rada (GraDiS)

Voditeljica projekta – izv. prof. dr. sc. Silvija Mrakovčić

Šifra projekta – A3-21-6

Financijer projekta – Sveučilište u Rijeci – programska linija UNIRI CLASS A3

Pravna nadležnost – Sveučilište u Rijeci

U Rijeci, 18. rujna, 2023.

Mentor

---

## ZAHVALA

*Želim iskoristiti ovu priliku da izrazim svoju iskrenu zahvalnost svima koji su mi pružili podršku i doprinijeli ostvarenju ovog diplomskog rada.*

*Prije svega, želim se zahvaliti svom mentoru, prof. dr. sc. Ivici Kožaru, na znanju, strpljenju i vodstvu koje ste mi pružili tijekom izrade ovog rada.*

*Također, želim izraziti zahvalnost svom stručnom komentoru, dipl. ing. građ. Goranu Šuranu, na vrijednim komentarima i sugestijama koje su obogatile ovaj rad te ostalim djelatnicima tvrtke KFK d.o.o. na suradnji i podršci koja mi je puno značila.*

*Zahvaljujem i svojoj obitelji na podršci tijekom mog akademskog puta, a svojim kolegama i prijateljima zahvaljujem na razmjeni ideja i zajedničkom entuzijazmu tijekom ovih studija.*

## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu analiziran je čelični stup pravokutnog šupljeg poprečnog presjeka dimenzija 160 x 80 x 4 mm, koji se nalazi na najvišoj etaži stambeno-poslovne zgrade u Londonu. Stup je podvrgnut složenom opterećenju, uključujući masu fasadnih panela koji su ovješeni na njega i opterećenje vjetrom. Detaljna analiza ovog opterećenja također je obuhvaćena u radu, pri čemu se naglasak stavlja na prijenos opterećenja preko stupa na betonski nadozid na koji je stup usidren.

U radu je primijenjena analiza stupa pomoću programskog paketa Straus7, koji se temelji na metodi konačnih elemenata. Ova analiza je pažljivo dokumentirana i detaljno objašnjena kako bi se pružio dublji uvid u proces analize i proračuna.

Također, izvršen je proračun progiba vrha stupa primjenom metode konačnih razlika u programskom paketu Mathcad. U radu je uspoređena ova metoda s metodama konačnih elemenata kako bi se istaknule njihove prednosti i nedostaci.

Naposljetku, rad pruža uvid u naprezanja i deformacije koje se javljaju tijekom opterećenja čeličnog stupa, te zaključuje s relevantnim zaključcima. Ovaj rad predstavlja važan doprinos razumijevanju ponašanja čeličnih stupova pod složenim opterećenjem te može poslužiti kao korisno referentno djelo u inženjerskoj praksi i projektiranju sličnih konstrukcija.

**Ključne riječi:** čelični stup, deformacije, naprezanja, progib, metoda konačnih razlika, metoda konačnih elemenata

## **ABSTRACT**

In this master's thesis, an analysis of a steel column of a rectangular hollow cross-section with dimensions of 160 x 80 x 4 mm, located on the highest floor of a residential-commercial building in London, was conducted. The column is subjected to complex loading conditions, including the weight of facade panels suspended from the column and wind loads. A comprehensive analysis of these loads is also presented in the thesis, with a focus on the transfer of loads through the column to a concrete parapet to which the column is anchored.

The analysis of the column was performed using the Straus7 software package based on the finite element method. This analysis is meticulously documented and thoroughly explained to provide a deeper understanding of the analysis and calculation process.

Additionally, a deflection calculation of the column's top was carried out using the finite difference method in the Mathcad software package. A comparison between this method and finite element methods is presented in the thesis to highlight their respective advantages and disadvantages.

Lastly, the thesis provides insights into the stresses and deformations that occur during the loading of the steel column and concludes with relevant findings. This work represents a significant contribution to understanding the behaviour of steel columns under complex loading conditions and can serve as a valuable reference in engineering practice and the design of similar structures.

**Keywords:** steel column, strain, stress, deflection, finite difference method, finite element method



---

**SADRŽAJ**

1. UVOD.....	1
2. PROJEKTNI ZADATAK.....	3
2.1. Analiza opterećenja.....	4
2.1.1. Vlastita težina.....	6
2.1.2. Opterećenje vjetrom .....	6
2.2. Karakteristike čeličnog stupa .....	12
3. UVOD U METODU KONAČNIH ELEMENATA.....	15
4. METODA KONAČNIH RAZLIKA .....	28
4.1. Usporedba s metodom konačnih elemenata.....	30
4.1.1. Jaka formulacija .....	31
4.1.2. Slaba formulacija .....	31
4.2. Proračun progiba stupa.....	33
5. VON MISES TEORIJA SLOMA.....	53
5. RAČUNALNI PROGRAM STRAUS7.....	59
5.1. Opis programa iz aspekta metode konačnih elemenata .....	62
5.2. Proračun u Straus7 .....	67
6. DRFORMACIJA GREDE ILI STUPA.....	74
6.1. Dopuštena deformacija.....	77
6.2. Deformacija dobivena proračunom u programu Straus7 .....	77
7. NAPREZANJE U GREDI ILI STUPU.....	87
7.1. Naprezanja dobivena u Straus7 programu.....	88
7.2. Naprezanja u poprečnom presjeku stupa .....	94
8. ZAKLJUČAK .....	96
9. LITERATURA.....	98

---

10. PRILOZI.....	100
------------------	-----

---

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Render stambeno - poslovne zgrade u Londonu [1].....	3
Slika 2. Pozicija čeličnog stupa [1].....	4
Slika 3. Prikaz elevacije zgrade [1].....	5
Slika 4. Prikaz posljednje (najviše) etaže [1].....	6
Slika 5. Tablica proračuna mase elementa [1].....	6
Slika 6. Položaj nosača [izradio autor].....	7
Slika 7. Prihvata opterećenja s panela na nosače [izradio autor].....	8
Slika 8. Statički sustav za prihvat sila od usisa [izradio autor].....	9
Slika 9. Prikaz sila kojima se stup opterećuje [izradio autor].....	10
Slika 10. Statički sustav stupa [izradio autor].....	11
Slika 11. Statički sustav za opterećenje potiskom vjetra [izradio autor].....	12
Slika 12. Poprečni presjek stupa [izradio autor].....	13
Slika 13. Dimenzije i statičke veličine poprečnog presjeka stupa [16].....	14
Slika 14. Primjer diskretizirane mreže nosača [2].....	16
Slika 15. Najčešći tipovi elemenata [2].....	17
Slika 16. Stupnjevi slobode za 2D gredni element [2].....	18
Slika 17. Matrica krutosti analogna je krutosti opruge.....	19
Slika 18. Matrica krutosti za 2D gredni element.....	20
Slika 19. Ilustracija globalne matrice krutosti sastavljene od tri matrice krutosti na temelju povezanosti elemenata [2].....	24
Slika 20. Primjer pomaka i von Misesovog ekvivalentnog naprezanja [2].....	26
Slika 21. Sedam koraka primjene metode konačnih elemenata [izradio autor].....	27
Slika 22. Diskretizacija funkcije [4].....	29

---

Slika 23. Pojednostavljenje sustava za proračun metodom konačnih razlika [izradio autor] .....	33
Slika 24. Dijagram naprezanje - deformacija za kruti i duktilni materijal [8] .....	53
Slika 25. Komponente hidrostatskog naprezanja [7] .....	54
Slika 26. Konturni dijagram Von Misesovog naprezanja [izradio autor] .....	56
Slika 27. Krivulje čvrstoće prema teoriji najvećeg normalnog naprezanja [9] .....	57
Slika 28. Krivulje čvrstoće prema von Mises teoriji [9] .....	58
Slika 29. Usporedba krivulja čvrstoća [9] .....	58
Slika 30. Diskretizirana mreža u softveru [10] .....	60
Slika 31. Prikaz rezultata u Straus7 [10] .....	61
Slika 32. Shematski prikaz programa [izradio autor] .....	63
Slika 33. Odnos naprezanje - deformacija za čelik S235 [izradio autor] .....	67
Slika 34. Baza stupa modelirana pomoću konačnih elemenata [izradio autor] .....	68
Slika 35. Poprečni presjek stupa zadan u Straus7 [izradio autor] .....	69
Slika 36. Model sa zadanim silama od vjetra [izradio autor] .....	70
Slika 37. Gotov model u Straus7 programu [izradio autor] .....	71
Slika 38. Zadani faktori za linearnu analizu [izradio autor] .....	72
Slika 39. Zadavanje inkremenata za nelinearnu analizu [izradio autor] .....	73
Slika 40. Konzolna greda opterećena na kraju [12] .....	74
Slika 41. Deformacija konzolne grede [12] .....	75
Slika 42. Najveći pomaci za X, Y i Z smjer [izradio autor] .....	78
Slika 43. Pomaci u x smjeru [izradio autor] .....	78
Slika 44. Pomak vrha stupa zbog utjecaja vjetra [izradio autor] .....	80
Slika 45. Visina stupa = 2H [izradio autor] .....	80
Slika 46. Pomak vrha stupa zbog vlastite težine panela [izradio autor] .....	82

---

Slika 47. Ukruta [izradio autor] .....	83
Slika 48. Model s potpuno upetim osloncem [izradio autor] .....	84
Slika 49. Proračun u HILTI PROFIS Engineering Suite [izradio autor] .....	85
Slika 50. Naprezanje u gredi [13] .....	87
Slika 51. Skraćenje i produljenje vlakana u gredi [13] .....	88
Slika 52. Naprezanja kod nelinearnog proračuna [izradio autor] .....	89
Slika 53. Naprezanja kod nelinearnog proračuna [izradio autor] .....	89
Slika 54. Deformacija u modelu [izradio autor] .....	91
Slika 55. Naprezanja u slučaju pritiska vjetra [izradio autor] .....	92
Slika 56. Primjer plastičnog deformiranja [14] .....	93
Slika 57. Naprezanja u poprečnom presjeku [izradio autor] .....	94

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Svojstva čelika S235 [izradio autor] .....	13
Tablica 2. Izrazi za izračun deformacije grede [izradio autor] .....	76

## 1. UVOD

U suvremenom građevinskom inženjeringu, konstrukcije suočene s izazovima ekstremnih uvjeta, kao što su veliki vjetrovi, zahtijevaju temeljitu analizu i precizan dizajn kako bi se osigurala njihova stabilnost i sigurnost. Ovaj diplomski rad se fokusira na dubinsku analizu proračuna čeličnog stupa, specifično čeličnog stupa napravljenog od strukturalnog čelika S235 s poprečnim profilom RHS 160x80x4 mm, koji je smješten na najvišem katu zgrade u Londonskom okružju, odnosno na 28. katu te zgrade. U uvjetima visokogradnje, stabilnost i sigurnost građevinskih struktura predstavljaju ključne aspekte, osobito na visokim katovima gdje vjetar može imati značajan utjecaj. U ovom kontekstu, čelični stupovi igraju ključnu ulogu u osiguravanju nosivosti i stabilnosti konstrukcija. Za potrebe ovog istraživanja, posebna pažnja posvećena je analizi utjecaja vjetra na čelične stupove, uzimajući u obzir prosječnu brzinu vjetra za područje Londona koja iznosi 22 m/s. Osim utjecaja vjetra, čelični stup se suočava s dodatnim opterećenjima, kao što je vlastita težina panela koji je ovješten na stup. Kako bi se osigurala adekvatna stabilnost i sigurnost, provedena je detaljna analiza svih ovih opterećenja, uključujući njihove kombinacije i međusobni utjecaj. U svrhu analize, korišten je Straus7 programski paket, napredan alat za modeliranje i analizu konstrukcija pomoću metode konačnih elemenata. Metoda konačnih elemenata omogućuje simulaciju stvarnog ponašanja konstrukcija pod različitim opterećenjima. Detaljno je objašnjen postupak modeliranja čeličnog stupa u programu Straus7, naglašavajući ključne korake i aspekte koji su relevantni za analizu ovakvih konstrukcija. Jedan od ključnih aspekata rada je usporedba dobivenih rezultata sa standardima koji su uspostavljeni kako bi osigurali sigurnost i izdržljivost konstrukcija. Fokus se ovdje stavlja na dvije ključne smjernice: CWCT standard (Centre for Window and Cladding Technology) i britansku normu BS EN (British Standards European Norms). Ovi standardi postavljaju stroge zahtjeve za stabilnost, čvrstoću i sigurnost konstrukcija, posebno u urbanim sredinama koje su izložene različitim vremenskim uvjetima. Osim toga, provjerena je adekvatnost materijala od kojeg je stup izrađen, kako bi se osiguralo da konstrukcija zadovoljava stroge standarde izdržljivosti i stabilnosti propisane spomenutim standardima. Dublje uranjanje u analizu materijala

čini važan dio ovog rada. Proračunavanjem naprezanja, granica tečenja i sposobnosti materijala da podnese plastično deformiranje, stvara se cjelovit uvid u pouzdanost čeličnog stupa. Ovaj proces pruža informacije o tome kako se materijal ponaša pod opterećenjem te osigurava da stup ispunjava stroge tehničke zahtjeve. Kao posljednji, ali ne manje važan korak, ovaj diplomski rad istražuje odabir odgovarajućeg poprečnog presjeka za čelični stup. Ovaj odabir ključan je kako bi se osigurala optimalna stabilnost i otpornost na opterećenja. Važno je da poprečni presjek bude dizajniran tako da minimizira potencijalne deformacije i naprezanja, čime se osigurava trajnost strukture. U zaključku, ovaj seminar će produbiti razumijevanje kompleksnosti proračuna stabilnosti čeličnih stupova u zahtjevnom urbanom okruženju. Kroz integriranu analizu opterećenja, modeliranja, usklađenosti sa standardima, analize materijala te odabira presjeka, rad će istražiti ključne aspekte koji doprinose stvaranju sigurnih, izdržljivih i pouzdanih konstrukcija. U tom kontekstu, metoda konačnih elemenata igra ključnu ulogu u analizi stabilnosti ovog stupa. Metoda konačnih elemenata je numerička tehnika koja omogućuje razlaganje složenih struktura na manje, diskretne elemente kako bi se njihovo ponašanje moglo analizirati matematički. U slučaju ovog čeličnog stupa, metoda konačnih elemenata omogućila je precizno modeliranje njegove geometrije, materijala i svih relevantnih čimbenika.

## 2. PROJEKTNI ZADATAK

Problem koji se analizira u ovom diplomskom radu jest čelični stup poprečnog presjeka RHS 160 x 80 x 4 mm (Rectangular Hollow Sections), odnosno njegovo fiksiranje za nadozid. Čelični stup nalazi se na najvišoj etaži stambeno - poslovne zgrade u Londonu, Ujedinjeno Kraljevstvo.



Slika 1. Render stambeno - poslovne zgrade u Londonu [1]



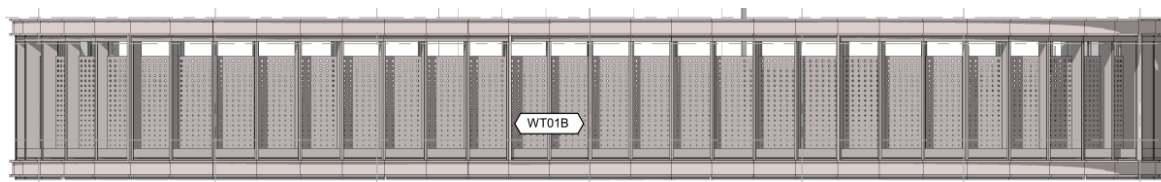


Slika 2. Pozicija čeličnog stupa [1]

### 2.1. Analiza opterećenja

Kako je već navedeno prije u tekstu, čelični stup koji se analizira u ovom diplomskom radu nalazi se na najvišoj etaži zgrade u Londonu. Konstruktivno on služi za prihvat sila s ovješene staklene fasade. Sile kojima je stup opterećen su sila od vlastite mase elementa ovješene fasade te sila pritiska i usisa vjetra kojim je element fasade opterećen.





Slika 4. Prikaz posljednje (najviše) etaže [1]

### 2.1.1. Vlastita težina

PROJECT	Wood Wharf E3-E4									
TYPE (roof element)	Lodon									
	type 10		Width	1187	mm					
	Typical panel		Height	3910	mm					
	Type	Quantity	Width	Height	Thickness	Density	Weight/L	Weight/S	Weight/P	Total
		-	mm	mm	mm	kg/m3	kg/m	kg/m2	kg	kg
Perforated alu sheet	F	1	1000	2500	3	2710	-	8	20	20
Mullion split male	P	1	-	3910	-	-	6	-	23	23
Mullion split female	P	1	-	3910	-	-	5	-	20	20
Transom intermediate	P	1	-	1100	-	-	6	-	7	7
Transom top	P	1	1180	-	-	-	6	-	7	7
Alu tube 50x50x3 mm	P	2	1180	-	-	-	2	-	2	5
Transom bottom	P	2	1180	-	-	-	5	-	6	12
Aluminum external fin (hor.)	P	3	1200	-	-	-	6	-	7	22
Aluminum external fin (vert.)	P	1	3430	-	-	-	6	-	21	21
Aluminum sheeting	F	1	1150	4000	3	2710	-	8	37	37
FRAME	115		kg		<b>TOTAL</b>		<b>190</b>	<b>kg</b>		
FILLING	58		kg				<b>42</b>	<b>kg/m2</b>		
OTHERS	10%	17	kg							

Slika 5. Tablica proračuna mase elementa [1]

U vlastitu težinu elementa fasade ubraja se perforirani aluminijski lim, različiti aluminijski profili te ispune. Masa elementa iznosi 190 kg (1,86 kN), odnosno 42 kg po m<sup>2</sup> elementa. Radi jednostavnosti proračuna uzima se vlastita težina elementa 2,0 kN.

$$G = 2,0 \text{ kN}$$

### 2.1.2. Opterećenje vjetrom

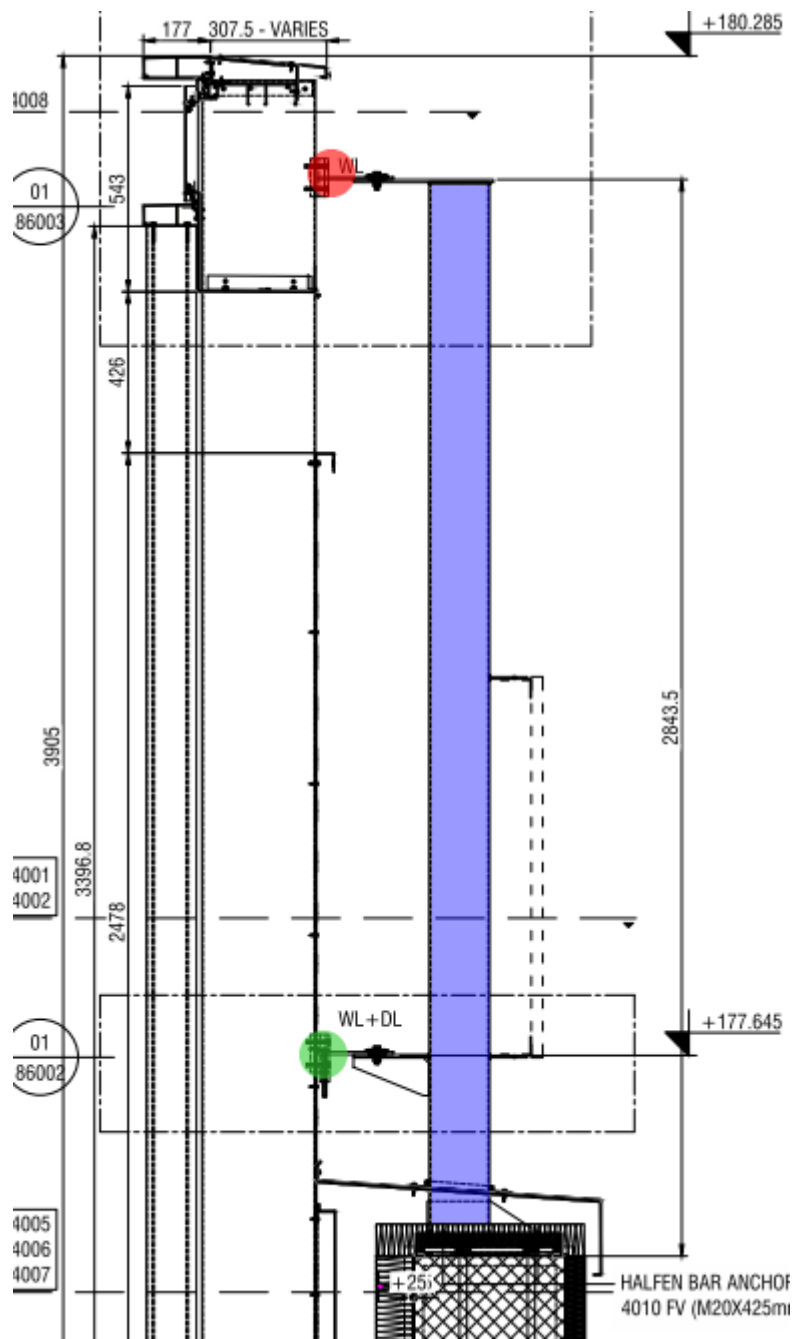
Prema specifikaciji za fasade maksimalno pozitivno i negativno opterećenje na fasadu iznosi:

$$w_{usis} = -1,75 \text{ kPa}$$

$$w_{pritisak} = +1,25 \text{ kPa}$$

Pripadajuća širina s koje se opterećenje prenosi na stup koji je analiziran iznosi 1,187 m.

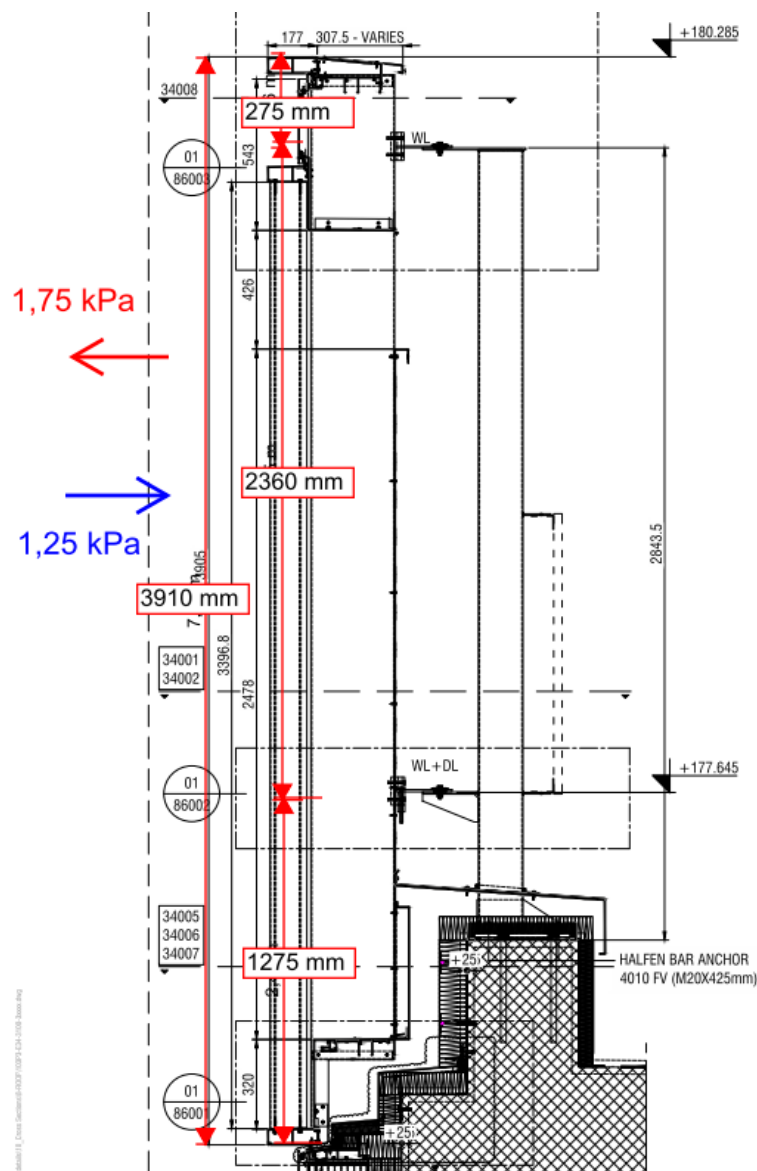
$$q = -1,75 * 1,187 = 2,08 \text{ kNm}$$



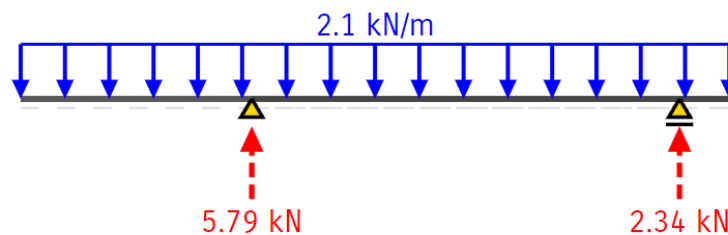
Slika 6. Položaj nosača [izradio autor]

Opterećenje od vjetra na stup (plavo označen na Slici 6. ) prenosi se preko dva nosača fasade. Gornji (označen crveno) nosač prenosi samo horizontalno opterećenje, odnosno samo opterećenje od vjetra. Donji nosač (označen zeleno) prenosi težinu elementa fasade kao vertikalnu silu te horizontalnu silu od vjetra.

Kako bi dobili komponente vjetra koje djeluju na stup, reproduciramo silu vjetra kao kontinuirano opterećenje na stup koji je zamijenjen prostom gredom preko dva oslonca.

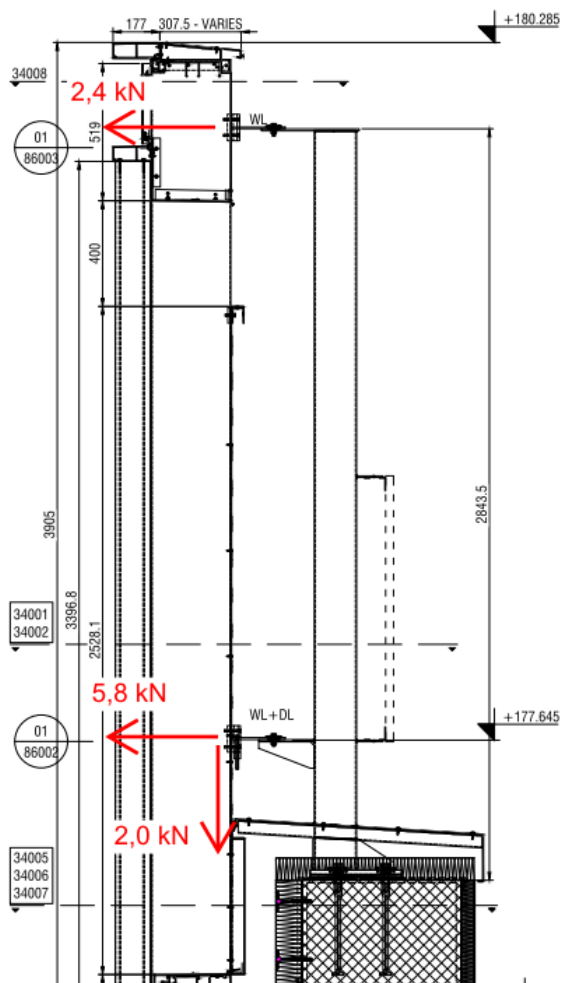


Slika 7. Prihvata opterećenja s panela na nosače [izradio autor]



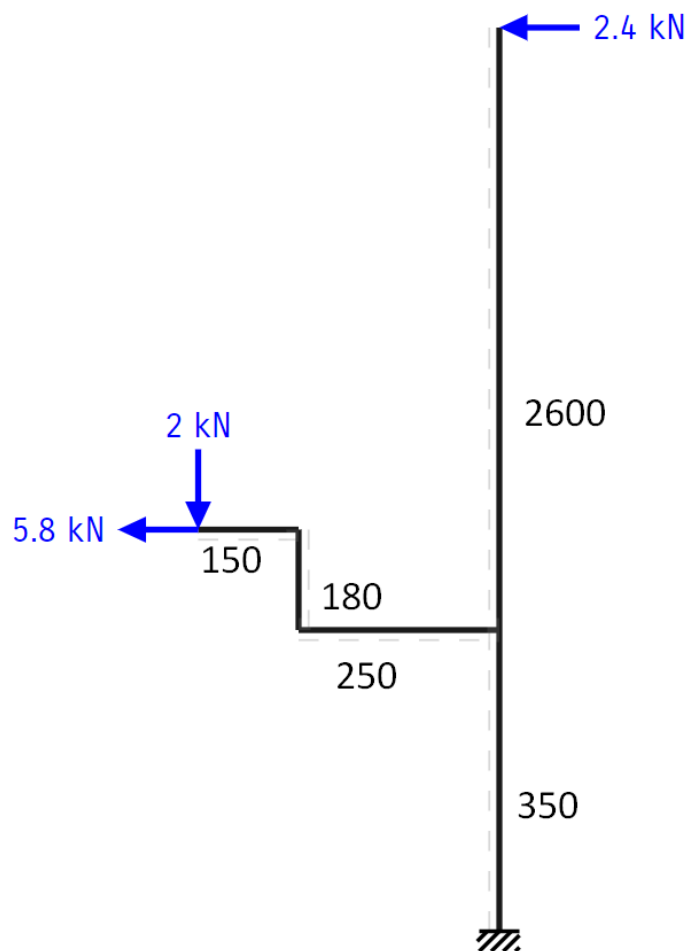
Slika 8. Statički sustav za prihvat sila od usisa [izradio autor]

Za negativno opterećenje vjetrom (-1,75 kPa – usis) dobivene su reakcije koje zamjenjuju komponente vjetra u nosačima. Odnosno, na mjestu gornjeg nosača sila od vjetra iznosi  $\approx 2,4$  kN, dok na mjestu donjeg nosača sila vjetra iznosi  $\approx 5,8$  kN. Također, donji nosač opterećen je i vertikalnom silom od 2,0 kN koja predstavlja vlastitu težinu elementa ovješene fasade.



Slika 9. Prikaz sila kojima se stup opterećuje [izradio autor]

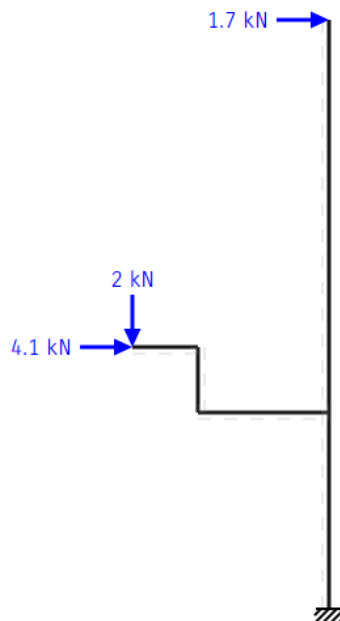
Statički gledano, stup najjednostavnije možemo reproducirati kao konzolnu gredu upetu na jednom kraju. Baza stupa, odnosno dio gdje stup sidrimo u nadozid, reproduciramo kao upeti kraj. Međutim, ako поближе pogledamo bazu, ono nije stopostotno upeti oslonac, što se pojašnjava kasnije kroz rad.



Slika 10. Statički sustav stupa [izradio autor]

Isti princip primijenjen za usis koristi se za generiranje sile potiska vjetra. U ovoj situaciji, stalno opterećenje povoljno djeluje u odnosu na vjetar. Kombinirajući opterećenje vjetra i stalno opterećenje, zaključuje se da je sustav sa usisnom silom dominantniji. To znači da ukoliko karakteristike strukture zadovoljavaju zahtjeve za usis, također će zadovoljiti i za pritisak vjetra.





Slika 11. Statički sustav za opterećenje potiskom vjetra [izradio autor]

## 2.2. Karakteristike čeličnog stupa

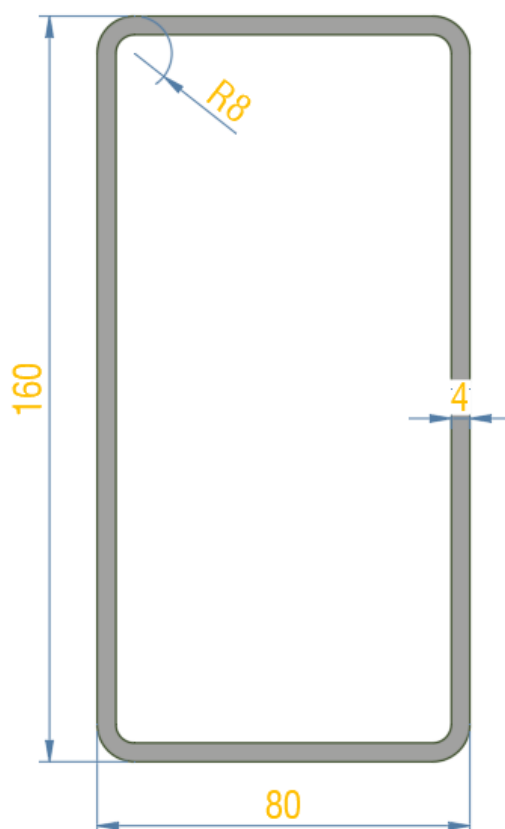
Čelični stup izrađen je od strukturalnog čelika S235. Svojstva materijala uzeta su prema standardima BS EN 1993-1-1, BS EN 10025-2 i BS EN 10219-1. Zbog svojih mehaničkih svojstava i pristupačnosti, čelik S235 često nalazi primjenu u građevinskim konstrukcijama kao što su nosači, stupovi, okviri i drugi nosivi elementi. Njegova standardizirana specifikacija omogućava dosljednost i pouzdanost materijala u raznim projektima. Čelik S235 predstavlja ravnotežu između čvrstoće i obradivosti te je ključan za stvaranje izdržljivih i sigurnih građevinskih konstrukcija. [16]

$E$	=	210000 N/mm <sup>2</sup>	Modul elastičnosti
$G$	=	81000 N/mm <sup>2</sup>	Modul smicanja
$\nu$	=	0.3	Poissonov koeficijent
$\alpha$	=	12e <sup>-6</sup> /°C	Koeficijent linearnog toplinskog širenja
$\rho$	=	7850 kg/m <sup>3</sup>	Specifična masa

Tablica 1. Svojstva čelika S235 [izradio autor]

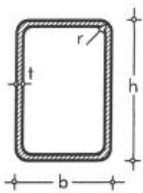
Oznaka	Debljina	Čvrstoća materijala $f_y$	Granica popuštanja $f_u$
	mm	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
S 235	$t \leq 40$	235	360

Poprečni presjek čeličnog stupa izrađen je od pravokutnog cijevnog profila RHS 160 x 80 x 4 mm.



Slika 12. Poprečni presjek stupa [izradio autor]

## DIMENZIJE I STATIČKE VELIČINE POPREČNIH PRESJEKA PROFILA



### Pravokutni cijevni profili

TOPLO DOGOTOVLJENI

prema DIN 59410

PROFIL	G kg/m	A cm <sup>2</sup>	DIMENZIJE POP. PRESJEKA				KONSTANTE		OPLOŠJE A <sub>L</sub> m <sup>2</sup> /m	KLASE POP. PR.								
			h mm	b mm	t mm	r mm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>		Savijanje oko y-y				Tlak				
										S	S	S	S	S	S	S	S	
150x100x5.6	20.4	25.9	150	100	5.6	11.2	893	153	0.481	1	1	1	1	1	1	1	1	2
150x100x6.3	22.7	28.9	150	100	6.3	12.6	989	170	0.478	1	1	1	1	1	1	1	1	1
150x100x7.1	25.3	32.2	150	100	7.1	14.2	1093	189	0.476	1	1	1	1	1	1	1	1	1
150x100x8.0	28.1	35.8	150	100	8.0	16.0	1205	209	0.473	1	1	1	1	1	1	1	1	1
150x100x8.8	30.5	38.9	150	100	8.8	17.6	1300	227	0.470	1	1	1	1	1	1	1	1	1
150x100x10.0	34.1	43.4	150	100	10.0	20.0	1432	252	0.466	1	1	1	1	1	1	1	1	1
150x100x11.0	36.9	47.0	150	100	11.0	22.0	1535	272	0.462	1	1	1	1	1	1	1	1	1
150x100x12.5	41.0	52.2	150	100	12.5	25.0	1674	301	0.457	1	1	1	1	1	1	1	1	1
160x80x3.6	12.9	16.4	160	80	3.6	7.2	449	86.0	0.468	1	1	1	1	1	3	4	4	4
160x80x4.0	14.2	18.1	160	80	4.0	8.0	494	94.8	0.466	1	1	1	1	1	2	3	4	4
160x80x4.5	15.9	20.3	160	80	4.5	9.0	549	106	0.465	1	1	1	1	1	1	2	3	4
160x80x5.0	17.5	22.4	160	80	5.0	10.0	601	116	0.463	1	1	1	1	1	1	2	3	3
160x80x5.6	19.5	24.8	160	80	5.6	11.2	663	129	0.461	1	1	1	1	1	1	1	2	2
160x80x6.3	21.7	27.6	160	80	6.3	12.6	731	143	0.458	1	1	1	1	1	1	1	1	1
160x80x7.1	24.2	30.8	160	80	7.1	14.2	805	158	0.456	1	1	1	1	1	1	1	1	1
160x80x8.0	26.8	34.2	160	80	8.0	16.0	884	175	0.453	1	1	1	1	1	1	1	1	1
160x80x8.8	29.2	37.1	160	80	8.8	17.6	949	189	0.450	1	1	1	1	1	1	1	1	1
160x80x10.0	32.5	41.4	160	80	10.0	20.0	1040	210	0.446	1	1	1	1	1	1	1	1	1
160x80x11.0	35.2	44.8	160	80	11.0	22.0	1108	226	0.442	1	1	1	1	1	1	1	1	1
160x80x12.5	39.0	49.7	160	80	12.5	25.0	1197	249	0.437	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Slika 13. Dimenzije i statičke veličine poprečnog presjeka stupa [16]

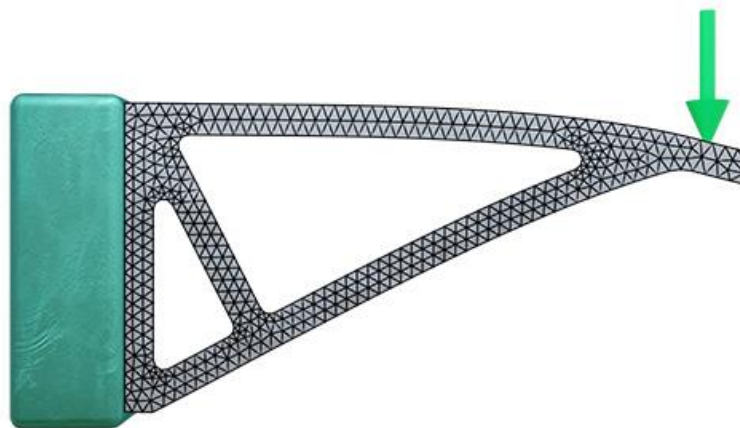
Šuplji profili imaju optimalan omjer mase i čvrstoće. Pravilno dimenzionirane stijenske profila omogućuju podnošenje visokih opterećenja uz relativno nisku masu. Ovo je posebno korisno u projektima gdje je ravnoteža između nosivosti i ukupne mase ključna. Korištenjem šupljih cijevnih profila smanjuje se potrošnja materijala u usporedbi s punim čelikom. To ne samo da smanjuje troškove, već i podržava održiviji pristup gradnji, smanjujući resurse potrebne za proizvodnju i transport. Jednostavnost gradnje i montaže također su prednosti šupljih profila. Njihova pravilna geometrija olakšava spajanje s drugim konstrukcijskim elementima, što rezultira bržim izvođenjem i potencijalno nižim troškovima rada. [16]

### 3. UVOD U METODU KONAČNIH ELEMENATA

Postoji mnogo različitih analitičkih metoda koje inženjeri mogu koristiti za rješavanje problema konstrukcijske mehanike, bilo da se radi o izračunavanju otklona grede ili napreznja u ravnoj ploči. Međutim, često se susrećemo s problemima koji se ne mogu riješiti na ovaj način, obično zato što su opterećenja, geometrija ili materijali presloženi. [2]

Metoda konačnih elemenata je numerička tehnika koja se koristi za dobivanje približnih rješenja problema koji su regulirani diferencijalnim jednadžbama. Ima mnogo primjera u inženjerstvu, ali najčešće se koristi za provođenje strukturalne analize, rješavanje problema prijenosa topline ili modeliranje strujanja fluida. Neki od primjera gdje se primjenjuje metoda konačnih elemenata jest prilikom provjere hoće li komponente satelita „preživjeti“ lansiranje te u automobilske industriji za optimizaciju dizajna automobilskih komponenti, poput sustava ovjesa. [2]

Cilj analize statičkog napreznja obično bi bilo izračunati napreznja, deformacije i pomake unutar nosača. Te se nepoznanice nazivaju varijable polja. Unutarnja napreznja razvijaju se unutar polja na takav način da održavaju ravnotežu u bilo kojem volumenu tijela, tako da možemo primijeniti koncept ravnoteže za izračunavanje varijabli polja. To je lako učiniti za jednostavnu gred, možemo koristiti ravnotežu za izračunavanje momenta savijanja i posmične sile duž grede, a zatim možemo izračunati normalna i posmična napreznja u gredi. Provođenje ravnoteže nad dvodimenzionalnim oblikom je teško, a postaje još kompliciranije za dvodimenzionalno tijelo. Metoda konačnih elemenata pristupa ovom problemu dijeljenjem tijela na više malih elemenata koji su međusobno povezani u čvorovima. Taj se proces naziva diskretizacija, a skup čvorova i elemenata naziva se mreža. [2]



Slika 14. Primjer diskretizirane mreže nosača [2]

Diskretizacija je korisna jer zahtjev ravnoteže sada treba zadovoljiti samo preko konačnog broja diskretnih elemenata, umjesto kontinuirano preko cijelog tijela. Može se koristiti nekoliko različitih oblika elementa. [2]

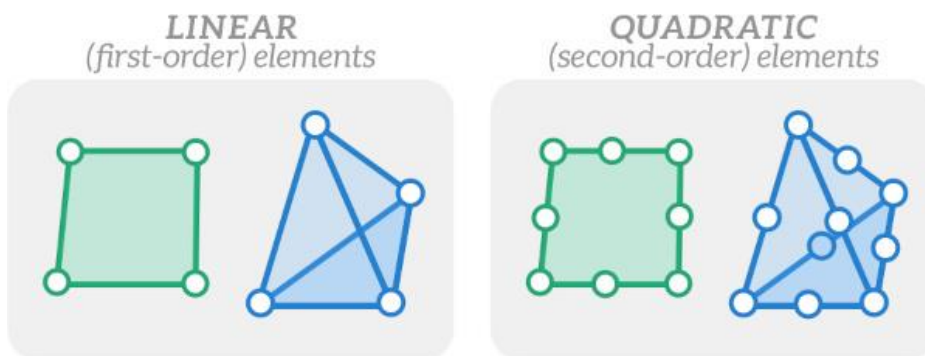
- Linijski elementi se koriste za modeliranje jednodimenzionalnih struktura poput šipke, koja nosi samo aksijalna opterećenja, ili greda, koja može nositi aksijalna, savojna, posmična i torzijska opterećenja.
- Površinski elementi se koriste za modeliranje tankih površina poput ljuski. Mogu biti trokutasti ili četverokutni. Trokutasti elementi dobri su za modeliranje nezgrapnih tijela, iako četverokutni imaju bolju izvedbu. Potrebno je definirati debljinu elementa.
- Prostorni elementi se koriste za trodimenzionalna tijela. Najčešće su to tetraedarski ili heksaedarski elementi, iako se mogu koristiti i elementi klinastog ili piramidalnog oblika.

Kompleksne geometrije često se mogu modelirati samo pomoći trokutastih ili tetraedarskih elemenata. Četverokutni i heksaedarski elementi najbolje odgovaraju pravilnog geometriji, gdje su preferirani u odnosu na trokutaste i tetraedarske elemente jer su efikasniji i zahtijevaju manje čvorova. [2]

Elementi se ne razlikuju samo na temelju svojeg oblika, dva elementa mogu imati potpuno isti oblik, ali potpuno različite formulacije koje ih čine prikladnim za različite vrste analiza jer odgovaraju različitim pretpostavkama i različitim pristupima modeliranju. [2]

- Ravninski naponski elementi su dvodimenzionalni površinski elementi koji su dizajnirani za upotrebu u uvjetima ravninskog naprezanja.
- Ravninski elementi deformacije su dvodimenzionalni površinski elementi koji su dizajnirani za upotrebu u uvjetima ravninskog deformiranja.
- Cijevni elementi su jednodimenzionalni linijski elementi koji se koriste za modeliranje cijevi. Razlikuju se od grednih elemenata jer u svojoj formulaciji uzimaju u obzir učinak unutarnje i/ili vanjskog tlaka.

Elementi mogu biti linearni (elementi prvog reda) ili kvadratni (elementi drugog reda). Kvadratni elementi imaju dodatne čvorove na sredini svake strane elementa. Oni zahtijevaju više računске snage, ali pružaju preciznije rezultate od linearnih elemenata. [2]

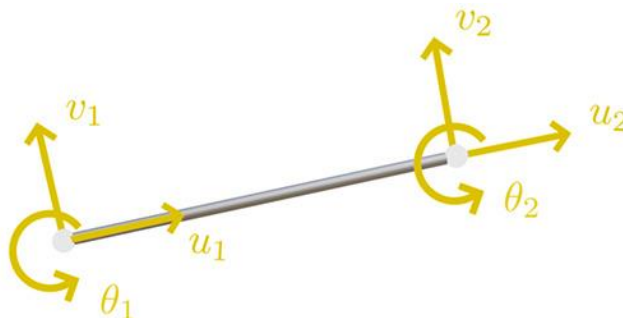


Slika 15. Najčešći tipovi elemenata [2]

Svaki čvor u mreži konačnih elemenata ima određeni broj sloboda kretanja. Na primjer, u dvodimenzionalnoj analizi naprezanja svaki čvor će imati 3 stupnja slobode – translaciju u X i Y osima te rotaciju oko Z osi. [2]

Za svaki element u mreži je definiran vektor  $\{v\}$  koji pohranjuje sve stupnjeve slobode za taj element. Na primjer, za gredni element u dvodimenzionalnoj analizi ukupno će biti 6 stupnjeva sloboda kretanja (tri u svakom čvoru), pa će vektor  $\{v\}$  izgledati ovako:

$$\{v\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad (1)$$



Slika 16. Stupnjevi slobode za 2D gredni element [2]

Za trodimenzionalan slučaj, povećava se na 6 stupnjeva slobode po čvoru pa će vektor  $\{v\}$  izgledati ovako:

$$\{v\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ \theta_{x1} \\ \theta_{y1} \\ \theta_{z1} \\ u_2 \\ v_2 \\ w_2 \\ \theta_{x2} \\ \theta_{y2} \\ \theta_{z2} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Svaki element u mreži ima određenu krutost koja određuje koliko će se čvorovi elemenata pomaknuti kada djeluju sile na njih. Odnosno, možemo smatrati da elementi naše mreže imaju određenu količinu krutosti, koja se odupire deformaciji. [2] Ovo ponašanje može se prikazati jednadžbom u nastavku:

$$\{f\} = [k]\{u\} \quad (3)$$

Pomaci (translacija i rotacija) u vektoru pomaka čvorova  $\{v\}$  ovise o vektoru čvornih sila  $\{f\}$  koji sadrži opterećenja (sile i momente) djelujuće na čvorove elementa, kao i o matrici krutosti elementa  $[k]$ . Ovo je analogno Hookovom zakonu za oprugu, gdje pomak opruge ovisi o primijenjenoj sili i krutosti opruge. [2]



$$F = -kx$$

Slika 17. Matrica krutosti analogna je krutosti opruge

Matrični oblik Hookovog zakona je slijedeći:

$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ m_1 \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ m_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} & k_{46} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} & k_{56} \\ k_{61} & k_{62} & k_{63} & k_{64} & k_{65} & k_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad (4)$$

- Matrica krutosti elementa ovisi o vrsti elementa za koji se koristi. Matrica krutosti za gredni element prikazana je u nastavku. Termini u matrici ovise o geometriji i materijalu grede.  $A$  je površina presjeka grede,  $E$  je Youngov modul elastičnosti materijala,  $I$  je drugi moment površine presjeka grede, a  $L$  je duljina elementa grede.



$$\begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{-AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{-12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & \frac{-6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ \frac{-AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-12EI}{L^3} & \frac{-6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{-6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & \frac{-6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

Slika 18. Matrica krutosti za 2D gredni element

Matrica krutosti elementa uvijek je kvadratna matrica – broj redaka i broj stupaca jednaki su broju stupnjeva slobode elementa. [2]

$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ m_1 \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ m_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{-AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{-12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & \frac{-6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ \frac{-AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-12EI}{L^3} & \frac{-6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{-6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & \frac{-6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad (5)$$

Matrica krutosti za određeni element izvedena je iz jednadžbe ravnoteže koje upravljaju ponašanjem tog elementa. Ove jednadžbe uglavnom su diferencijalne jednadžbe. Na primjer, savijanje grede može se odrediti iz diferencijalne jednadžbe prikazane u nastavku, gdje  $x$  označava udaljenost duž grede,  $y(x)$  je pomak grede,  $M(x)$  je moment savijanja na udaljenosti  $x$  i  $EI$  savojna krutost poprečnog presjeka grede. [2]

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (6)$$

Postoji nekoliko metoda za izvod matrica krutosti, a sve se temelje na konceptu ravnoteže. [2]

**Direktna metoda** izvodi matricu krutosti izravno iz jednadžbi ravnoteže koje upravljaju ponašanjem elementa. . Na primjer, jednadžba za bočnu deformaciju grede,

$$EI \frac{d^4 v(x)}{dx^4} = q(x) \quad (7)$$

primjerice, može se primijeniti kako bismo dobili matricu krutosti za element grede. Ove upravljačke jednadžbe obično su diferencijalne jednadžbe. Diferencijalne jednadžbe i pripadajući rubni uvjeti predstavljaju jaku formulaciju problema ravnoteže (4.1.1). Međutim, rješavanje jake forme uglavnom je moguće samo za jednostavne elemente. Za općenitije slučajeve koriste se tzv. slabe forme (4.1.2.) koje diferencijalne jednadžbe opisuju u integralnom obliku, umjesto da se rješavaju direktno. [2]

Slabe forme daju približna rješenja jednadžbi ravnoteže, ali su lakše za rješavanje. Prva od metoda slabe formulacije temelji se na varijacijskim principima. Jedan od često korištenih principa u konstrukcijskoj mehanici je Princip minimalne potencijalne energije. Ovaj princip tvrdi da je konfiguracija pomaka koja zadovoljava ravnotežne uvjete ona koja minimizira ukupnu potencijalnu energiju. Potencijalna energija predstavlja zbroj energije deformacija i potencijalne energije vanjskih opterećenja. [2]

$$\Pi = U_e + V \quad (8)$$

**Rayleigh – Ritzova metoda** temelji se na varijacijskoj formulaciji problema. Za razliku od metode težinskog reziduala, koja je opisana kasnije u radu, gdje se rješava diferencijalna jednadžba, tu je potrebno zadovoljiti uvjet stacionarnosti funkcionala koji opisuje razmatrani problem. Nepoznata funkcija pretpostavlja se u obliku sume umnoška linearno neovisnih funkcija  $f_i$  i nepoznatih parametara  $a_i$ . Budući da se uzima funkcional u kojemu su sadržani prirodni rubni uvjeti, dovoljno je da pretpostavljena funkcija zadovoljava samo geometrijske rubne uvjete. Prirodni rubni uvjeti opisuju ponašanje derivacija funkcija prema normalni na granici domene, ovi rubni uvjeti se obično primjenjuju kao dio integrala na rubu domene prilikom formulacije matematičkog modela. Geometrijski rubni uvjeti obično se koriste za opisivanje fiksni vrijednosti funkcije na granici domene. Ovi rubni uvjeti se primjenjuju tako da se na određenim dijelovima ruba domene postave fiksne vrijednosti. [2]

Nepoznate veličine izračunavaju se iz uvjeta stacionarnosti funkcionala. Za rješavanje problema u mehanici elastičnih tijela funkcional je jednak ukupnoj potencijalnoj energiji, a stacionarna vrijednost odgovara njenoj minimalnoj vrijednosti. [2]

Druga metoda slabe formulacije je **Galerkinova metoda** težinskog reziduala. U ovoj metodi funkcija koja zadovoljava diferencijalnu jednadžbu aproksimirana je kao zbroj pretpostavljenih ispitnih funkcija koje svaka ima nepoznate koeficijente. [2]

$$y^*(x) = \sum_{i=1}^n C_i N_i(x) \quad (9)$$

$$y^*(x) = C_1 N_1(x) + C_2 N_2(x) + \dots + C_n N_n(x) \quad (10)$$

Gdje je  $y^*(x)$  aproksimirana jednadžba,  $C_i$  koeficijenti, a  $N_i(x)$  ispitna funkcija.

To približno rješenje se zamjenjuje u diferencijalnoj jednadžbi, i dobiva se jednadžba za grešku, nazvana ostatak. [2]

$$R(x) = D(y^*(x), x) \quad (11)$$

Ostatak je nula, ako je  $y^*(x)$  točno rješenje. Ako pomnožimo svaku ispitnu funkciju s ostatkom i postavimo integral ovog produkta na nulu, možemo izračunati nepoznate koeficijente koji minimaliziraju ostatak. To nam daje približno rješenje diferencijalne jednadžbe. [2]

$$\int_a^b N_1 R(x) dx = 0 \quad (12)$$

$$\int_a^b N_2 R(x) dx = 0 \quad (13)$$

$$\int_a^b N_n R(x) dx = 0 \quad (14)$$

Ovo je pristup koji je široko primjenjiviji od principa minimalne potencijalne energije, ali za probleme analize naprežanja oba pristupa daju isti rezultat. [2]

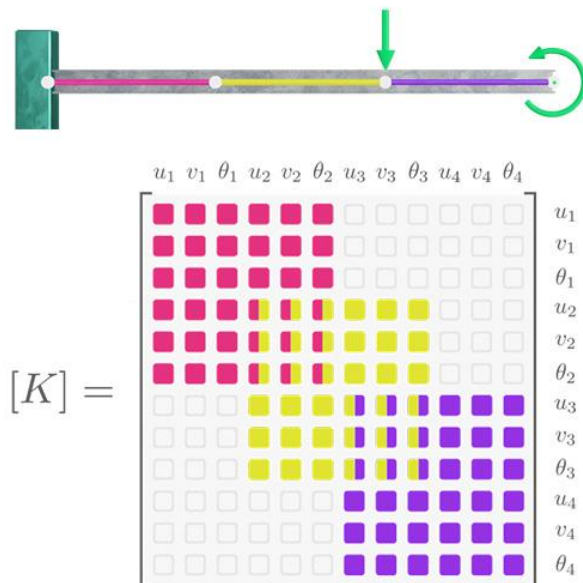
Ova metoda je šire primjenjiva od principa minimalne potencijalne energije, ali za analizu naprežanja oba pristupa daju isti rezultat. Bez obzira na odabranu metodu, rezultat je matrica krutosti za određeni element. [2]

Da bi se ove metode primijenile, potrebno je definirati način kako su pomaci i druge poljne varijable (poput napona i deformacija) definirani unutar elementa, umjesto samo u čvorovima elementa. Da bi se to postiglo, definiraju se interpolacijske funkcije

nazvane oblikovne funkcije (*shape functions*) koje interpoliraju vrijednosti varijable na čvorovima elementa kako bi pridružile vrijednosti bilo gdje unutar elementa. Oblikovne funkcije su pretpostavljene funkcije, često se koriste polinomi jer su relativno jednostavni za izračun te dovoljno precizni. [2]

Kada su matrice krutosti elementa za sve elemente u mreži definirane, mogu se zatim sastaviti kako bi se stvorila ogromna globalna matrica krutosti [ $K$ ] koja predstavlja krutost cijele strukture. Kao i matrica krutosti elementa, globalna matrica krutosti je kvadratna matrica, a broj redaka i stupaca jednak je ukupnom broju stupnjeva slobode u modelu. Jedan čvor može biti povezan s više elemenata, pa se krutostni članovi koji se odnose na određeni stupanj slobode mogu sastojati od doprinosa različitih matrica krutosti elementa. Odnosno, način na koji se matrice krutosti elementa sastavljaju ovisi o načinu na koji su elementi mreže međusobno povezani. [2]

Slika ispod ilustrira način na koji se sastavlja globalna matrica krutosti za jednostavan model nosača (konzole) koja ima tri elementa i četiri čvora. U praksi, modeli metode konačnih elemenata često imaju stotine tisuća čvorova i elemenata, pa je rezultirajuća matrica vrlo velika. [2]



Slika 19. Ilustracija globalne matrice krutosti sastavljene od tri matrice krutosti na temelju povezanosti elemenata [2]

Stvarna globalna matrica za ovaj model prikazana je u nastavku. Njene karakteristike su da je rijetka, jer sadrži mnogo nula te trakasta, jer su članovi različiti od nule grupirani oko dijagonale. [2]

$$[K] = \begin{bmatrix}
 \frac{A_1 E_1}{L_1} & 0 & 0 & -\frac{A_1 E_1}{L_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{12 E_1 I_1}{L_1^3} & \frac{6 E_1 I_1}{L_1^2} & 0 & -\frac{12 E_1 I_1}{L_1^3} & \frac{6 E_1 I_1}{L_1^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{6 E_1 I_1}{L_1^2} & \frac{4 E_1 I_1}{L_1} & 0 & -\frac{6 E_1 I_1}{L_1^2} & \frac{2 E_1 I_1}{L_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{A_1 E_1}{L_1} & 0 & 0 & \frac{A_1 E_1}{L_1} + \frac{A_2 E_2}{L_2} & 0 & 0 & -\frac{A_2 E_2}{L_2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -\frac{12 E_1 I_1}{L_1^3} & -\frac{6 E_1 I_1}{L_1^2} & 0 & \frac{12 E_1 I_1}{L_1^3} + \frac{12 E_2 I_2}{L_2^3} & -\frac{6 E_1 I_1}{L_1^2} + \frac{6 E_2 I_2}{L_2^2} & 0 & -\frac{12 E_2 I_2}{L_2^3} & \frac{6 E_2 I_2}{L_2^2} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{6 E_1 I_1}{L_1^2} & \frac{2 E_1 I_1}{L_1} & 0 & -\frac{6 E_1 I_1}{L_1^2} + \frac{6 E_2 I_2}{L_2^2} & \frac{4 E_1 I_1}{L_1} + \frac{4 E_2 I_2}{L_2} & 0 & -\frac{6 E_2 I_2}{L_2^2} & \frac{2 E_2 I_2}{L_2} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -\frac{A_2 E_2}{L_2} & 0 & 0 & \frac{A_2 E_2}{L_2} + \frac{A_3 E_3}{L_3} & 0 & 0 & -\frac{A_3 E_3}{L_3} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{12 E_2 I_2}{L_2^3} & -\frac{6 E_2 I_2}{L_2^2} & 0 & \frac{12 E_2 I_2}{L_2^3} + \frac{12 E_3 I_3}{L_3^3} & -\frac{6 E_2 I_2}{L_2^2} + \frac{6 E_3 I_3}{L_3^2} & 0 & -\frac{12 E_3 I_3}{L_3^3} & \frac{6 E_3 I_3}{L_3^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{6 E_2 I_2}{L_2^2} & \frac{2 E_2 I_2}{L_2} & 0 & -\frac{6 E_2 I_2}{L_2^2} + \frac{6 E_3 I_3}{L_3^2} & \frac{4 E_2 I_2}{L_2} + \frac{4 E_3 I_3}{L_3} & 0 & -\frac{6 E_3 I_3}{L_3^2} & \frac{2 E_3 I_3}{L_3} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{A_3 E_3}{L_3} & 0 & 0 & \frac{A_3 E_3}{L_3} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{12 E_3 I_3}{L_3^3} & -\frac{6 E_3 I_3}{L_3^2} & 0 & \frac{12 E_3 I_3}{L_3^3} & -\frac{6 E_3 I_3}{L_3^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{6 E_3 I_3}{L_3^2} & \frac{2 E_3 I_3}{L_3} & 0 & -\frac{6 E_3 I_3}{L_3^2} & \frac{4 E_3 I_3}{L_3}
 \end{bmatrix} \tag{15}$$

---

Globalna FEM<sup>1</sup> jednadžba opisuje odnos između sila i momenata koji djeluju na sve čvorove u mreži  $\{F\}$ , pomaka i rotacija na svim čvorovima u mreži (tj. svim stupnjevima slobode)  $\{U\}$  i globalne matrice krutosti  $[K]$ . [2]

$$[F] = [K]\{U\} \quad (16)$$

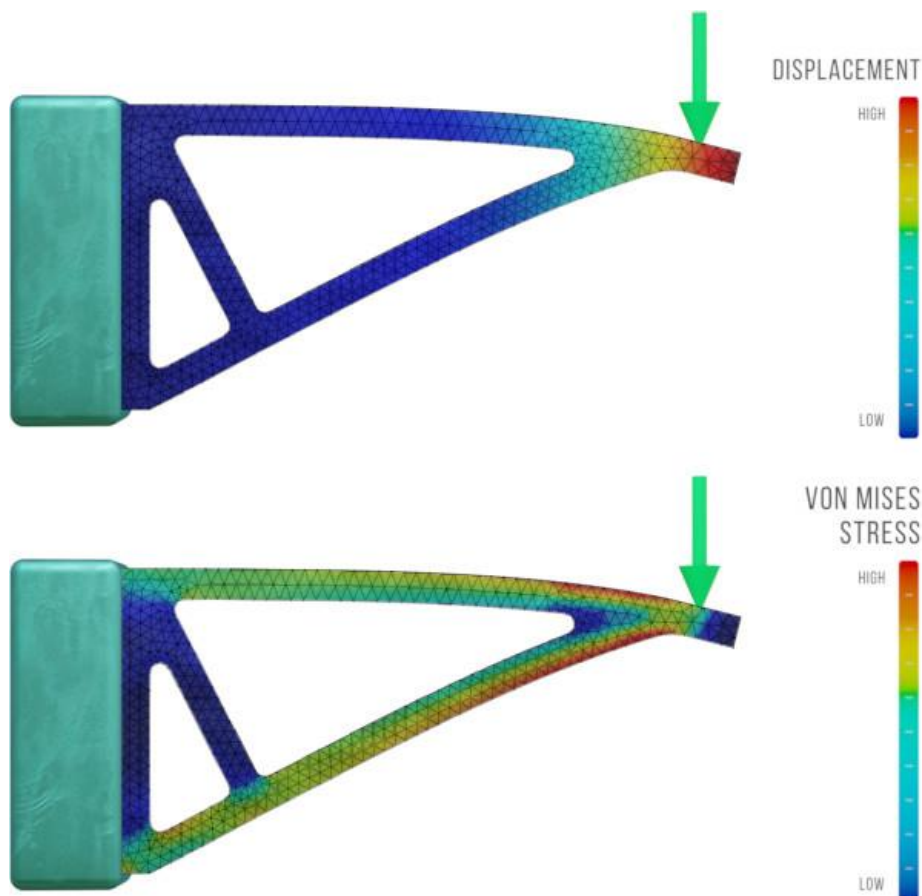
Čvorni pomaci i rotacije  $\{U\}$  su nepoznanice koje pokušavamo odrediti. Prije rješavanja ove jednadžbe, vektor čvornih sila  $\{F\}$  treba popuniti s bilo kojim poznatim vanjskim opterećenjima, a vektor čvornih pomaka  $\{U\}$  treba popuniti si bio kojim graničnim uvjetima. Granični uvjeti (rubni uvjeti) su poznati pomaci na određenim čvorovima. Na primjer, ako je čvor potpuno fiksiran, stupnjevi slobode u vektoru  $\{U\}$  koji odgovaraju pomacima i rotacijama na tom čvoru bit će jednaki nuli. [2]

Uobičajeni pristup koji se može koristiti za rješavanje jednadžbe oblika  $[F] = [K]\{U\}$  je invertiranje globalne matrice krutosti  $[K]$  i rješavanje za vektor pomaka  $[U]$ . Međutim, za veliki model to bi bilo prilično zahtjevno, a također bi bilo neefikasno jer je globalna matrica krutosti vrlo velika i sadrži mnogo nula. Umjesto toga, komercijalno se uglavnom koriste metode koje uključuju iterativno aproksimiranje vektora pomaka, poput metode konjugiranih gradijenata, za rješavanje FEM (MKE) analize. [2]

Rješavanje globalne FEM jednadžbe pruža pomake (translacije i rotacije) na svakom čvoru u mreži. Ti pomaci se mogu koristiti za izračunavanje deformacija u svakom od elementa, a zatim se iz tih deformacija mogu odrediti druge izlazne veličine poput glavnih napona ili napona prema Von Misesu. [2]

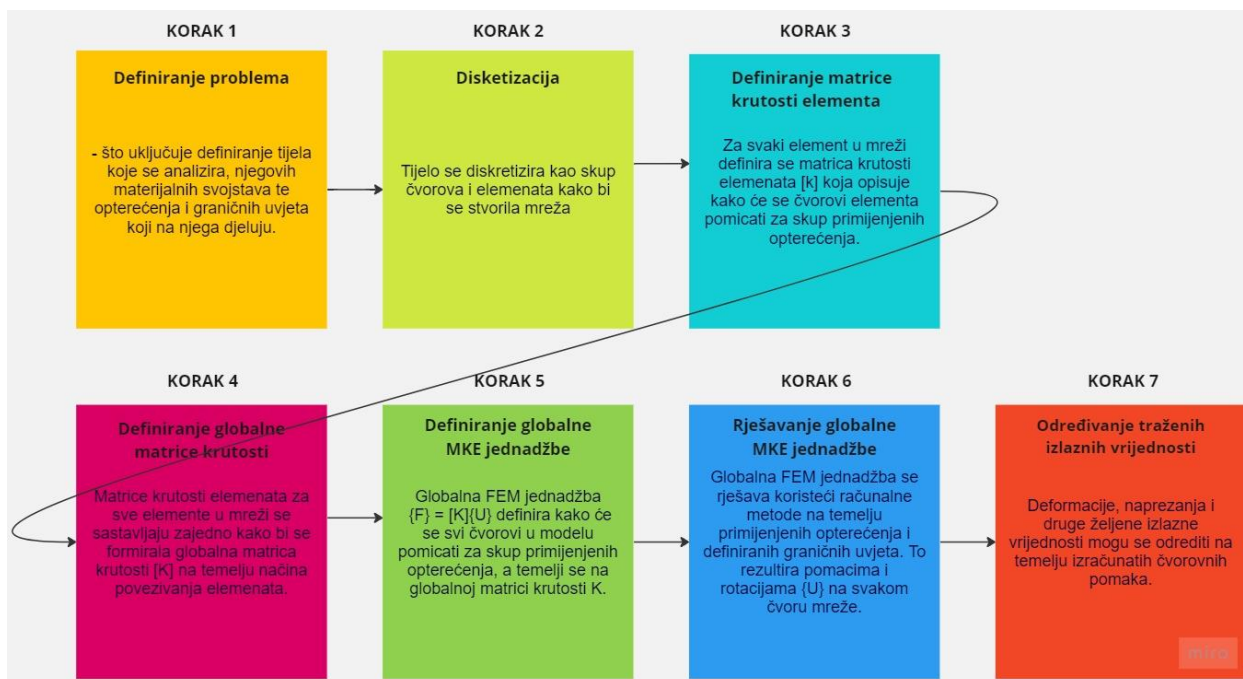
---

<sup>1</sup> Finite element method



Slika 20. Primjer pomaka i von Misesovog ekvivalentnog napreznja [2]

Postupak primjene metode konačnih elemenata za provođenje analize napreznja može se sažeti u sedam koraka prikazanih u nastavku. Prilikom rada sa softverom za FEM analizu, neke od ovih koraka obavlja korisnik (na primjer definiranje opterećenja i rubnih uvjeta), dok neke obavlja softver( na primjer definiranje matrica krutosti elemenata i rješavanje globalne FEM jednadžbe). [2]



Slika 21. Sedam koraka primjene metode konačnih elemenata [izradio autor]



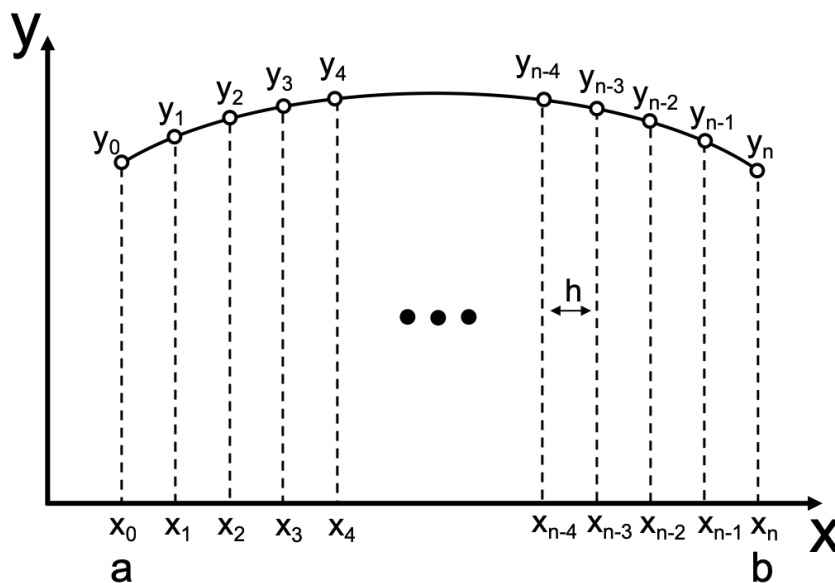
---

#### 4. METODA KONAČNIH RAZLIKA

Metoda konačnih razlika je numerička metoda koja se koristi za rješavanje diferencijalnih jednadžbi i simulaciju fizičkih sustava. Široko se primjenjuje u mnogim područjima, uključujući fiziku, inženjering te financije. Temelji se na diskretizaciji kontinuiranih funkcija, gdje se kontinuirane jednadžbe zamjenjuju diskretnim aproksimacijama. Te aproksimacije se zatim mogu lako rješavati pomoću numeričkih algoritama. Metoda uključuje podjelu domene problema na mrežu diskretnih točaka. Na svakoj točki, vrijednost funkcije se aproksimira koristeći vrijednost funkcije na susjednim točkama. Točnost aproksimacije ovisi o veličini mreže i redu korištenog konačnog diferencijalnog skupa. [3]

Metoda konačnih razlika datira iz ranog 18. stoljeća, kada ju je K.F. Gauss primijenio za rješavanje graničnih vrijednosnih problema u fizici. Međutim, tek je sredinom 20. stoljeća metoda stekla široku popularnost u znanstvenoj zajednici s dolaskom digitalnog računalstva. Nakon toga intenzivno se koristi u različitim područjima znanosti i inženjeringa. Primijenjena je za rješavanje širokog spektra problema u dinamici fluida, strukturalnoj analizi, prijenosu topline i elektromagnetnim simulacijama. U inženjeringu, često se koristi za strukturalnu analizu, gdje se može koristiti za izračun naprezanja i deformacija u složenim konstrukcijama. Također se može koristiti za simulaciju prijenosa topline u materijalima, poput hlađenja vruće metalne šipke ili zagrijavanja zgrade. [3]

Prvi korak u metodi konačnih razlika je diskretizacija kontinuiranih jednadžbi. To uključuje podjelu domene funkcije na skup diskretnih mrežnih točaka. Na svakoj mrežnoj točki, funkcija je predstavljena skupom konačnog broja brojeva, obično samom vrijednošću funkcije i njenim derivacijama. Razmak između mrežnih točaka naziva se veličina mreže ili korak, označen sa  $h$ . Izbor veličine mreže ključan je u metodi konačnih razlika. Manja veličina mreže dovodi do preciznijeg rješenja, ali zahtjeva više računalnih resursa. S druge strane, veća veličina mreže dovodi do manje preciznog rješenja, ali zahtjeva manje računalnih resursa. [3]



Slika 22. Diskretizacija funkcije [4]

Jednadžbe konačnih razlika mogu biti definirane preko slijedeće (forward differences), središnje (central differences) ili prethodne (backward differences) točke na domeni. Treba napomenuti da formulacija preko središnje točke daje najmanju grešku (to se može lako matematički dokazati preko razvoja u Taylorov red), te ju stoga valja najčešće koristiti. [5]

### Prva derivacija

1. preko slijedeće točke

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_i \approx \frac{y_{i+1} - y_i}{h} \quad (17)$$

2. preko središnje točke

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_i \approx \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2h} \quad (18)$$

3. preko prethodne ploče

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_i \approx \frac{y_i - y_{i-1}}{h} \quad (19)$$

Za rješavanje diferencijalne jednadžbe treba nam i druga derivacija. [5]

1. preko slijedeće točke

$$\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)_i \approx \frac{y_{i-2} - 2y_{i+1} + y_{i+2}}{h^2} \quad (20)$$

2. preko središnje točke

$$\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)_i \approx \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{h^2} \quad (21)$$

3. preko prethodne točke

$$\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)_i \approx \frac{y_{i-2} - 2y_{i-1} + y_i}{h^2} \quad (22)$$

Na sličan način možemo definirati i ostale derivacije, prema potrebi, ovisno kakvu diferencijalnu jednadžbu rješavamo. [5]

#### 4.1. Usporedba s metodom konačnih elemenata

Metoda konačnih razlika (FDM) i metoda konačnih elemenata (FEM) su dvije numeričke tehnike koje omogućavaju rješavanje složenih diferencijalnih problema i analizu fizičkih fenomena. Iako se razlikuju u detaljima, obje metode dijele ključne koncepte. Osnovna sličnost između FDM i FEM leži u njihovom pristupu diskretizacije domene. Obe metode dijele domenu na manje dijelove kako bi se složeni diferencijalni problemi razbili na manje, upravljive komponente. Ovaj proces omogućuje računalima da numerički rješavaju problema koji bi inače bili teški ili nemogući za analizu analitičkim metodama. Dalje, obje metode koriste aproksimaciju derivacija kako bi se prešlo sa diferencijalnih jednadžbi na algebarske izraze koje računala mogu rješavati. Ovdje se FDM oslanja na razlike između diskretnih točaka kako bi približio derivacije, dok FEM koristi interpolaciju čvorova unutar geometrijskih elemenata za istu svrhu. Unatoč ovim sličnostima, postoje i ključne razlike između dviju metoda. Prva razlika je u načinu diskretizacije. FDM koristi mrežu diskretnih točaka unutar domene, dok FEM koristi geometrijske elemente kao gradivne blokove za diskretizaciju. Također, primjena ovih metoda se razlikuje. FDM se često koristi za dinamičke probleme koji uključuju promjene u vremenu i prostoru, poput toplinskog prijenosa ili transporta tvari. S druge strane, FEM se često koristi za analizu mehaničkih svojstava materijala, deformacija, naprezanja i drugih problema koji se mogu modelirati diferencijalnim jednadžbama. Varijable koje se koriste također se razlikuju. U FDM-u se često koriste jedno- ili višedimenzionalne funkcije kako bi se opisali fizikalni parametri problema. U

FEM-u, funkcije se definiraju na geometrijskim elementima koji oblikuju domenu problema. Konačno, razlike se pojavljuju i u matematičkom aspektu rješavanja. FDM često rezultira u tridiagonalnim matricama, dok FEM može proizvesti različite matrice ovisno o problemu, zahtijevajući specifične metode rješavanja. U zaključku, iako se metoda konačnih razlika i metoda konačnih elemenata razlikuju u svojim tehnikama i primjenama, njihova zajednička svrha je omogućiti analizu složenih problema kroz diskretizaciju, aproksimaciju i numeričko rješavanje. Ovo omogućuje inženjerima i znanstvenicima da dublje razumiju razne fizičke fenomene i razviju precizne modele za analizu i predviđanje ponašanja materijala i sustava.

Također, metode počivaju na različitim teoretskim postavkama. Metoda konačnih elemenata kreće od takozvane „slabe formulacije“, dok metoda konačnih razlika iz takozvane „jake formulacije“.

#### 4.1.1. Jaka formulacija

Jaka formulacija je naziv za problem opisan diferencijalnom jednadžbom i podrazumijeva definiranje rubnih uvjeta da bismo mogli riješiti tu diferencijalnu jednadžbu. Sažeto, jaka formulacija rubnog problema (S) se može pisati

$$\begin{cases} \forall f: \bar{\Omega} \rightarrow R \text{ nađi } u: \bar{\Omega} \rightarrow R \\ u_{,xx}(x) + f(x) = 0 \\ u(1) = g \\ -u_x = h \end{cases} \quad (23)$$

gdje su  $g$  i  $h$  konstante. [6]

Nas zanima numerički postupak za dobivanje približnog rješenja problema (S) u slučajevima koji se ne mogu analitički riješiti. [6]

#### 4.1.2. Slaba formulacija

Slaba formulacija je naziv za problem čije rješenje tražimo varijabilnim računom a sastoji se u određivanju funkcija koje čine da neki funkcional

$$\pi = \int_{x_1}^{x_2} F(x, u, u_x) dx \quad (24)$$

ograničen sa

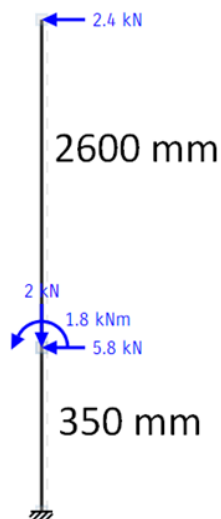
$$J = \int_{x_1}^{x_2} G(x, u, u_x) dx \quad (25)$$

poprima stacionarnu (vanjsku) vrijednost. [6]

#### 4.2. Proračun progiba stupa

Metodom konačnih razlika određen je progib  $w_n$  na slobodnom kraju konzolnog stupa raspona  $L = 2,95$  m, konstantnog poprečnog presjeka opterećenog prema Slici 10..

Radi pojednostavljenja proračuna, sustav se pojednostavljuje na slijedeći način:



Slika 23. Pojednostavljenje sustava za proračun metodom konačnih razlika [izradio autor]

Također, radi jednostavnosti proračuna, sustav je rotiran za 90 stupnjeva udesno, odnosno gledan je kao konzolna greda duljine 2,95 m opterećenja silom prema gore  $P1 = 5,8$  kN te pozitivnim momentom  $M1 = 1,844$  kNm na udaljenosti 0,35 m od upetog oslonca, te silom  $P2 = 2,4$  kN na kraju stupa.

Prvo je napravljena osnovna matrica problema za 8 jednolikih podjela, tako da je  $n=8$ .

ORIGIN := 0

Opterećenje:

P1 := 5.8 kN

P2 := 2.4 kN

M1 := 1.84 kNm

Konstanta krutosti:

E := 210000000 kN/m<sup>2</sup>

I := 0.00000494 m<sup>4</sup>

EI := E·I

EI = 1037.4

Duljina grede:

L := 2.950 m

Broj podjela na gredi:

n := 8

Broj čvorova:

i := 0..n      n + 1 = 9

Veličina inkrimenta:

$\Delta x := \frac{L}{n}$

Koordinate čvorova:

$x_i := \Delta x \cdot i$        $x_i =$

0
0.36875
0.7375
1.10625
1.475
1.84375
2.2125
2.58125
2.95

## Diferencijalne jednačbe za čvorove bez uvođenja rubnih uvjeta:

Q - vanjsko opterećenje

$$i := 0$$

$$w_{i-2} - 4 \cdot w_{i-1} + 6 \cdot w_i - 4 \cdot w_{i+1} + w_{i+2} = Q \rightarrow 6 \cdot w_0 - 4 \cdot w_{-1} - 4 \cdot w_1 + w_{-2} + w_2 = Q$$

$$i := 1$$

$$w_{i-2} - 4 \cdot w_{i-1} + 6 \cdot w_i - 4 \cdot w_{i+1} + w_{i+2} = Q \rightarrow w_{-1} - 4 \cdot w_0 + 6 \cdot w_1 - 4 \cdot w_2 + w_3 = Q$$

$$i := 2$$

$$w_{i-2} - 4 \cdot w_{i-1} + 6 \cdot w_i - 4 \cdot w_{i+1} + w_{i+2} = Q \rightarrow w_0 - 4 \cdot w_1 + 6 \cdot w_2 - 4 \cdot w_3 + w_4 = Q$$

$$i := 3$$

$$w_{i-2} - 4 \cdot w_{i-1} + 6 \cdot w_i - 4 \cdot w_{i+1} + w_{i+2} = Q \rightarrow w_1 - 4 \cdot w_2 + 6 \cdot w_3 - 4 \cdot w_4 + w_5 = Q$$

$$i := 4$$

$$w_{i-2} - 4 \cdot w_{i-1} + 6 \cdot w_i - 4 \cdot w_{i+1} + w_{i+2} = Q \rightarrow w_2 - 4 \cdot w_3 + 6 \cdot w_4 - 4 \cdot w_5 + w_6 = Q$$

$$i := 5$$

$$w_{i-2} - 4 \cdot w_{i-1} + 6 \cdot w_i - 4 \cdot w_{i+1} + w_{i+2} = Q \rightarrow w_3 - 4 \cdot w_4 + 6 \cdot w_5 - 4 \cdot w_6 + w_7 = Q$$

$$i := 6$$

$$w_{i-2} - 4 \cdot w_{i-1} + 6 \cdot w_i - 4 \cdot w_{i+1} + w_{i+2} = Q \rightarrow w_4 - 4 \cdot w_5 + 6 \cdot w_6 - 4 \cdot w_7 + w_8 = Q$$

$$i := 7$$

$$w_{i-2} - 4 \cdot w_{i-1} + 6 \cdot w_i - 4 \cdot w_{i+1} + w_{i+2} = Q \rightarrow w_5 - 4 \cdot w_6 + 6 \cdot w_7 - 4 \cdot w_8 + w_9 = Q$$

$$i := 8$$

$$w_{i-2} - 4 \cdot w_{i-1} + 6 \cdot w_i - 4 \cdot w_{i+1} + w_{i+2} = Q \rightarrow w_6 - 4 \cdot w_7 + 6 \cdot w_8 - 4 \cdot w_9 + w_{10} = Q$$



Matrica sistema bez uvođenja rubnih uvjeta:

$$\underline{\underline{A}}(n,m) := \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n \\ \text{for } j \in 0..m \\ \left. \begin{array}{l} M_{i,j} \leftarrow 0 \\ M_{i,j} \leftarrow -1 \text{ if } i = j \\ M_{i,j} \leftarrow -1 \text{ if } j = 4 + i \\ M_{i,j} \leftarrow -4 \text{ if } j = 1 + i \\ M_{i,j} \leftarrow -4 \text{ if } j = 3 + i \\ M_{i,j} \leftarrow -6 \text{ if } j = 2 + i \end{array} \right\} M \end{array}$$

$$\underline{\underline{A}} := A(9,9) = \begin{pmatrix} 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A \cdot w = Q$$

$$\begin{pmatrix}
 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1
 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}
 w_{-2} \\
 w_{-1} \\
 w_0 \\
 w_1 \\
 w_2 \\
 w_3 \\
 w_4 \\
 w_5 \\
 w_6 \\
 w_7 \\
 w_8 \\
 w_9 \\
 w_{10}
 \end{pmatrix} = Q$$

$$\begin{pmatrix}
 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}
 w_0 \\
 w_1 \\
 w_2 \\
 w_3 \\
 w_4 \\
 w_5 \\
 w_6 \\
 w_7 \\
 w_8
 \end{pmatrix} = Q$$

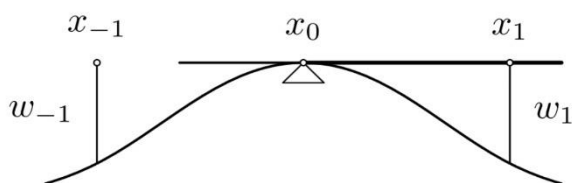
Konzolna greda je na jednom kraju upeta, a drugi kraj je potpuno slobodan, što znači da su progib i kut zaokreta na upetom ležaju jednaki nuli, a na slobodnom kraju, moment i poprečna sila jednaki nuli.

Rubni uvjeti

Ljevi ležaj - upeti oslonac

U jednađbi se javljaju i vrijednosti progiba izvan područja grede. Potrebno je iskoristiti rubne uvjete. Umjesto jednađbe za prvi čvor  $x_0$  udonimo geometrijski rubni uvjet,  $w_0=0$ .

Progibnu funkciju izvan područja možemo aproksimirati kao simetričnu progibnoj liniji unutar područja.



$$w_0 := 0 \quad \text{progib u točki oslonca je 0}$$

$$\rho_0 := 0 \quad \text{moment u točki oslonca je 0}$$

$$\rho_0 = EI \cdot \left( \frac{d}{dx} w \right) = EI \cdot \frac{w_1 - w_{-1}}{2\Delta x} = 0$$

$$w_{-1} = w_1$$

$$w_{-2} - 4w_{-1} + 6w_0 - 4w_1 + w_2 = 0$$

$$w_{-2} - 8w_1 + w_2 = 0$$

$$w_{-2} = 8w_1 - w_2$$

Desni strana - slobodan kraj

$$M_8 = -EI \cdot \frac{d^2}{dx^2} w = \frac{w_7 - 2w_8 + w_9}{\Delta x^2} = 0 \quad w_9 = 2w_8 - w_7$$

$$T_8 = -EI \cdot \frac{d^3}{dx^3} w = \frac{-w_6 + 2w_7 - 2w_9 + w_{10}}{2 \cdot \Delta x^3} = 0 \quad w_{10} = 2w_9 - 2w_7 + w_6$$

$$M_8 := 0 \quad w_{10} = 4w_8 - 4w_7 + w_6$$

$$T_8 := 0$$

```

R :=
for i ∈ 0..n
  Ri,i ← 6
  Ri,i+1 ← -4 if i ≤ n - 1
  Ri,i-1 ← -4 if i ≥ 1
  Ri,i+2 ← 1 if i ≤ n - 2
  Ri,i-2 ← 1 if i ≥ 2
for i ∈ 0..n
  R0,0 ← 1
  Rn-2,n-2 ← 6
  R1,1 ← 7
  Rn-1,n-1 ← 5
  Rn-1,n ← -2
  Rn,n-2 ← 2
  Rn,n-1 ← -4
  Rn,n ← 2
  Ri,0 ← 0
  R0,i ← 0
  Ri,n-2 ← 0
  Rn-2,i ← 0
  Rn,n-2 ← 2
  Rn-1,n-2 ← -4
  Rn-2,n-3 ← -4
  Rn-2,n-4 ← 1
  Rn-2,n-1 ← -4
  Rn-2,n ← 1
  Rn-3,n-2 ← -4
  Rn-4,n-2 ← 1
return R

```

Matrica sustava  
nakon uvođenja  
rubnih uvjeta:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 5 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & -4 & 2 \end{pmatrix} \quad \text{- konačna matrica problema}$$

Budući da se konačna matrica sustava razlikuje od osnovne matrice samo oko čvora 0 gdje je lažaj i čvora n na slobodnom kraju. Povećava se broj podjela tako da svaki segment bude duljine 50, odnosno  $n=59$ .

#### Za podjelu grede $n=59$

$$\text{ORIGIN} := 0$$

Opterećenje:

$$P1 := 5.8 \text{ kN}$$

$$P2 := 2.4 \text{ kN}$$

$$M1 := 1.844 \text{ kNm}$$

Konstanta krutosti:

$$E := 210000000 \text{ kN/m}^2$$

$$I := 0.00000494 \text{ m}^4$$

$$EI := E \cdot I$$

$$EI = 1037.4$$

Duljina grede:

$$L := 2.950$$

Broj podjela na gredi:

$$n := 59$$

Broj

čvorova:

$$j := 0 .. n \quad n + 1 = 60$$

Veličina inkrimenta:

$$\Delta x := \frac{L}{n}$$

Koordinate čvorova:

$$x_i := \Delta x \cdot i$$

	0
0	0
1	0.05
2	0.1
3	0.15
4	0.2
5	0.25
6	0.3
7	0.35
8	0.4
9	0.45
10	0.5
11	0.55
12	0.6
13	0.65
14	0.7
15	...

Matrica sistema:

$$A(n, m) := \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n \\ \quad \text{for } j \in 0..m \\ \quad \quad M_{i,j} \leftarrow 0 \\ \quad \quad M_{i,j} \leftarrow 1 \text{ if } i = j \\ \quad \quad M_{i,j} \leftarrow 1 \text{ if } j = 4 + i \\ \quad \quad M_{i,j} \leftarrow -4 \text{ if } j = 1 + i \\ \quad \quad M_{i,j} \leftarrow -4 \text{ if } j = 3 + i \\ \quad \quad M_{i,j} \leftarrow 6 \text{ if } j = 2 + i \\ \quad \quad M \end{array}$$

$$\underline{\underline{A}} := A(9,9) = \begin{pmatrix} 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A \cdot w = Q$$

$$\begin{pmatrix} 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_{-2} \\ w_{-1} \\ w_0 \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \\ w_6 \\ w_7 \\ w_8 \\ w_9 \\ w_{10} \end{pmatrix} = Q$$



$$\begin{pmatrix}
 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 & -4 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 & 6 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_0 \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \\ w_6 \\ w_7 \\ w_8 \end{pmatrix} = Q$$

Rubni uvjeti

Ljevi ležaj - upeti oslonac

$$w_0 := 0 \quad \text{progib u točki oslonca je 0}$$

$$\rho_0 := 0 \quad \text{moment u točki oslonca je 0}$$

$$\rho_0 = EI \cdot \left( \frac{d}{dx} w \right) = EI \cdot \frac{w_1 - w_{-1}}{2\Delta x} = 0$$

$$w_{-1} = w_1$$

$$w_{-2} - 4w_{-1} + 6w_0 - 4w_1 + w_2 = 0$$

$$w_{-2} - 8w_1 + w_2 = 0$$

$$w_{-2} = 8w_1 - w_2$$

Desni strana - slobodan kraj

$$M_8 := 0$$

$$T_8 := 0$$

$$M_8 = -EI \cdot \frac{d^2}{dx^2} w = \frac{w_7 - 2w_8 + w_9}{\Delta x^2} = 0 \quad w_9 = 2w_8 - w_7$$

$$T_8 = -EI \cdot \frac{d^3}{dx^3} w = \frac{-w_6 + 2w_7 - 2w_9 + w_{10}}{2 \cdot \Delta x^3} = 0 \quad w_{10} = 2w_9 - 2w_7 + w_6$$
$$w_{10} = 4w_8 - 4w_7 + w_6$$

```

R := for i ∈ 0..n
    Ri,i ← 6
    Ri,i+1 ← -4 if i ≤ n - 1
    Ri,i-1 ← -4 if i ≥ 1
    Ri,i+2 ← 1 if i ≤ n - 2
    Ri,i-2 ← 1 if i ≥ 2
    for i ∈ 0..n
        R0,0 ← 1
        Rn-2,n-2 ← 6
        R1,1 ← 7
        Rn-1,n-1 ← 5
        Rn-1,n ← -2
        Rn,n-2 ← 2
        Rn,n-1 ← -4
        Rn,n ← 2
        Ri,0 ← 0
        R0,i ← 0
        Ri,n-2 ← 0
        Rn-2,i ← 0
        Rn,n-2 ← 2
        Rn-1,n-2 ← -4
        Rn-2,n-3 ← -4
        Rn-2,n-4 ← 1
        Rn-2,n-1 ← -4
        Rn-2,n ← 1
        Rn-3,n-2 ← -4
        Rn-4,n-2 ← 1
    return R

```

Konačna matrica sistema:

R =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	7	-4	1	0	0	0	0	0	0
2	0	-4	6	-4	1	0	0	0	0	0
3	0	1	-4	6	-4	1	0	0	0	0
4	0	0	1	-4	6	-4	1	0	0	0
5	0	0	0	1	-4	6	-4	1	0	0
6	0	0	0	0	1	-4	6	-4	1	0
7	0	0	0	0	0	1	-4	6	-4	1
8	0	0	0	0	0	0	1	-4	6	-4
9	0	0	0	0	0	0	0	1	-4	6
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-4
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...

Zadavanje opterećenja:

Stvarno opterećenje	Ekvivalentno opterećenje	Skica
	$q = q$	
<b>P na gredi</b> 	$q = \frac{P}{\Delta x}$	<b>P/Δx</b> 

<b>P na kraju grede</b> 	$q = 2 \frac{P}{\Delta x}$	<b>2P/Δx</b> 
<b>M na gredi</b> 	$P_{lijevi\ \text{čvor}} = \frac{M}{2\Delta x}$ $P_{desni\ \text{čvor}} = -\frac{M}{2\Delta x}$ $q_{lijevi\ \text{čvor}} = \frac{M}{2\Delta x^2}$ $q_{desni\ \text{čvor}} = -\frac{M}{2\Delta x^2}$	$M/2\Delta x$ $M/2\Delta x$ $M/2\Delta x^2$ $M/2\Delta x^2$ 

Koncentrirano opterećenje P1

$P := 5.8 \text{ kN}$

```

a := for g ∈ 0..n
      a_g ← 1 if g = 7/59
      a_g ← 0 otherwise
      return a
    
```

a =

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	1
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	...

Koncentrirano opterećenje P2

$P := 2.4 \text{ kN}$

```

b := for g ∈ 0..n
      | b_g ← 1 if g = n
      | b_g ← 0 otherwise
      return b
    
```

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	...

Moment

$M1 := 1.844 \text{ kNm}$

```

c := for h ∈ 0..n
      | c_h ← 0
      | for h ∈  $\frac{7n}{59} - 1$ 
        | c_h ← -1
      | for h ∈  $\frac{7n}{59} + 1$ 
        | c_h ← 1
      return c
    
```

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	-1
7	0
8	1
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	...

Krutost grede

$EI = 1037.4$

Ukupno opterećenje

$$Q := \begin{cases} Q_1 \leftarrow \frac{\Delta x^4}{EI} \cdot \frac{P1}{\Delta x} \cdot a \\ Q_2 \leftarrow \frac{\Delta x^4}{EI} \cdot \frac{2P2}{\Delta x} \cdot b \\ Q_3 \leftarrow \frac{\Delta x^4}{EI} \cdot \frac{M1}{2\Delta x^2} \cdot c \\ Q \leftarrow Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ \text{return } Q \end{cases}$$

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	-0.00000222
7	0.0000007
8	0.00000222
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	...

Progib:

$$w := R^{-1} \cdot Q$$

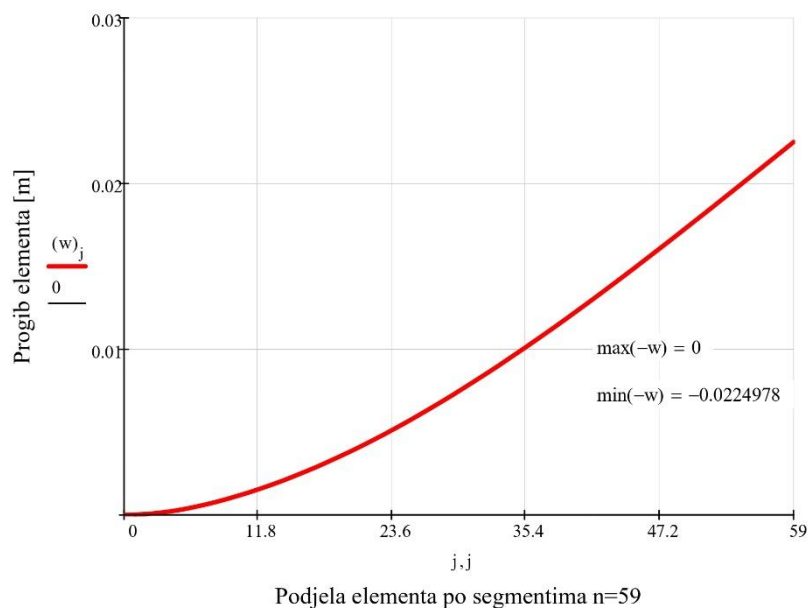
$$j := 0..n$$

$$i := 0..n$$

$$w_0 := 0$$

	0	
0	0	
1	0.0000132	
2	0.00005181	
3	0.00011484	
4	0.0002013	
5	0.00031021	
6	0.00044058	
w = 7	0.00059141	m
8	0.00075951	
9	0.00094235	
10	0.00113966	
11	0.00135113	
12	0.00157648	
13	0.00181543	
14	0.00206768	
15	...	





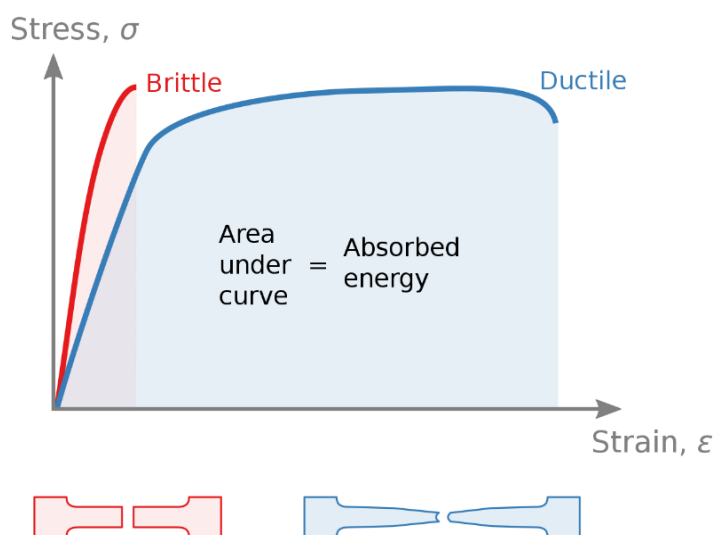
Analizirajući dobivene rezultate, zaključuje se da se razlika u izračunatim progibima na slobodnom kraju grede javlja kada se koriste različite metode proračuna i softveri za analizu struktura. Proračun progiba pomoću metode konačnih razlika putem programa Mathcad rezultira vrijednošću od 22,5 mm.

S druge strane, korištenjem programskog paketa Straus7, dobiven je ukupan pomak od 22,67 mm zbog utjecaja vjetra i 0,87 mm zbog stalnog opterećenja, ukupno 23,54 mm. Razlika između ova dva proračuna iznosi 4,41%.

Prilikom usporedbe progiba dobivenih putem programa Mathcad s onima dobivenima primjenom Straus7 programskog paketa na modelu, pri čemu je baza modelirana kao potpuno upeti oslonac (kao što je prikazano na Slici 48) i pri čemu je pomak najviše točke stupa za granično stanje uporabivosti iznosio 22,3 mm, uočena je razlika od 0,2 mm, što čini razliku od 0,88% ukupnog pomaka dobivenog metodom konačnih razlika.

## 5. VON MISES TEORIJA SLOMA

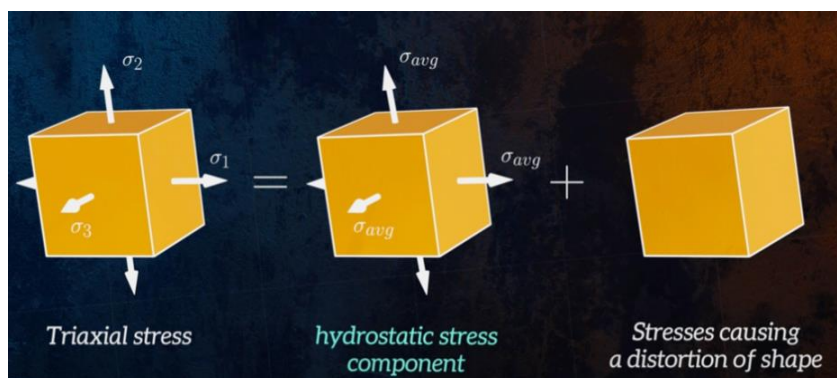
Prilikom opterećenja nekog objekta, na primjer nosača, ako stalno povećava veličinu opterećenja, u nekom trenutku će doći do loma materijala. Za duktilne materijale lom se obično događa na početku plastične deformacije, dok za krte materijale ne postoji plastična deformacija. Točke sloma materijala možemo definirati za jednoosno stanje naprezanja, kao kod vlačnog naprezanja. Javljaju se kada normalno naprezanje u predmetu (nosaču) dosegne granicu tečenja materijala za duktilne materijale i krajnju čvrstoću za krte materijale. [7]



Slika 24. Dijagram naprezanje - deformacija za krte i duktilni materijal [8]

Kod troosnog naprezanja za predviđanje loma materijala nemamo niti jednu univerzalno primjenjivu metodu. Umjesto toga, lom materijala moramo predvidjeti odabirom najprikladnije od niza različitih teorija sloma, za koje znamo da rade relativno dobro pod odgovarajućim okolnostima, na temelju eksperimenata. Odnosno, teorija sloma nam omogućuje da predvidimo lom materijala uspoređujući stanje naprezanja u nosaču. Stanje naprezanja u točki može se opisati pomoću tri glavna naprezanja, tako da se većina teorija sloma definira kao funkcija glavnih naprezanja i čvrstoće materijala. Najjednostavnija teorija sloma je reći da lom nastaje kada maksimalna ili minimalna glavna naprezanja dosegnu tečenje ili krajnju čvrstoću materijala (teorija maksimalnog glavnog naprezanja ili Rankineova teorija). Općenito,

troosno stanje naprezanja može se rastaviti na naprezanja koja uzrokuju promjenu volumena i koja uzrokuju izobličenje oblika. Naprezanja koja uzrokuju promjenu volumena nazivaju se hidrostatskim naprežanjima, jer to je vrsta naprezanja koja djeluju na objekt uronjen u tekućinu. Za konfiguraciju hidrostatskog naprezanja tri glavna naprezanja su uvijek jednaka i nema posmičnih naprezanja. [7]



Slika 25. Komponente hidrostatskog naprezanja [7]

$$\sigma_{avg} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (26)$$

Mehanizam koji uzrokuje popuštanje duktilnog materijala je posmična deformacija. Budući da nema posmičnih naprezanja za stanje hidrostatskog naprezanja, ova komponenta može biti vrlo velika, ali ipak ne pridonosi popuštanju. Popuštanje je uzrokovano samo naprežanjima koja uzrokuju izobličenje oblika. To se naziva devijatornim naprežanjima. Devijatorna komponenta izračunava se oduzimanjem hidrostatske komponente od svakog od glavnih naprezanja. Devijatorna komponenta izračunava se oduzimanjem hidrostatske komponente od svakog od glavnih naprezanja. Hidrostatska i devijatorna komponenta mogu se izraziti u obliku matrice. Slom duktilnih materijala ovisi samo o devijatorskoj komponenti. [7]

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{avg} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{avg} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{avg} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_1 - \sigma_{avg} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 - \sigma_{avg} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 - \sigma_{avg} \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{avg} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{avg} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{avg} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_1 - \sigma_{avg} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 - \sigma_{avg} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 - \sigma_{avg} \end{bmatrix} \quad (28)$$

Dvije najčešće korištene teorije sloma za duktilne materijale su Tresca i Von Misesov kriterij sloma. [7]

Von Misesov kriterij sloma, koji se također naziva teorija najveće distorzijske energije. Prvotno je ju razvio austrijski znanstvenik Richard von Mises, ali je i niz drugih sudjelovalo u njenom usavršavanju, pa se ponekad naziva teorijom Maxwell-Hubert-Henke-vin Mises. On navodi da do popuštanja materijala dolazi kada je najveća energija izobličenja u materijalu jednaka energiji izobličenja pri popuštanju u jednoosnom vlačnom ispitivanju. [7]

$$u_d = u_{d,y} \quad (29)$$

Energija izobličenja (distorzijska energija) je dio energije deformacije i napregnutog elementa koji odgovara učinku devijatorskih naprezanja. Energija izobličenja po jedinici volumena može se izračunati iz glavnih naprezanja pomoću ove jednadžbe [7]:

$$u_d = \frac{1+\nu}{6E} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \quad (30)$$

Znamo da je pri popuštanju tijekom vlačnog ispitivanja najveće glavno naprezanje jednako granici popuštanja materijala, a druga dva glavna naprezanja jednaka su nuli. Dakle, možemo izračunati energiju izobličenja pri popuštanju u ispitivanju vlačnim ispitivanjem uključivanjem odgovarajućih vrijednosti glavnog naprezanja. [7]

$$u_{d,y} = \frac{1+\nu}{6E} [(\sigma_y - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - \sigma_y)^2] \quad (31)$$

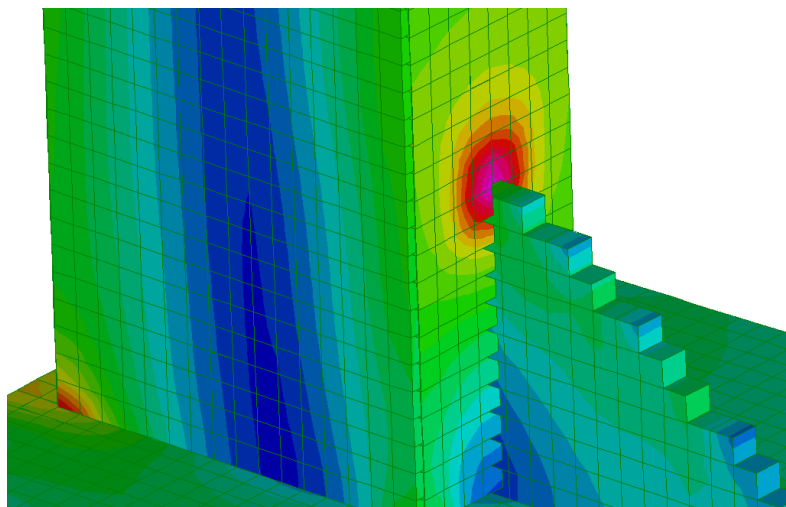
$$u_{d,y} = \frac{1+\nu}{3E} \sigma_y^2 \quad (32)$$

Izjednačavanjem energije distorzije pri popuštanju s općom jednadžbom za troosno stanje naprezanja, dobivamo jednadžbu koja definira von Misesov kriterij sloma. [7]

$$\sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} = \sigma_y \quad (33)$$

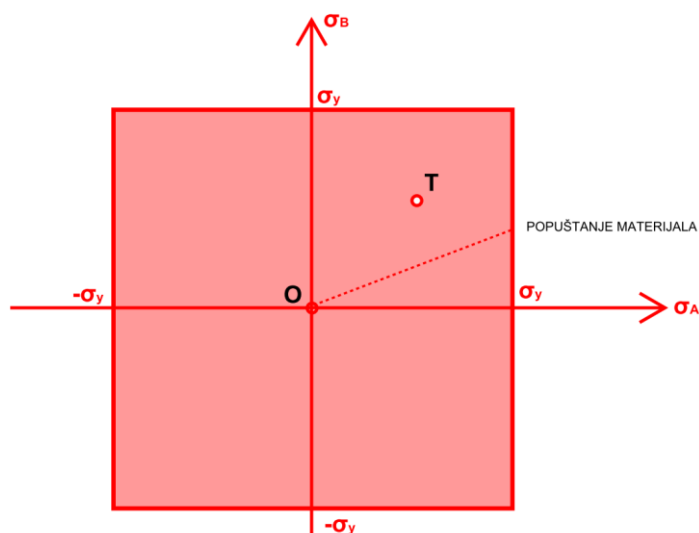
Možemo vidjeti da ova teorija uzima u obzir razliku između glavnih naprezanja, te je stoga neovisna o hidrostatskom naprezanju. Izraz s lijeve strane često se naziva ekvivalent von Mises stresa. Ako je veći od granice razvlačenja materijala, predviđa se da je došlo do popuštanja. Ekvivalent von Misesovog naprezanja uobičajeni je rezultat analize naprezanja koja se izvodi pomoću metode konačnih elemenata. Konturni dijagrami obično se generiraju kako bi se prikazala distribucija von Misesovog

ekvivalentnog naprezanja unutar komponente, budući da oni omogućuju identificiranje područja s rizikom od popuštanja. [7]



Slika 26. Konturni dijagram Von Misesovog naprezanja [izradio autor]

Kada se uspoređuju teorije kvarova, može biti korisno iscrtati njihove površine popuštanja. Površina popuštanja je prikaz teorije sloma u prostoru glavnog naprezanja. Prilikom razmatranja običnog slučaja naprezanja, gdje je jedno od tri glavna naprezanja jednako nuli. Prema konvencijskom principu, naprezanja su poredana od najvećeg prema najmanjem,  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ , ali budući da još ne znamo kako će naprezanja biti poredana, umjesto toga ću ih zvati  $\sigma_A$ ,  $\sigma_B$  i  $\sigma_C$ . Reći ćemo da je  $\sigma_C$  jednaka nuli, pa dvije osi našeg grafikona površine tečenja odgovaraju dvama glavnim napreznjima koja nisu nula,  $\sigma_A$  i  $\sigma_B$ . [7]



Slika 27. Krivulje čvrstoće prema teoriji najvećeg normalnog naprezanja [9]

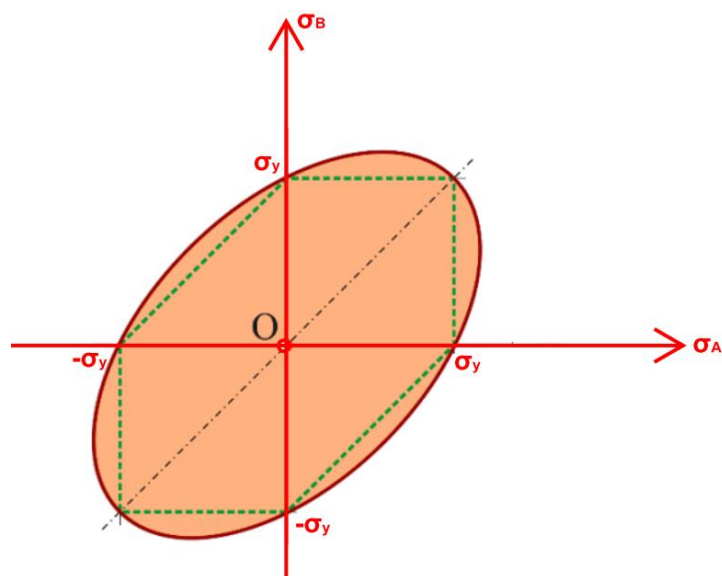
Površinu tečenja za teoriju najvećeg glavnog naprezanja lako je odrediti, popuštanje počinje kada je bilo koje od ovih glavnih naprezanja jednako granici popuštanja materijala. Teorija maksimalnog glavnog naprezanja ima velika područja u kojima je njezina uporaba potencijalno nesigurna. [7]

Von Misesova teorija popuštanja za uvjete ravnih naprezanja definirana je pomoću ove jednadžbe kada je izražena u terminima glavnih naprezanja. [7]

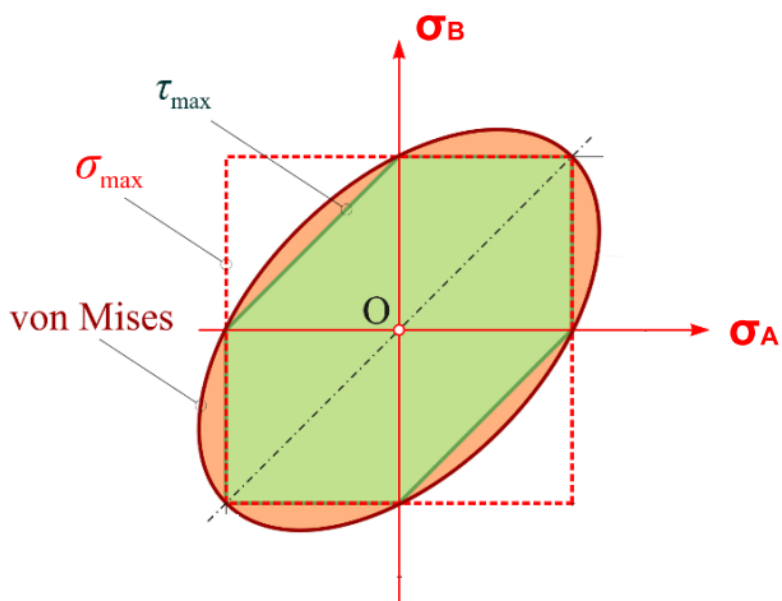
$$\sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2} = \sigma_y \quad (34)$$

$$\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2 = \sigma_y^2 \quad (35)$$

Kada kvadriramo obje strane jednadžbe možemo vidjeti da je istog oblika kao elipsa, što nam daje von Misesovu površinu popuštanja. [7]



Slika 28. Krivulje čvrstoće prema von Mises teoriji [9]



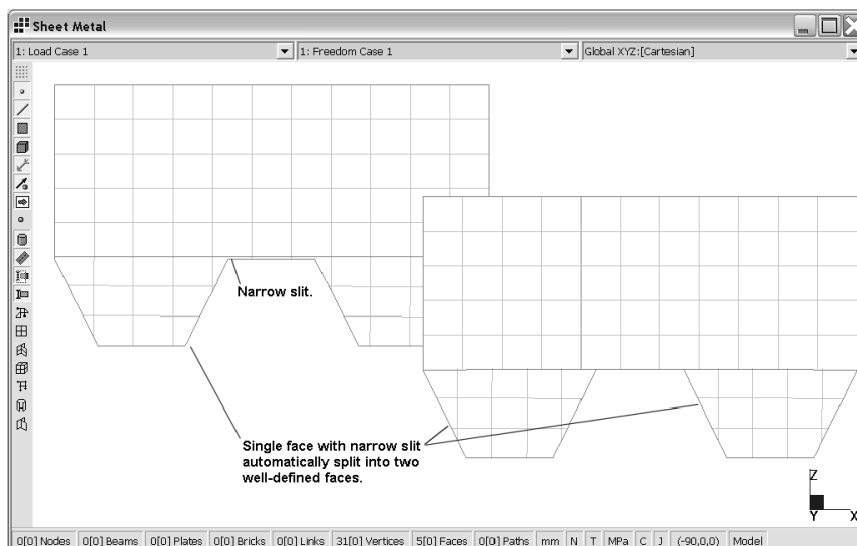
Slika 29. Usporedba krivulja čvrstoća [9]

---

## 5. RAČUNALNI PROGRAM STRAUS7

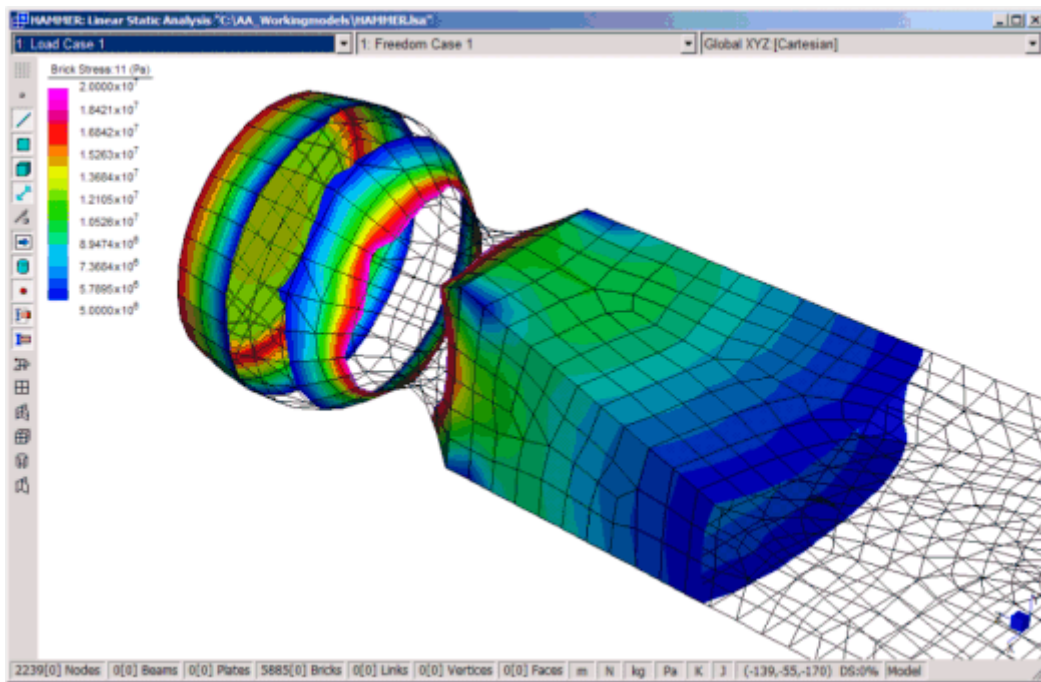
Računalni program Straus7 je sustav opće namjene za analizu metodom konačnih elemenata. Pogodan je za inženjere koji se bave aeronautikom, građevinarstvom, strojarstvom, brodogradnjom, konstrukcijama i geotehnikom te teškom industrijom i proizvodnjom materijala. Mogućnosti koje nudi softver, a tuču se rješavanja problema vezano uz linearnu statiku, linearno savijanje, utjecaj opterećenja, prirodnu frekvenciju, harmonijski odgovor, spektralni odgovor, nelinearnu statiku i kvazi-statičku analizu, linearnu i nelinearnu dinamiku prijelaza, linearni i nelinearni prijenos topline u stacionarnom stanju te linearni i nelinearni prijenos topline u prolaznom stanju. Nelinearni proračuni podržavaju geometrijsku, materijalnu (uključujući plastičnost i veliku deformaciju) te graničnu nelinearnost (npr. kontakt). Ova nelinearnost također se može uključiti kao početni uvjeti u proračunima za prirodnu frekvenciju i savijanje. Okruženje za procesiranje kombinira potpuno automatskom diskretizacijom s moćnim skupom alata za manipulaciju geometrijom i elementima kako bi se pojednostavilo modeliranje složenih inženjerskih struktura. Alati za diskretizaciju površine koriste se za generiranje mreža metodom konačnih elemenata koje se sastoje od trokuta, kvadrata, peterokuta, itd. Takve mreže mogu se koristiti u modelima ploča/ljuski ili se mogu koristiti kao vanjska površina čvrste mreže. Alati za diskretizaciju površina omogućuju kontrolu rezultirajuće mreže, uključujući gustoću, tip elementa, kontrolu ruba i površinske zakrivljenosti itd. [10]





Slika 30. Diskretizirana mreža u softveru [10]

Svi tipovi elemenata mogu se potpuno prikazati radi olakšanog vizualiziranja modela. Primjerice, nosači s bilo kojim proizvoljnim poprečnim presjekom mogu biti prikazani u 3D obliku kao prikazani čvrsti nosači. Također, svakom elementu (gredi ili ploči) mogu se pridodati njegova svojstva, poput geometrije poprečnog presjeka, materijala što uključuje i karakteristike materijala, modula elastičnosti i mogula smicanja. [10]



Slika 31. Prikaz rezultata u Straus7 [10]

Postprocesiranje je osmišljeno kako bi omogućilo jednostavno izvlačenje rezultata: grafički na zaslonu, u tabličnom formatu i u obliku tiskanog izvješća. Svi aspekti izvješća mogu biti prilagođeni, uključujući papir, logotipe i fontove. Postprocesiranje je termin koji se obično koristi za postupke izdvajanja i tumačenja rezultata analize metodom konačnih elemenata. Najčešći način prikazivanja rezultata analize metodom konačnih elemenata je putem konturiranih grafičkih prikaza u boji. Strand7 podržava konturiranje svih vrsta entiteta sa gotovo svakim rezultatom (konture pomaka, naprezanja i momenta). Količine kao što su glavna naprezanja i reakcije čvorova ponekad se prikazuju kao vektori. Grafikon vektora prikazuje veličinu i smjer količine rezultata. Rezultati elemenata nosača također se mogu prikazivati kao dijagrami (npr. moment savijanja i sila smicanja). [10]

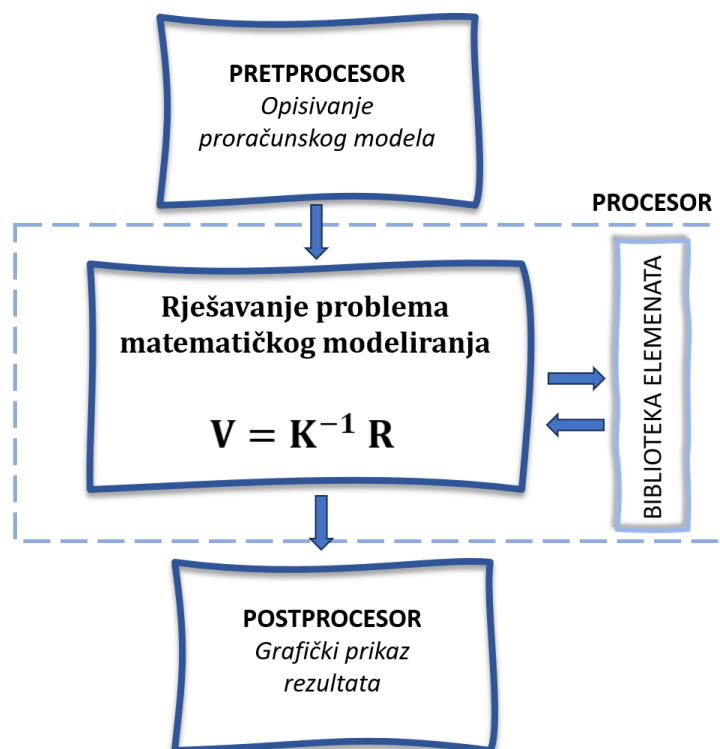
Kvaliteta rezultata analize metodom konačnih elemenata ovisi o kvaliteti mreže. Straus7 pruža niz alata za provjeru kvalitete mreže i provjeru ulaznih podataka. Analiza metodom konačnih elemenata uključuje sastavljanje i rješavanje matrice koja definira odnos između sile i pomaka, odnosno matrice krutosti. Matrice krutosti metodom konačnih elemenata obično su simetrične i trakaste. Trakasta znači da

nenulte vrijednosti čine skupine blizu dijagonale matrice. Simetrična znači da je gornji trokut matrice slika donjeg trokuta. [10]

Prilikom procjene je li konstrukcija „izdržala“ ili nije, nije dovoljno razmotriti samo pojedinačne komponente naprezanja (npr.  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$  i  $\sigma_{zz}$ ), osim ako stanje naprezanja nije jednostavno uniaksijalno rastezanje ili stlačivanje. U konstrukcijama gdje je stanje naprezanja složenije, kao što je dvoosno ili troosno stanje naprezanja, potrebno je razmotriti interakciju između različitih komponenta naprezanja. Na primjer, u dvoosnom stanju naprezanja treba uzeti u obzir kombinirani učinak  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$  i  $\sigma_{zz}$ . Postoji razne teorije za procjenu čvrstoće elementa u takvim slučajevima. Straus7 podržava nekoliko od njih, uključujući glavno naprezanje, von Mises naprezanje i Tresca naprezanje. [10]

### 5.1. Opis programa iz aspekta metode konačnih elemenata

Rješavanje problema pomoću metode konačnih elemenata provodi se primjenom računala najčešće korištenjem postojećih programskih paketa, u kojima su već programirani postupci izračunavanja. U ovom slučaju to je programski paket Straus7. Glavni zadatak je izrada proračunskog modela i definiranje ulaznih podataka. Kako bi se olakšalo upravljanje i kontrola podataka, većina programskih paketa podijeljena je u nekoliko dijelova. Najčešće su to tri radne cjeline ili faze u kojima se obavlja učitavanje ulaznih podataka (preprocesor), izračunavanje (procesor) i prikaz rezultata (postprocesor). Organizacija programa prikazana je na slici [11]:



Slika 32. Shematski prikaz programa [izradio autor]

U pretprocesorskoj fazi provodi se detaljno definiranje geometrije odabrane računalne modela. Ova faza uključuje podjelu kontinuuma na diskretne konačne elemente, uz prethodnu odabiru odgovarajućih tipova konačnih elemenata. Također, u ovoj fazi izvodi se numeriranje čvorova i njihovih pripadajućih stupnjeva slobode. Ovi globalni stupnjevi slobode se pridružuju lokalnim stupnjevima slobode svakog pojedinog konačnog elementa. Ovisno o načinu numeriranja čvorova na razini svakog konačnog elementa, definiraju se lokalni koordinatni sustavi koji odražavaju orijentaciju tih elemenata u odnosu na globalni koordinatni sustav. Posebna pažnja se pridaje načinu numeriranja čvorova i odgovarajućih globalnih stupnjeva slobode. Ovaj redoslijed numeriranja čvorova ima značajan utjecaj na širinu pojasa globalne matrice krutosti. [11]

Bitno je naglasiti da smanjenje širine pojasa ima direktni utjecaj na smanjenje vremena potrebnog za rješavanje sustava jednažbi. Konkretno, vrijeme koje je potrebno za rješavanje je proporcionalno kvadratu širine pojasa, pomnoženoj s brojem jednažbi. U slučaju modela s visokim brojem stupnjeva slobode, često se primjenjuju numerički algoritmi kako bi se postigla optimalna širina pojasa globalne matrice krutosti. U

okviru ulaznih podataka, ključno je precizno definirati rubne uvjete i opterećenja. Na temelju ovih postavljenih rubnih uvjeta, globalni vektor stupnjeva slobode se dijeli na aktivne i pasivne stupnjeve slobode, što služi kao osnova za transformaciju matrice krutosti. Opterećenje se može izraziti kao koncentrirane sile primijenjene na čvorovima ili kao raspodijeljeno volumensko, površinsko i linijsko opterećenje. Također, moguće je definirati promjene temperature koje mogu uzrokovati termička naprezanja u proračunskom modelu. Za analizu deformacija i naprezanja, nužno je specificirati materijalne konstante, koje se također unose kao ulazni podaci. Za analizu izotropnih materijala u elastičnom području, potrebno je definirati modul elastičnosti i Poissonov koeficijent. Za anizotropne materijale, kao što je poznato u mehanici kontinuuma, potrebno je unijeti veći broj materijalnih konstanti. Osim toga, za analizu u elastoplastičnom području potrebno je specificirati dodatne parametre. [11]

Za izvođenje matrice krutosti pojedinih konačnih elemenata koji opisuju proračunski model, te time i globalne matrice krutosti, nužno je specificirati koordinate koje precizno određuju položaj čvorova unutar globalnog koordinatnog sustava. Ova specifikacija igra ključnu ulogu u oblikovanju geometrije proračunskog modela. U složenijim problemima, osobito u trodimenzijskim analizama s trodimenzijskim konačnim elementima, koriste se algoritmi za generiranje mreže koji se temelje na CAD (Computer-Aided Design) sustavima. U odgovarajućem području proračunskog modela, može se grafički definirati proizvoljan broj unaprijed zadanih elemenata s jasno označenim čvorovima, čije koordinate se automatski čitaju iz definirane geometrije. Ova metoda omogućava izuzetno brzo definiranje mreže konačnih elemenata i značajno smanjuje mogućnost pogrešaka. Prilikom stvaranja mreže, bitno je izbjeći iskrivljene ili distorzirane elemente, te se teži postizanju što pravilnijeg oblika elemenata i održavanju odnosa dimenzija između najkraće i najdulje stranice unutar prihvatljivih granica. U slučaju pojave iskrivljenih elemenata, moderni grafički programi često automatski upozoravaju na te greške. Osim toga, grafičkim putem također je moguće definirati rubne uvjete i opterećenja. Na područjima s većim gradijentima deformacija i naprezanja, nužno je postići veću gustoću mreže, što zahtijeva specificiranje većeg broja elemenata. Točnost rezultata uvelike ovisi o pravilnom odabiru proračunskog modela. [11]

U procesorskoj fazi, sadrže se algoritmi koji se koriste za rješavanje matematičkih modela, s naglaskom na veličine potrebne za linearne statičke analize. Na temelju unesenih ulaznih podataka, izračunavaju se matrice krutosti i vektori opterećenja za različite konačne elemente. Za ovakva izračunavanja, često se primjenjuje numerička integracija uz upotrebu različitih numeričkih algoritama. Svi uobičajeni programski paketi obuhvaćaju osnovne tipove elemenata koji su prikladni za jednodimenzionalnu, dvodimenzionalnu i trodimenzionalnu analizu kontinuuma, kao i konačne elemente specifične za analizu različitih konstrukcijskih oblika, kao što su osnosimetrična tijela, grede, ploče i ljuske. Pored standardnih zatvorenih programskih paketa, postoje i programi koji omogućuju proširenje biblioteke elemenata putem ugradnje novih programskih modula i dodavanje novih algoritama. Ovaj tip programa je posebno koristan u okviru istraživačkih projekata gdje je cilj razviti nove konačne elemente, računalne postupke i algoritme za specifične potrebe analize. [11]

Na temelju podataka iz biblioteke elemenata te ulaznih podataka, u procesoru se formira globalna matrica krutosti i globalni vektor opterećenja pri čemu se najčešće koristi postupak opisan u prethodnom poglavlju. Prema postavljenim rubnim uvjetima provodi se transformiranje matrice krutosti i globalnoga vektora opterećenja, nakon čega se rješava reducirani sustav jednadžbi. Potrebno je napomenuti da se, koristeći se svojstvom simetrične i pojasne matrice, u računalu spremaju samo članovi obuhvaćeni s pola pojasa koji uključuje i glavnu dijagonalu te na taj način u računanju sudjeluju samo ti članovi. Pritom se najčešće rabi tzv. skyline-postupak<sup>2</sup>. Rješavanje sustava jednadžbi uglavnom se provodi primjenom direktnih postupaka koji se temelje na metodi Gaussove eliminacije<sup>3</sup>. Izračunavaju se nepoznati ili aktivni pomaci te reaktivne sile u osloncima. Nakon izračunavanja globalnih stupnjeva slobode, ponovno rabeći ulazne podatke definirane u pretprocesoru, određuju se stupnjevi slobode pojedinih

---

<sup>2</sup> metoda u računarstvu i teoriji podataka koja se koristi za identifikaciju najboljih točaka u skupu podataka prema određenim kriterijima ili dimenzijama. Ova tehnika se primjenjuje u optimizaciji i analizi podataka u situacijama s više kriterija.

<sup>3</sup> metoda za rješavanje sistema linearnih jednadžbi primjenom osnovnih operacija poput zamjene i množenja redova kako bi se dobila forma u kojoj su nepoznate vrijednosti jasno izolirane.

---

elemenata, kako bi se nakon toga odredila raspodjela deformacije i naprezanja u svakom konačnom elementu. Naprezanja se najčešće ispisuju u čvorovima ili u točkama integracije pojedinih konačnih elemenata. Na taj način dobiva se raspodjela deformacije i naprezanja proračunskog modela. [11]

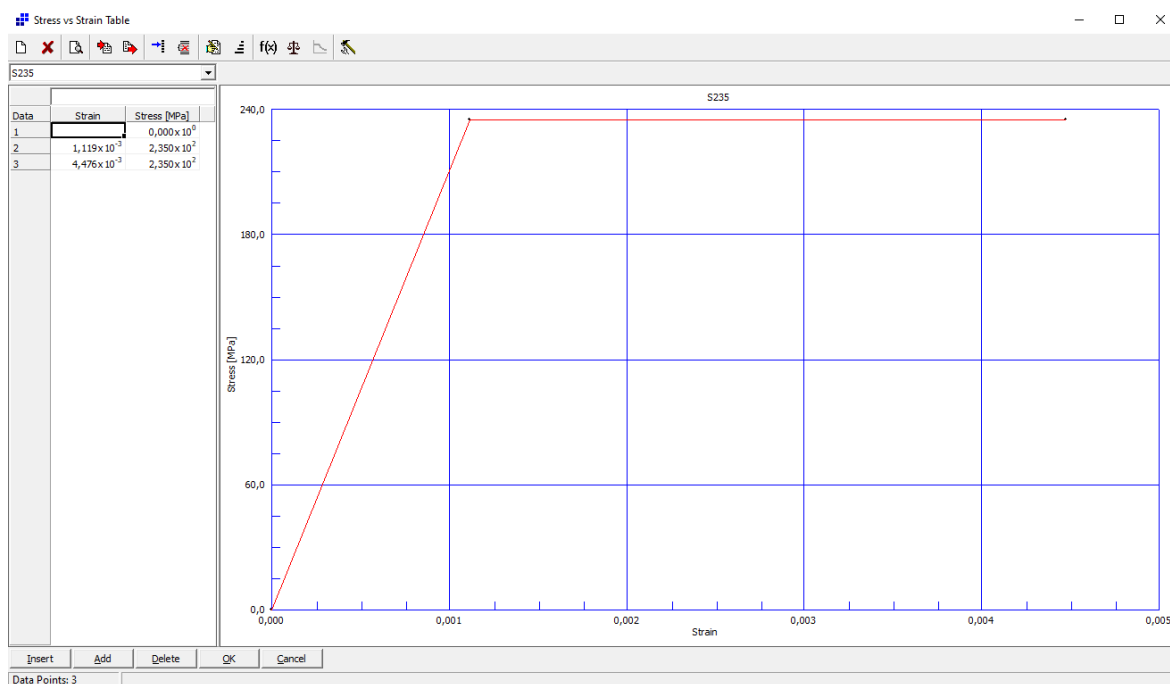
Grafički postprocesori igraju ključnu ulogu u prikazu rezultata analize. Oni omogućuju vizualizaciju deformiranih oblika proračunskog modela, kao i raspodjele unutarnjih sila i naprezanja. Izračunate veličine mogu se prikazati u obliku dijagrama na površinama konačnih elemenata. Često se različite vrijednosti unutarnjih sila i naprezanja označavaju različitim bojama koje su unaprijed definirane. Ovaj pregledan grafički prikaz ima ključnu ulogu u verifikaciji rezultata analize, omogućujući korisnicima da lakše procijene odgovara li stvarno stanje naprezanja očekivanom raspodjeli i je li deformirani oblik u skladu s fizičkom stvarnošću. U slučaju rješavanja dinamičkih problema ili problema stabilnosti, grafički postprocesori omogućuju prikaz oblika vibracija i situacija gubitka stabilnosti. Kod rješavanja problema materijalne nelinearnosti, korisno je prikazati zone plastificiranja u proračunskom modelu. [11]

Važno je upozoriti korisnike programa na različite izvore potencijalnih grešaka koje mogu rezultirati značajnim odstupanjima od realnih rješenja. Ove greške se mogu podijeliti na tri kategorije: operativne softverske greške, numeričke greške ugrađene u algoritme programa i greške koje nastaju prilikom unosa ulaznih podataka. Korisnici obično mogu utjecati samo na greške koje proizlaze iz ulaznih podataka, posebno generiranja mreže konačnih elemenata. Odabir diskretiziranog modela treba biti takav da postavljeni rubni uvjeti, zajedno s opterećenjem, što točnije opisuju stvarno ponašanje konstrukcije. [11]

Ispravno definiranje proračunskog modela zahtijeva duboko razumijevanje osnova problema koji se rješava, osim poznavanja metode konačnih elemenata. Na primjer, za uspješno rješavanje problema u mehanici deformabilnih tijela, važno je razumjeti temelje mehanike kontinuuma. Dodatno, iskustvo stečeno u numeričkom modeliranju značajno doprinosi učinkovitosti proračuna. [11]

## 5.2. Proračun u Straus7

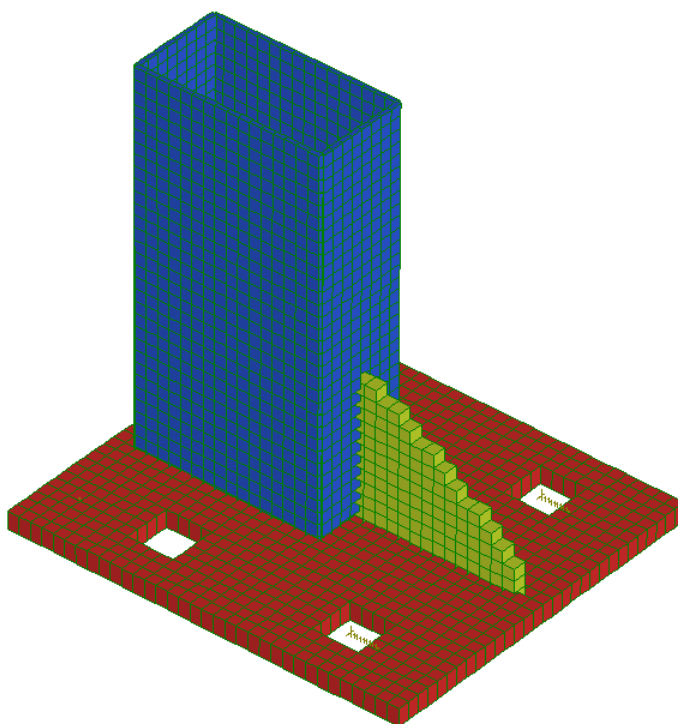
Pomoću *Plate* i *Beam* elemenata stup je modeliran u programu. Baza stupa, radi točnosti sustava, modelirana je pomoću *Plate* elemenata. Modelirana je i donja čelična ploča za koju se zavaruje stup te se sidrima fiksira za nadozid. Također, modelirana je i ukruta, koja je neophodna kod stabilnosti konstrukcije, budući da su sile vjetra velike u odnosu na poprečni presjek stupa. Stabilnost cijelog sustava osigurana je pomoću sidara, koji su u programu modelirani kao opruge. Razlog opruga jest ta da vijak pod velikom silom poteče, te njegovo izduženje nije jednako nuli. Stoga se možemo poistovjetiti s oprugom. Također, opruge su postavljene i na mjestima gdje se stup oslanja na beton ispod donje čelične ploče. Svim *Plate* elementima zadan je materijal te odnos deformacije i naprezanja za taj materijal i debljina elementa.



Slika 33. Odnos naprezanje - deformacija za čelik S235 [izradio autor]

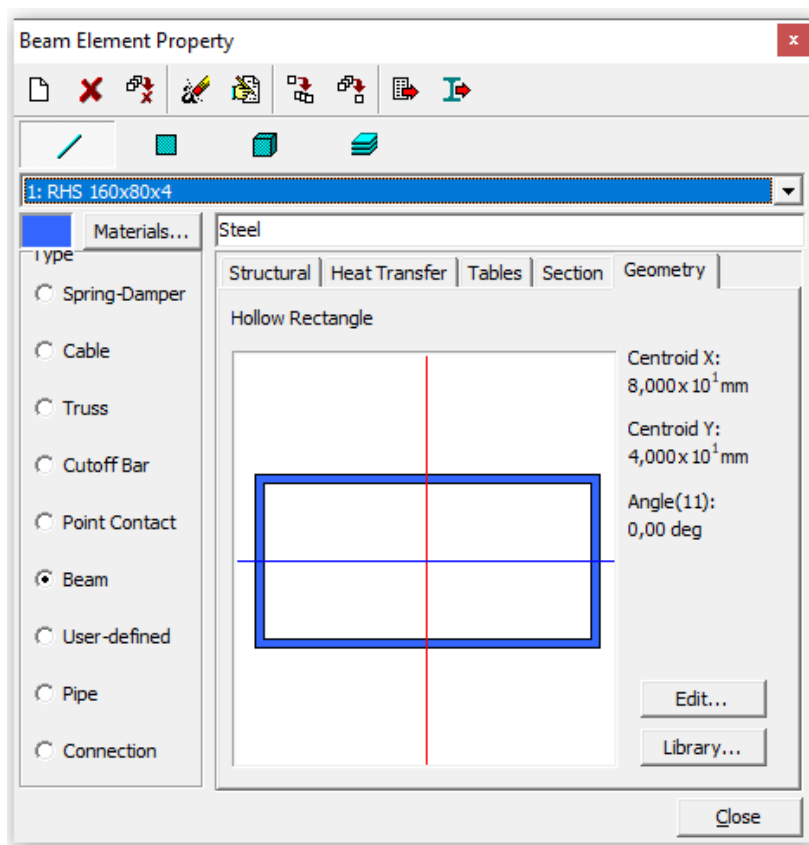
Pravokutni cijevni profil modeliran je od elemenata debljine 4 mm, ukruta je debljine 12 mm, a donja čelična ploča debljine 15 mm. Svi elementi modelirani su pomoću *Plate* elemenata 10 x 10 mm.





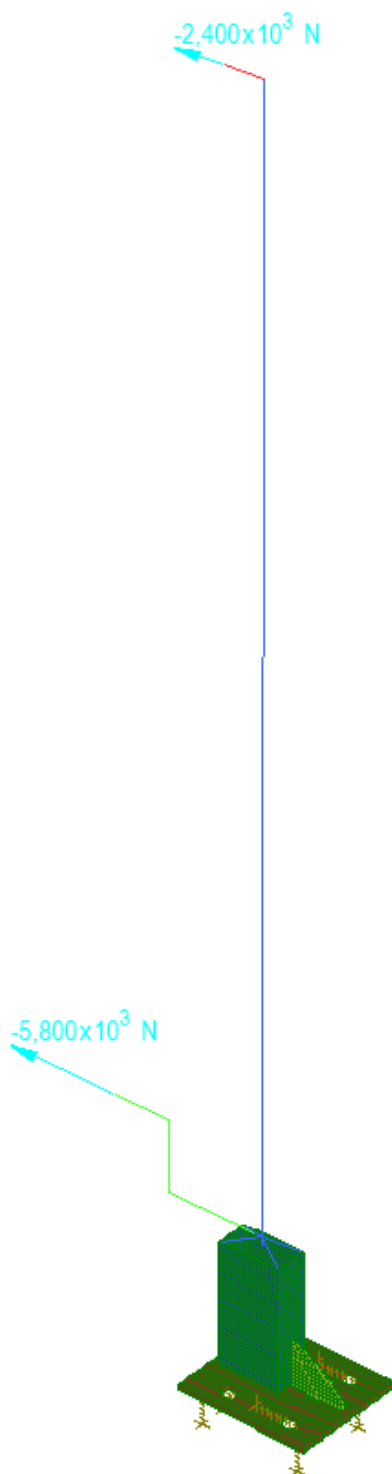
Slika 34. Baza stupa modelirana pomoću konačnih elemenata [izradio autor]

Ostatak stupa modelirano je pomoću Beam elemenata. Beam elementu zadani su materijal te odnos naprezanje – deformacija za taj materijal te točan poprečni presjek. U ovom slučaju to je RHS 160 x 80 x 4 mm.

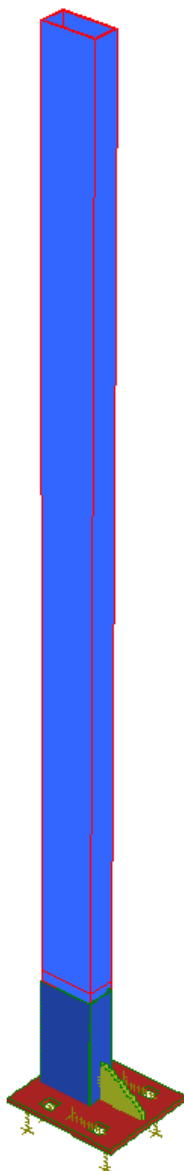


Slika 35. Poprečni presjek stupa zadan u Straus7 [izradio autor]

Zatim su zadane odgovarajuće sile od vjetrova i vlastita težina. Sile koje unosimo su nefaktorirane, budući da faktore opterećenja unosimo kasnije u kombinacijama opterećenja.



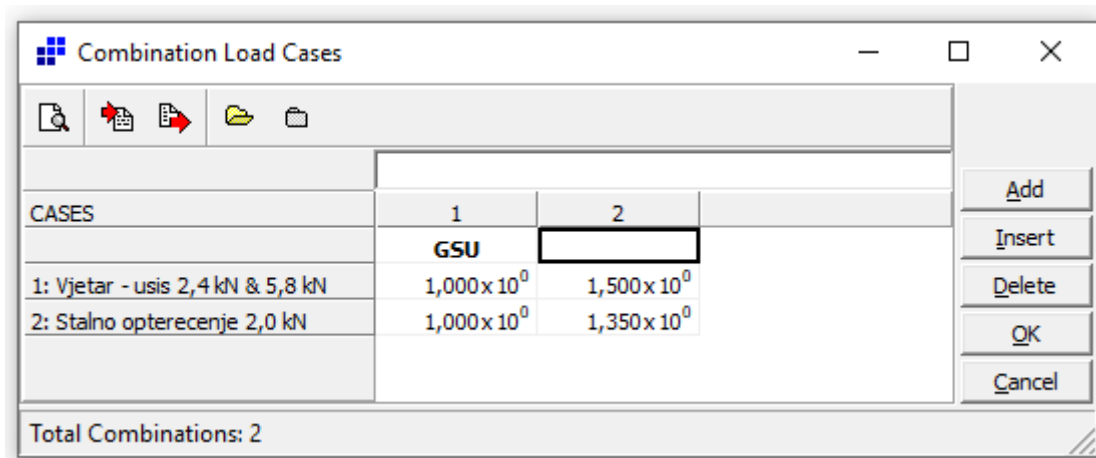
Slika 36. Model sa zadanim silama od vjetra [izradio autor]



Slika 37. Gotov model u Straus7 programu [izradio autor]

Nakon modeliranja, potrebno je odabrati vrstu analize te odabrati odgovarajuće parcijalne faktore za djelovanja. Stup je provjeren s linearnom i nelinearnom analizom. Kod linearne analize pretpostavlja se da će ponašanje stupa biti proporcionalno primijenjenim opterećenjima, što znači da će deformacije i naprezanja biti proporcionalna silama. Ovo je važeće za male deformacije. Primjerice, Hookeov zakon primjenjuje se za linearne analize elastičnosti, gdje je naprezanje proporcionalno deformaciji. Kod linearne analize zadan je parcijalni faktor za djelovanje 1,0 kod provjere graničnog stanja uporabljivosti (GSU) za oba opterećenja te 1,5 za

promjenjivo opterećenje i 1,35 za stalno opterećenje kod graničnog stanja nosivosti (GSN). Svi faktori su prema EN 1991-1-1.



Slika 38. Zadani faktori za linearnu analizu [izradio autor]

Kod nelinearne analize uzima se u obzir nelinearno ponašanje materijala stupa pod velikim opterećenjima, kada se deformacije više ne mogu smatrati proporcionalnim silama. Ovo se često koristi za proučavanje velikih deformacija, plastičnog deformiranja i drugih složenih situacija. Nelinearna analiza može uzeti u obzir promjene u materijalnim karakteristikama stupa s povećanjem opterećenja. Kod nelinearne analize također je zadan parcijalni faktor za djelovanje 1,0 kod provjere graničnog stanja uporabljivosti (GSU) za oba opterećenja te 1,5 za procjenjivo opterećenje i 1,35 za stalno opterećenje kod graničnog stanja nosivosti (GSN). Svi faktori su prema EN 1991-1-1. Kod nelinearne analize opterećenje nanosimo u inkrementima kako bi se bolje razumjelo ponašanje strukture pod različitim uvjetima opterećenja. Nanošenje opterećenja u inkrementima odnosi se na postupak primjene opterećenja na strukturu ili sustav postupno, korak po korak, umjesto da se primijeni cijelo opterećenje odjednom. Kada se opterećenje nanosi postupno, omogućava se praćenje reakcija strukture u svakom koraku opterećenja. Ovo je posebno važno u situacijama kada materijal ili struktura mogu doživjeti nelinearno ponašanje, kao što je plastična deformacija ili promjene u krutosti pod velikim opterećenjem. Proučavanjem ponašanja u svakom inkrementu opterećenja, inženjeri mogu dobiti bolji uvid u to kako će se struktura ponašati pod stvarnim uvjetima. Ovo je posebno važno kod analize sigurnosti i pouzdanosti konstrukcija, gdje je potrebno predvidjeti

kako će se struktura ponašati pri postupnom povećanju opterećenja sve dok se ne dostigne maksimalna vrijednost. Uobičajeno je zadavati inkremente na razmaku od 0,5 od posljednjeg inkrementa, no ta stavka je proizvoljna i ovisi o inženjeru.

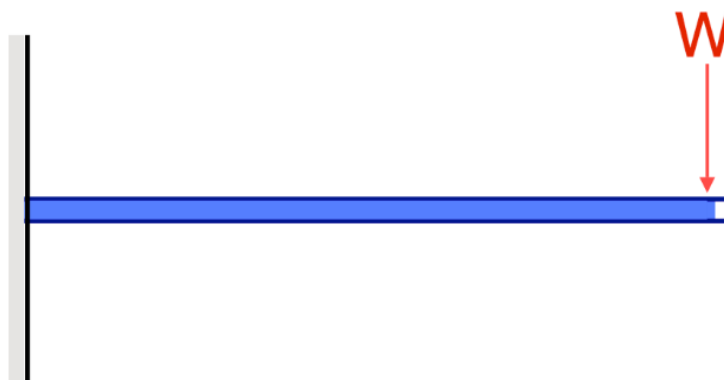
CASES	Include	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	GSU
1: Vjetar - usis 2,4 kN i 5,8 kN	✓	1,953x10 <sup>-1</sup>	3,906x10 <sup>-1</sup>	7,813x10 <sup>-1</sup>	1,563x10 <sup>-1</sup>	3,125x10 <sup>-1</sup>	6,250x10 <sup>-1</sup>	1,250x10 <sup>-1</sup>	2,500x10 <sup>-1</sup>	5,000x10 <sup>-1</sup>	1,000x10 <sup>0</sup>	1,031x10 <sup>0</sup>	1,063x10 <sup>0</sup>	1,125x10 <sup>0</sup>	1,250x10 <sup>0</sup>	1,500x10 <sup>0</sup>	
2: Stalno opterećenje 2,0 kN	✓	1,953x10 <sup>-1</sup>	3,906x10 <sup>-1</sup>	7,813x10 <sup>-1</sup>	1,563x10 <sup>-1</sup>	3,125x10 <sup>-1</sup>	6,250x10 <sup>-1</sup>	1,250x10 <sup>-1</sup>	2,500x10 <sup>-1</sup>	5,000x10 <sup>-1</sup>	1,000x10 <sup>0</sup>	1,022x10 <sup>0</sup>	1,044x10 <sup>0</sup>	1,087x10 <sup>0</sup>	1,175x10 <sup>0</sup>	1,350x10 <sup>0</sup>	
3: Freedom Case 1	✓	0,000x10 <sup>0</sup>	0,000x10 <sup>0</sup>	0,000x10 <sup>0</sup>	0,000x10 <sup>0</sup>	0,000x10 <sup>0</sup>	0,000x10 <sup>0</sup>	0,000x10 <sup>0</sup>	0,000x10 <sup>0</sup>	0,000x10 <sup>0</sup>	0,000x10 <sup>0</sup>	0,000x10 <sup>0</sup>	0,000x10 <sup>0</sup>	0,000x10 <sup>0</sup>	0,000x10 <sup>0</sup>	0,000x10 <sup>0</sup>	

Slika 39. Zadavanje inkremenata za nelinearnu analizu [izradio autor]

Kada je sve zadano, može se pokrenuti analiza metodom konačnih elemenata.

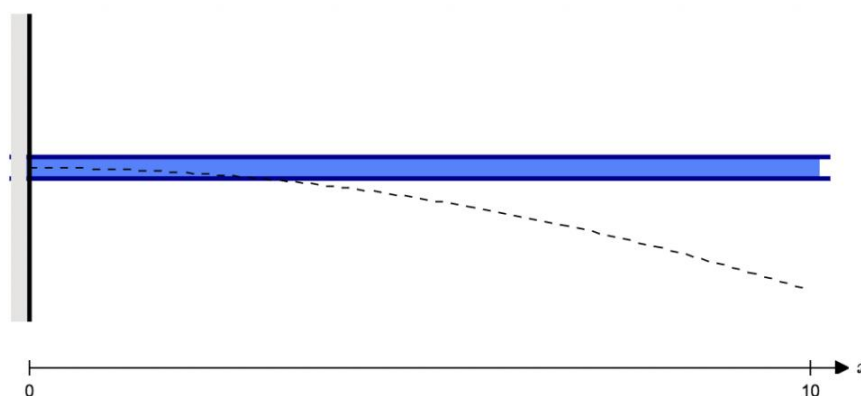
## 6. DEFORMACIJA GREDE ILI STUPA

Deformacija se odnosi na pomicanje grede ili čvora s njihove izvorne pozicije zbog sila i opterećenja koja djeluju na element. Također se naziva pomakom i može nastati zbog vanjskih opterećenja ili težine same konstrukcije te sile gravitacije. Deformacija može nastati kod greda, rešetki, okvira i praktički bilo koje druge konstrukcije. Da bismo definirali deformaciju, uzmimo jednostavan primjer deformacije konzolne grede sa silom ( $W$ ) koja je pozicionirana na kraju grede.



Slika 40. Konzolna greda opterećena na kraju [12]

Sila koja se nalazi na kraju uzrokovat će savijanje grede i njezino odstupanje od prirodne pozicije. Na donjoj slici, plava greda je izvorna pozicija, a crtkana linija simulira deformaciju konzolne grede:



Slika 41. Deformacija konzolne grede[12]

Greda se savila ili pomaknula izvorne pozicije. Ta udaljenost na svakoj točki duž elementa predstavlja značenje ili definiciju deformacije.

Općenito postoje 4 glavne varijable koje određuju kolika će biti deformacija grede. To su opterećenje, duljina nepodržanog elementa, materijal od kojeg je greda načinjena, odnosno modul elastičnosti materijala grede (Youngov modul) te poprečni presjek grede, odnosno moment inercije.

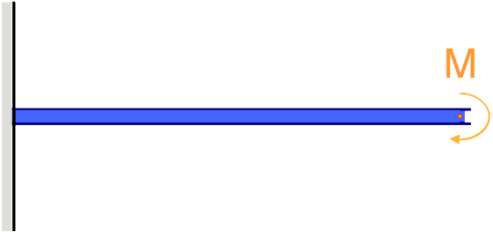
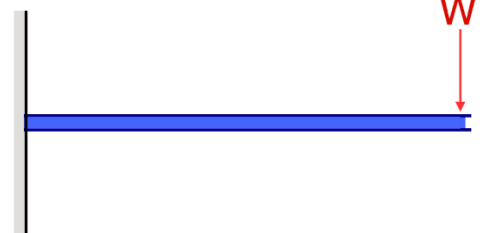
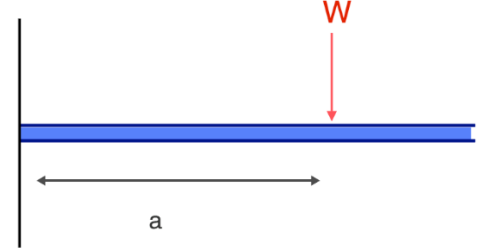
Jedinica deformacije ili pomaka je duljinska jedinica i obično se izražava u milimetrima (za metrički sustav). Taj broj definira udaljenost kojom se greda deformirala iz izvorne pozicije. Osim toga, postoje i drugi parametri koji se koriste za mjerenje deformacije, poput kutova, ali te jedinice poput radijana ili stupnjeva nisu često u upotrebi. Također je važno napomenuti da dopuštena deformacija za konstrukciju često biva navedena kao postotak raspona ( $L/X$ ), što je mjera koja omogućava usporedbu različitih greda bez obzira na njihovu duljinu, a jedinica je bezdimenzijska.

Deformacija grede računa se temeljem različitih faktora, uključujući materijale, moment inercije presjeka, primijenjenu silu i udaljenost od potpore. Konzolne grede su posebne vrste greda koje su ograničene samo jednom potporom, kao što je prikazano u gornjem primjeru. Ovi elementi prirodno će više se deformirati jer su podržani samo s jednog kraja. Važno je uzeti u obzir da će deformacija konzolne grede također ovisiti o položaju opterećenja i mjestu fiksne potpore. Što je opterećenje udaljenije od fiksne potpore, deformacija će biti veća. Također, što je konzolna greda dulja, deformacija će biti veća, zbog činjenice da se opterećenje primjenjuje na veću udaljenost. Također je



važno napomenuti da postoji maksimalna dopuštena deformacija za konstrukcije. Ta vrijednost obično je utvrđena građevinskim propisima i standardima te varira s vrstom konstrukcije i namjenom konstrukcije. Izračunata deformacija trebala bi biti unutar ovog ograničenja kako bi se osigurala sigurnost i funkcionalnost konstrukcije.

Tablica 2. Izrazi za izračun deformacije grede [izradio autor]

	$\delta_{max} = \frac{ML^2}{2EI}$
	$\delta_{max} = \frac{WL^2}{3EI}$
	$\delta_{max} = \frac{Wa^2}{6EI} (3l - a)$

## 6.1. Dopuštena deformacija

Dopuštene deformacije dobivene su prema CWCT<sup>4</sup> standardu za systemske ovojnice zgrada.

### Stalno opterećenje:

- U ravnini  $\delta \leq \left(\frac{L}{500}\right)$  ili 3 mm

### Opterećenje od vjetra:

- Visina elementa  $\leq 3000$  mm  $\delta \leq \left(\frac{H}{200}\right)$
- $3000 \text{ mm} < \text{Visina elementa} \leq 7500$  mm  $\delta \leq \left(\frac{H}{300} + 5\right)$
- Visina elementa  $> 7500$  mm  $\delta \leq \left(\frac{H}{250}\right)$

Progibi se mjere u odnosu na spojeve vertikalnih profila s nosačima.

## 6.2. Deformacija dobivena proračunom u programu Straus7

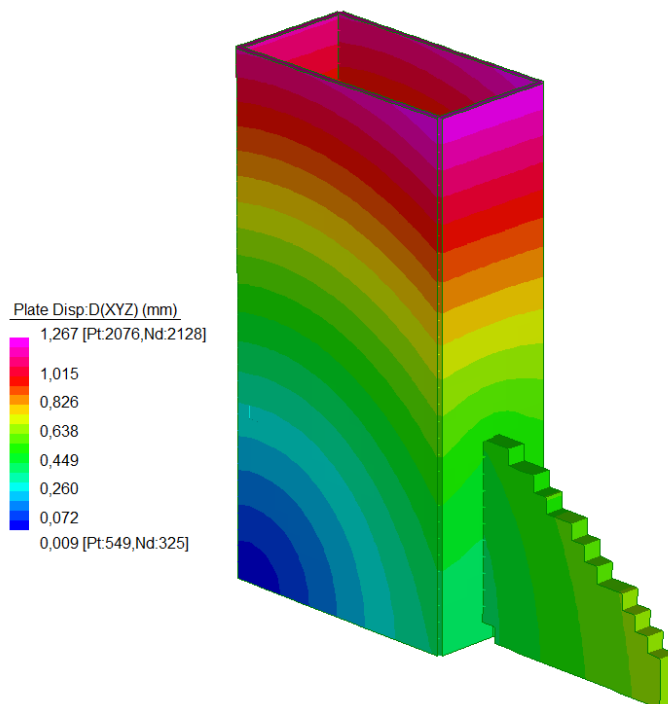
Deformacije i progibi navedeni na slici ispod dobivena su za najgoru kombinaciju kod nelinearnog proračuna s parcijalnim faktorima za djelovanja sukladno normi BS EN 1990 i britanskom dodatku normi BS EN 1990 te prema Smjernicama CWCT-a o djelovanju na nenosive ovojnice zgrada.

$F_d = G + W_{usis}$  za granično stanje uporabljivosti

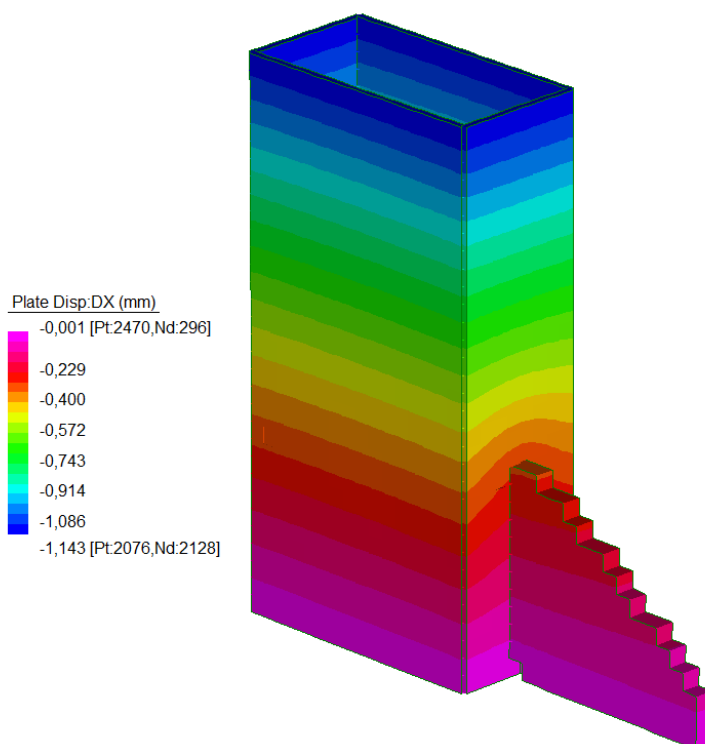
Naprezanja su analizirana lokalno i globalno u cijelom sustavu. Analizirajući samo donji dio stupa, primjećujemo rotaciju stupa oko osi X uslijed usisa vjetra.

---

<sup>4</sup> Centar za tehnologiju prozora i obloga (CWCT) je izdavač standarda i smjernica (ne regulativa) o koroziji, prodiranju, prozračivanju, otpornosti na vremenske uvjete, vatru, akustičku i udarnu izvedbu ovojnice zgrada, fasada, obloga i stakala.

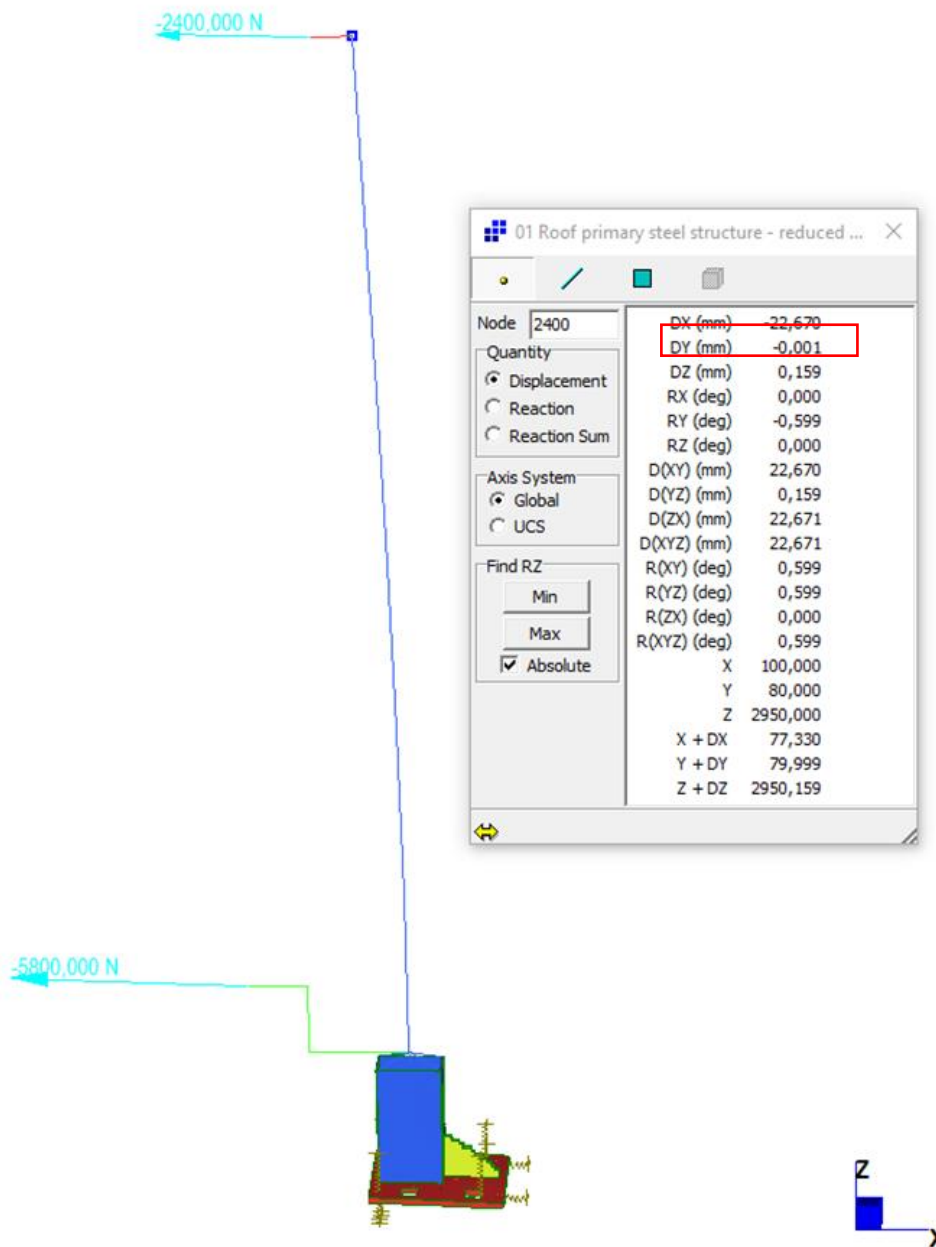


Slika 42. Najveći pomaci za X, Y i Z smjer [izradio autor]

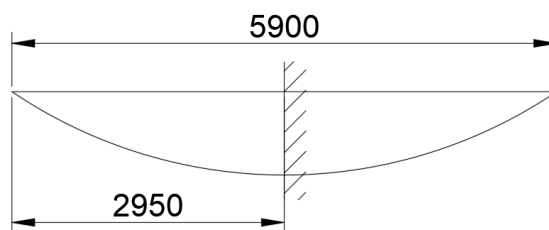


Slika 43. Pomaci u x smjeru [izradio autor]

Pomak na vrhu stupa ima ključnu ulogu unutar sveobuhvatnog sklopa elemenata ovještene fasade. Pomicanje stupa je uvjetovano kolektivnim pomicanjem svih ostalih stupova. Presudno je da ovaj pomak ostane unutar propisanih i anticipiranih ograničenja.



Slika 44. Pomak vrha stupa zbog utjecaja vjetra [izradio autor]



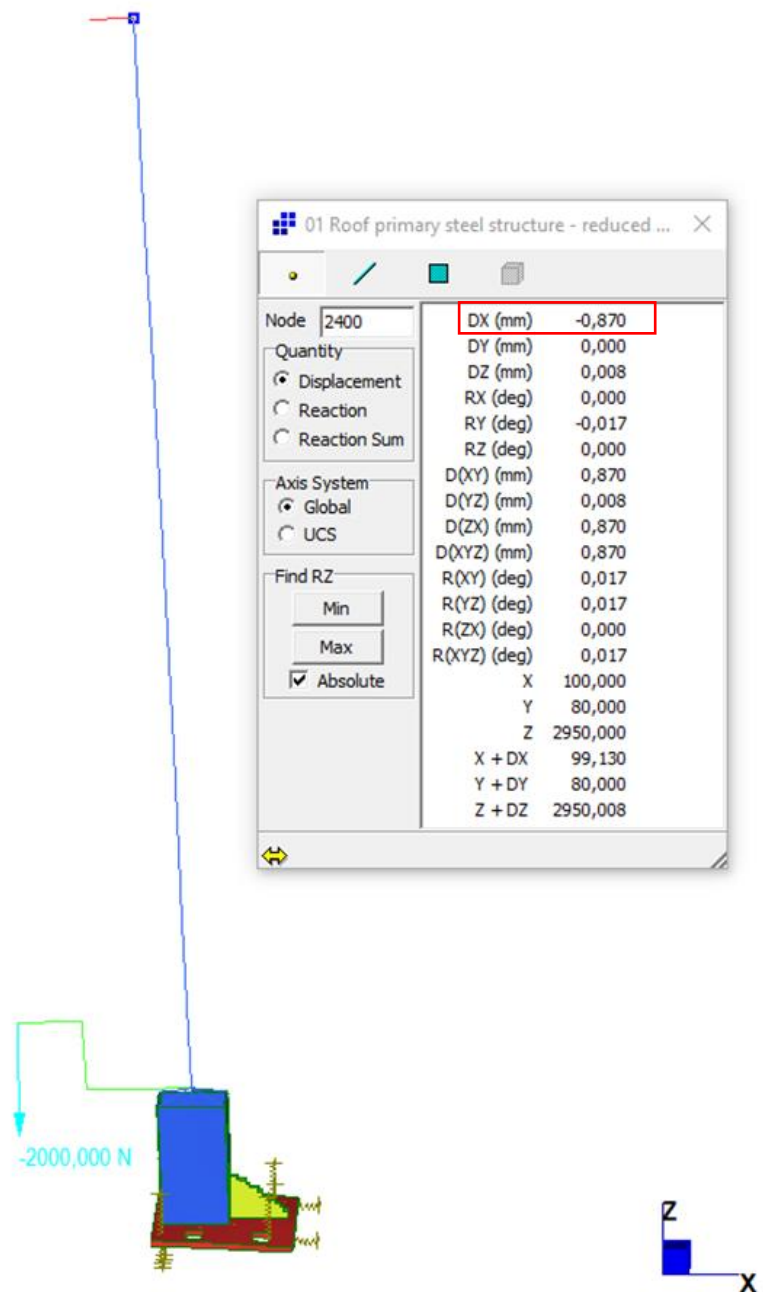
Slika 45. Visina stupa = 2H [izradio autor]

Pomak vrha stupa zbog vlastite težine:

$$\delta \leq \frac{2H}{300} + 5 \text{ mm} \quad (36)$$

$$22,7 \leq \frac{2950 \cdot 2}{300} + 5 \text{ mm} \quad (37)$$

$$22,7 \text{ mm} < 24,7 \text{ mm} \quad (38)$$



Slika 46. Pomak vrha stupa zbog vlastite težine panela [izradio autor]

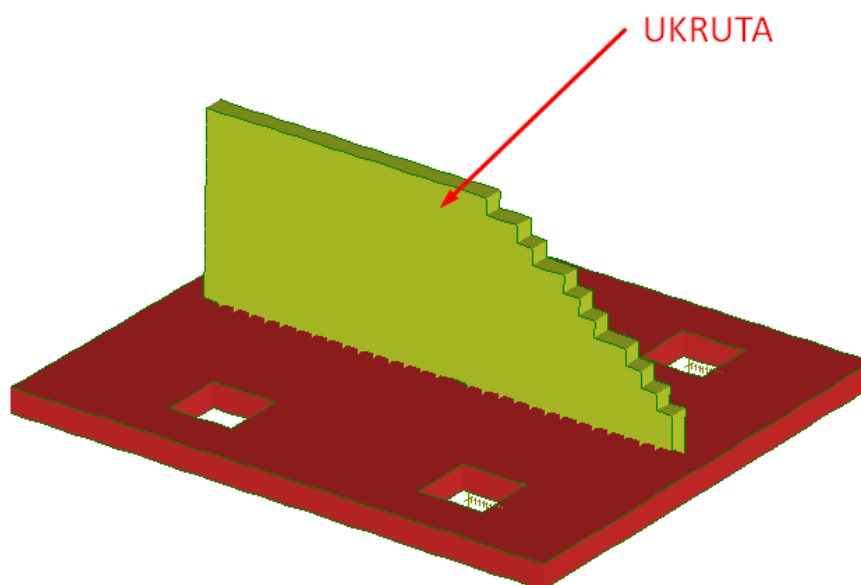
Pomak vrha stupa zbog vlastite težine panela:

$$\delta \leq \frac{2H}{500} \text{ ili } 3 \text{ mm} \quad (39)$$

$$0,9 \leq \frac{2950 \cdot 2}{300} \quad (40)$$

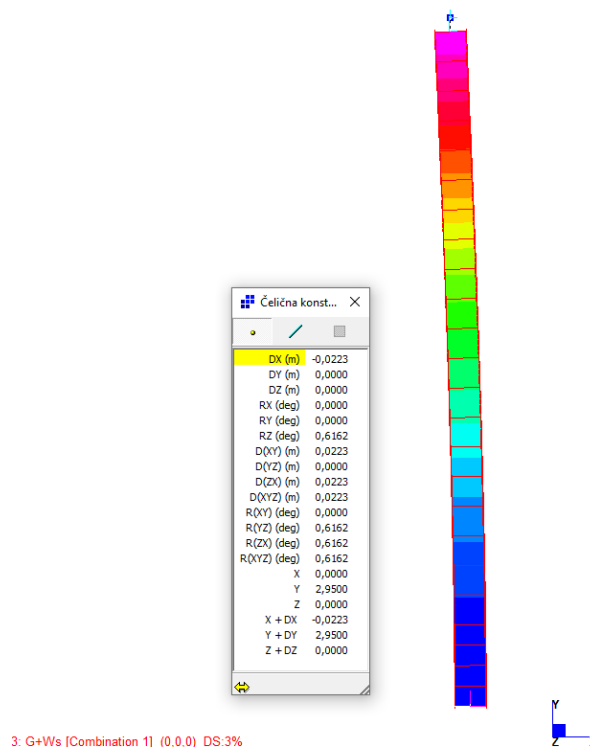
$$0,9 \text{ mm} < 11,8 \text{ mm} \quad (41)$$

Gledajući globalni sustav čeličnog stupa, koji je već spomenut, riječ je o nosaču upetom na jednom kraju. Kako bi se postigao ovakav tip konstrukcije, na dnu stupa je postavljena čelična ploča debljine 12 mm kako bi se osigurala dodatna čvrstoća. Osim toga, koriste se sidra velikog promjera i jaka donja čelična ploča kako bi se osigurala stabilnost. Svi ovi elementi zajedno omogućuju da se baza čeličnog stupa može promatrati kao upeti nosač, što dopušta deformacije duž njegove duljine, uz ograničenje rotacije na spoju s temeljem ili potporom.



Slika 47. Ukruta [izradio autor]



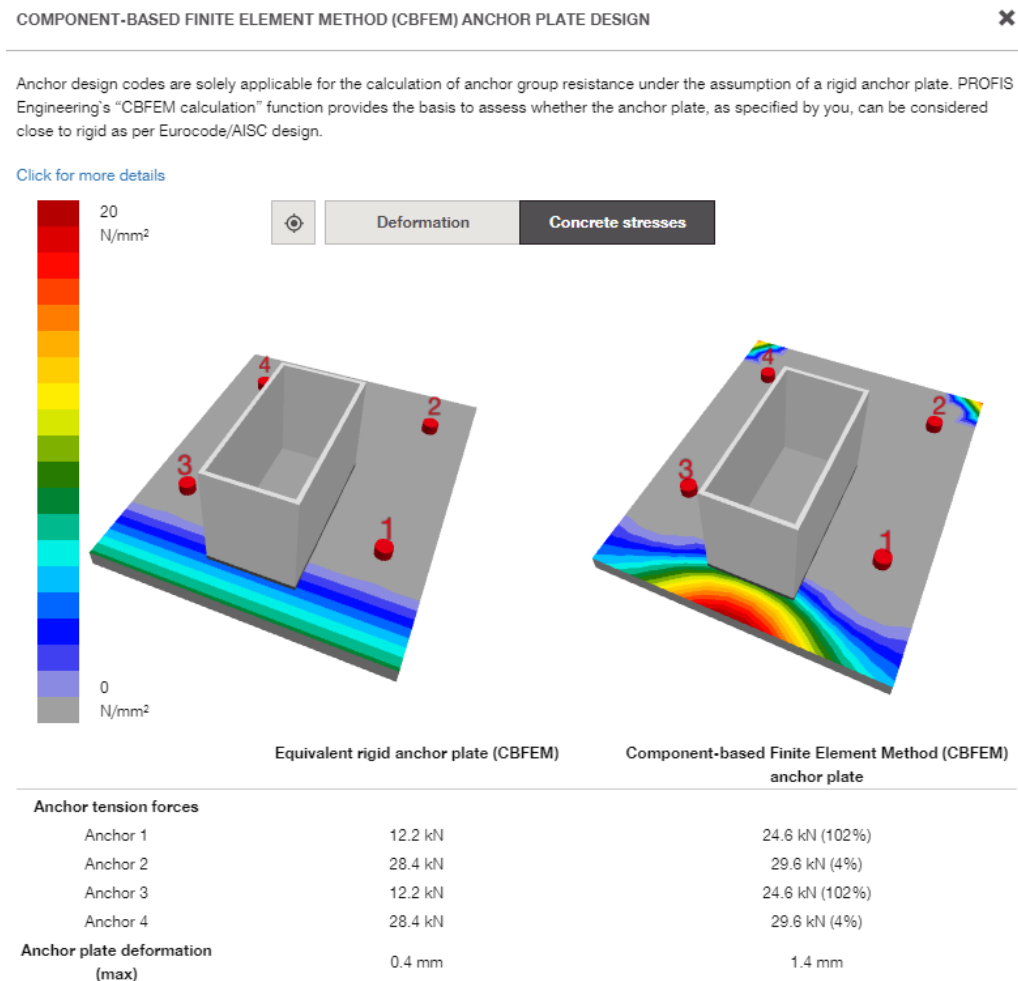


Slika 48. Model s potpuno upetim osloncem [izradio autor]

Pomak najviše točke stupa u modelu, gdje se postoji potpuno upeti oslonac postiže na dnu stupa (Slika 48.) , zahtijeva korelaciju s modelom u kojem je baza stupa posebno modelirana korištenjem *Plate* i *Beam* elemenata te dodatnih opruga koje simuliraju sidrenje konstrukcije. Uočava se da postoje blage razlike u veličinama pomaka između ta dva pristupa. Konkretno, pri izlaganju vjetru, razlika iznosi 1,1 mm, dok je kod konstantnog opterećenja ta razlika smanjena na 0,2 mm. Primjetno je da model s oprugama pokazuje nešto veće pomake. To je posljedica omogućene rotacije dna stupa u tom modelu. Drugim riječima, upotreba opruga kao simulacije oslonaca omogućuje realističniji prikaz, što otvara mogućnost za rotaciju konstrukcije. Važno je napomenuti da je rotacija konstrukcije minimalna, što se vidi u gotovo zanemarivoj razlici u pomacima.

Pomaci u modelu pod opterećenjem pritiska vjetra manji su nego pomaci pod usisom vjetra, zahvaljujući povoljnom učinku stalnog opterećenja. Zbog toga nije nužno posebno prikazivati te pomake.

Dodatni faktor koji utječe na ponašanje dna modeliranog pomoću opruga i bazne ploče kao upetog ležaja u okviru globalnog sustava elemenata prikazan je na priloženoj fotografiji:



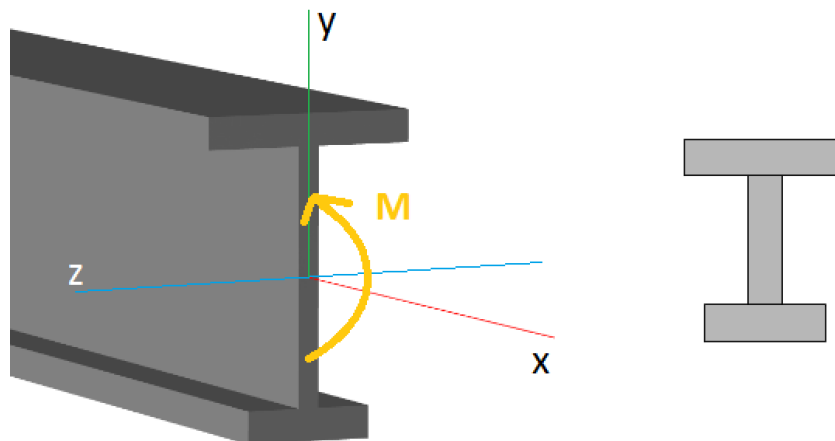
Slika 49. Proračun u HILTI PROFIS Engineering Suite [izradio autor]

Uočava se značajna razlika u modeliranju kada se donja bazna ploča promatra kao homogeno kruta površina u odnosu na promatranje stvarnog ponašanja donje bazne ploče putem metode konačnih elemenata. Konkretno, primjećuje se da se najveće opterećenje uslijed usisa vjetra prenosi na betonski nadozid tamo gdje je ploča najkruća, odnosno na mjesto gdje se nalazi stražnja stijenka poprečnog presjeka stupa. Ovo nam omogućava bolji uvid u stvarno stanje prijenosa naprezanja na betonski nadozid. Ovakvo promatranje stvarnog ponašanja donje bazne ploče putem metode

konačnih elemenata omogućava precizniju analizu kako se opterećenja raspoređuju kroz strukturu.

## 7. NAPREZANJE U GREDI ILI STUPU

Razumijevanje svijajućeg naprezanja važno je jer savijanje greda igra ključnu ulogu u projektiranju greda. [13]



Slika 50. Naprezanje u gredi [13]

Na određenoj točki duž duljine grede (x-osi), postoji unutarnji moment savijanja ( $M$ ), obično određen pomoću dijagrama momenta savijanja. Momenti savijanja javljaju se kada se sila primijeni na određenoj udaljenosti od referentne točke; uzrokujući učinak savijanja. U najjednostavnijim terminima, moment savijanja je zapravo sila koja uzrokuje savijanje nečega. Ako objekt nije dobro ograničen, sila savijanja će uzrokovati rotaciju objekta oko određene točke. Opća formula za savijanje ili normalno naprezanje na presjeku je [13]:

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (42)$$

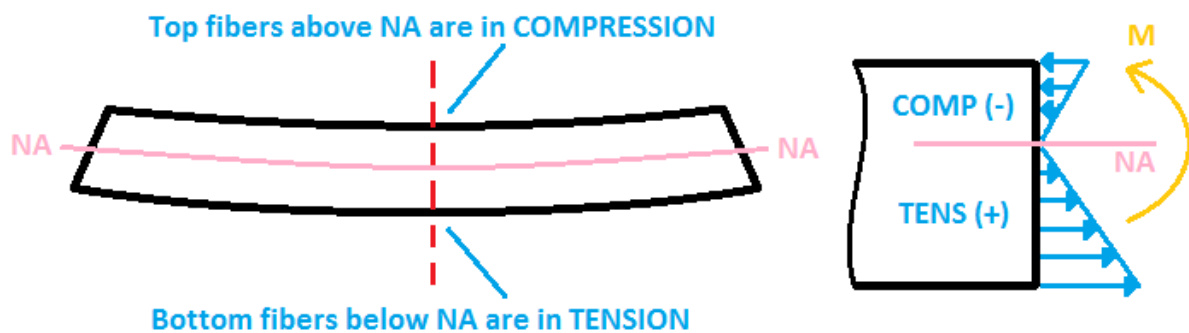
gdje je  $M$  unutarnji moment savijanja oko neutralne osi,  $y$  okomita udaljenost od neutralne osi do točke na presjeku i  $I$  moment tromosti presjeka oko neutralne osi. [13]

Kada se razmatra određeni presjek grede, postaje jasno da će savijajuće naprezanje doseći svoju maksimalnu vrijednost na određenoj udaljenosti od neutralne osi ( $y$ ). Stoga će maksimalno savijajuće naprezanje nastati ili na vrhu ili na dnu presjeka grede, ovisno o tome koja udaljenost je veća [13]:

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} \quad (43)$$

gdje je  $c$  okomita udaljenost od neutralne osi do najudaljenije točke na presjeku. [13]

Završno razmatranje uključuje određivanje je li naprezanje grede uzrokovalo tlačenje ili istežanje vlakana presjeka. Ako se greda savija poput oblika slova "U", gornja vlakna doživljavaju tlačenje (negativno naprezanje), dok donja vlakna prolaze kroz istežanje (pozitivno naprezanje). Ako se greda savija u obliku obrnutog slova "U", situacija je obrnuta: donja vlakna su podvrgnuta tlačenju, dok gornja vlakna prolaze kroz istežanje. [13]

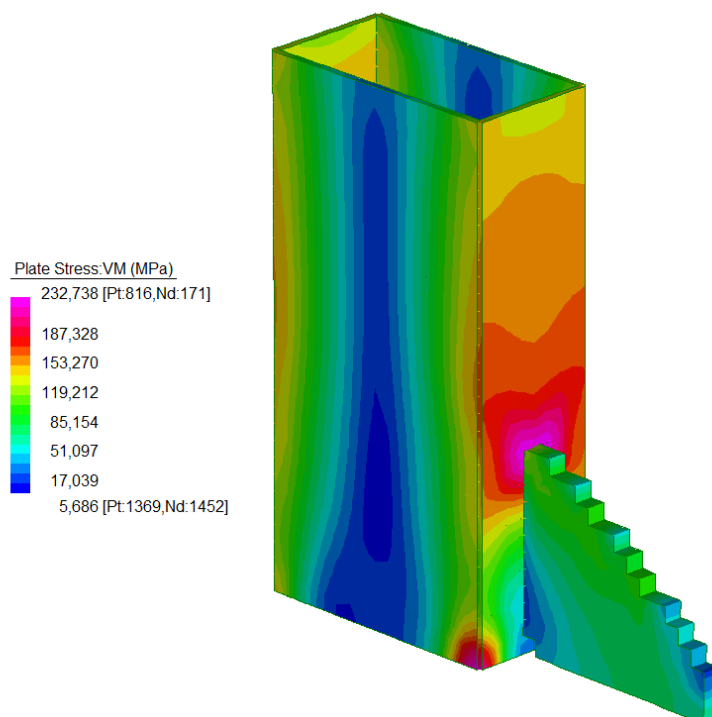


Slika 51. Skraćenje i produljenje vlakana u gredi [13]

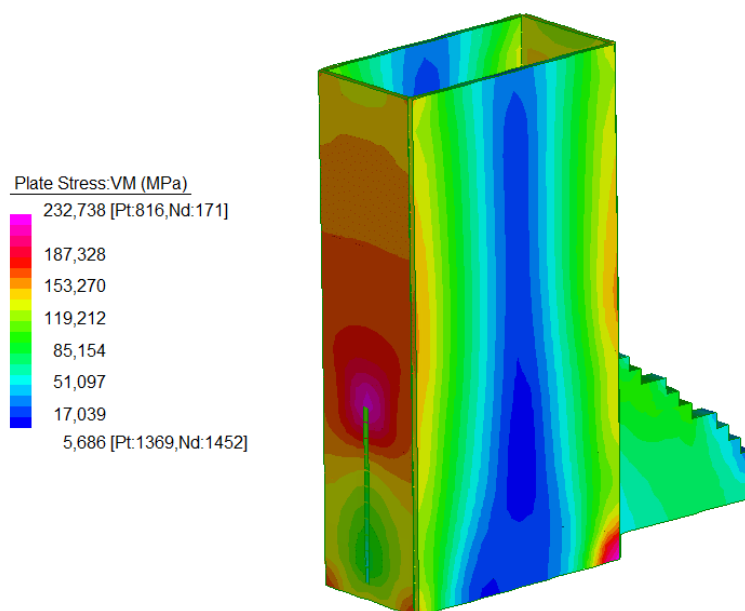
### 7.1. Naprezanja dobivena u Straus7 programu

Naprezanja navedena na slici ispod dobivena su za najgoru kombinaciju kod nelinearnog proračuna s parcijalnim faktorima za djelovanja sukladno normi BS EN 1990 i britanskom dodatku normi BS EN 1990 te prema Smjernicama CWCT-a o djelovanju na nenosive ovojnice zgrada.

$$F_d = \gamma_G G + \gamma_Q W_{usis} = 1,35G + 1,5W_{usis} \text{ za granično stanje nosivosti.}$$



Slika 52. Naprezanja kod nelinearnog proračuna [izradio autor]



Slika 53. Naprezanja kod nelinearnog proračuna [izradio autor]

Maksimalna naprezanja za Von Mises teoriju sloma manja su od najvećih dopuštenih što znači da je odabran adekvatan materijal i poprečni presjek.

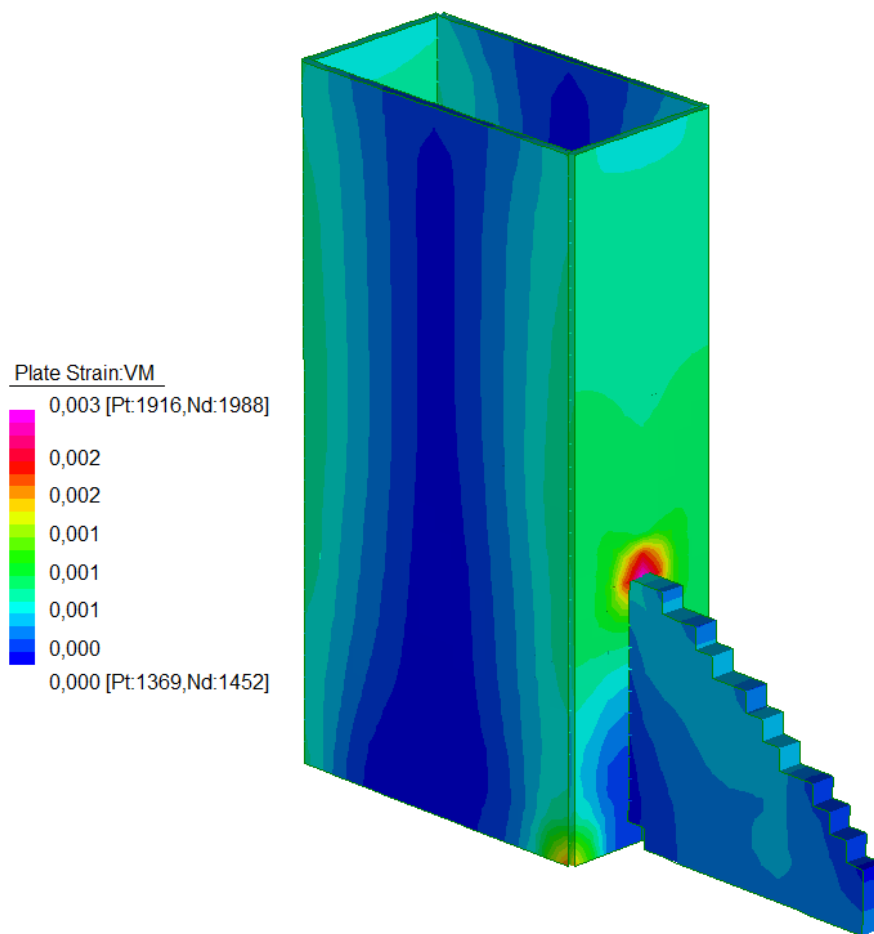
---

$$\sigma_{max} = 232,74 \text{ MPa} < \sigma_{dop} = 235 \text{ MPa} \quad (44)$$

U dodatku C Eurokoda BS EN 1993-1-5 postoje upute za proračun metodom konačnih elemenata za provjere graničnog stanja nosivosti, uporabljivosti ili zamora plastičnih konstrukcija. Tako stoji da kod kriterija graničnog stanja treba primijeniti slijedeće kriterije graničnih stanja nosivosti:

1. za konstrukcije podložne izvijanju: dostizanje najvećeg opterećenja
2. za vlačno napregnuta područja: postizanje granične vrijednosti glavne membranske deformacije.

Ograničenja glavne deformacije smiju se odrediti u nacionalom dodatku. Preporučena vrijednost je 5%. To bi značilo da vrijednost maksimalnog naprezanja može biti veće od najvećeg dopuštenog naprezanja ukoliko je deformacija manja 5%.

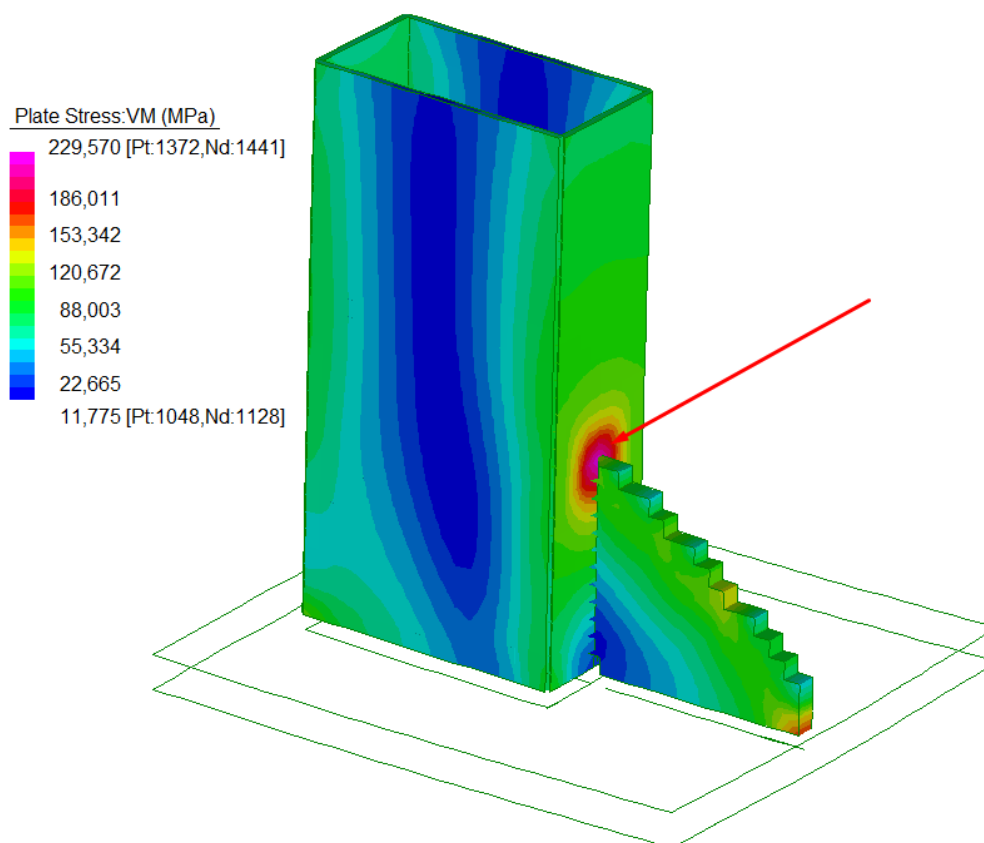


Slika 54. Deformacija u modelu [izradio autor]

$$\varepsilon_{\max} = 0,3\% < \varepsilon_{\text{dop}} = 5,0\% \quad (45)$$

Za proračun kada imamo pritisak vjetra, naprezanja su nešto manja. Krtična točka je na spoju ukrute i RHS profila.





Slika 55. Naprezanja u slučaju pritiska vjetra [izradio autor]

### **Plastične deformacije**

Plastično deformiranje je ključni inženjerski koncept koji se javlja u raznim strukturama, uključujući čelične stupove. Čelični stupovi su vitalni elementi mnogih građevinskih konstrukcija, a razumijevanje njihovog ponašanja pri plastičnom deformiranju ključno je za osiguranje strukturne cjelovitosti i sigurnosti. Plastično deformiranje čeličnog stupa javlja se kada unutarnje naprezanje premašuje granicu elastičnosti materijala, uzrokujući trajnu promjenu oblika. U čeličnim materijalima, elastično deformiranje je reverzibilno, dok je plastično deformiranje ireverzibilno. Ova deformacija odvija se putem klizanja i pomicanja kristalnih ravni unutar materijala. Granica proporcionalnosti označava točku do koje se materijal ponaša elastično, dok je granica tečenja prag pri kojem počinje plastično deformiranje. Materijali za čelične stupove dizajniraju se tako da izdrže velike napetosti prije nego što pređu u plastični

režim deformiranja. To osigurava da stupovi zadrže svoju strukturnu cjelovitost i da ne dođe do kolapsa. Na makroskopskoj razini, plastične deformacije obično nisu vidljive golim okom, osim ako ne dođe do značajnih promjena u obliku ili strukturi. Male deformacije mogu proći neprimijećeno. No, s vremenom ili uz veće opterećenje, moguće je primijetiti nakrivljenost, savijanje ili promjene u visini, što može ukazivati na plastično deformiranje. Za precizno mjerenje i analizu obično su potrebni posebni alati i metode. [14]

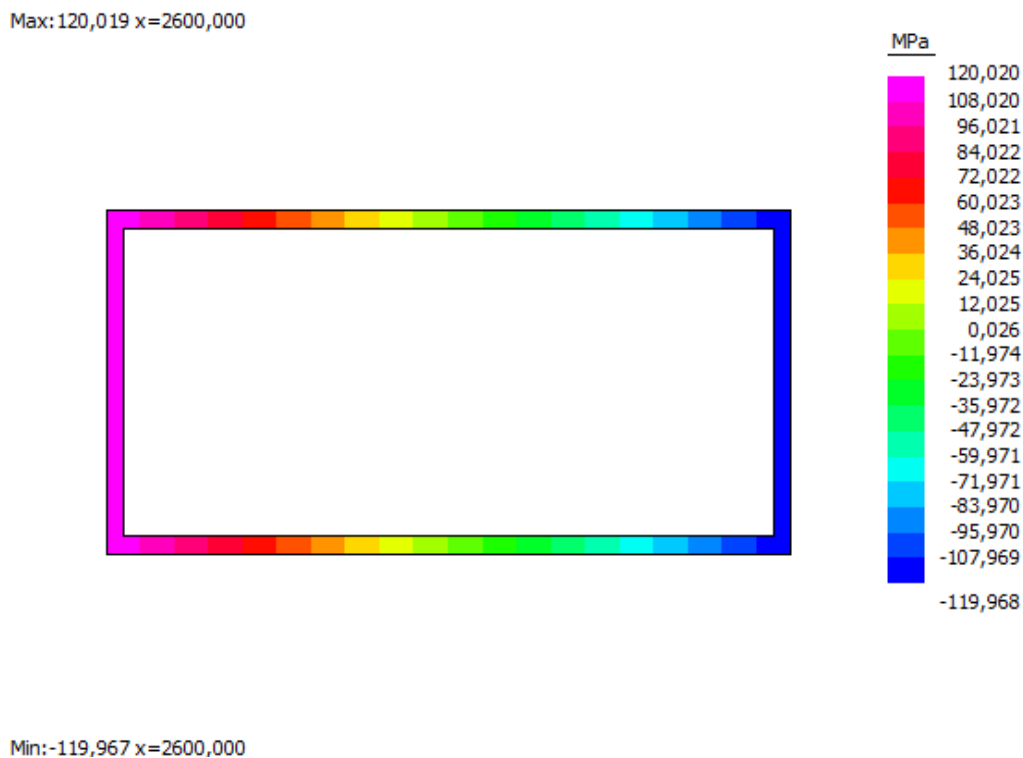


Slika 56. Primjer plastičnog deformiranja [14]

## 7.2. Naprezanja u poprečnom presjeku stupa

Pozitivno i negativno naprezanje u poprečnom presjeku odnosi se na sile koje djeluju unutar materijala, poput greda, i analizira kako ti materijali podnose takve sile. U kontekstu poprečnog presjeka grede, razmatramo vlakna koja su smještena okomito na glavnu os greda. Ovisno o smjeru sile, vlakna mogu biti izložena pozitivnom ili negativnom naprezanju. [15]

Pozitivno naprezanje javlja se kada su vlakna podložna tlačnom silom, tj. kada se greda skuplja duž njenih vlakana. To znači da su vlakna smještena na strani greda koja je izložena kompresijskom opterećenju. Primjerice, kada se greda pritisne s vrha prema dolje, vlakna na donjoj strani poprečnog presjeka su izložena pozitivnom naprezanju. Negativno naprezanje javlja se kada su vlakna podložna istezanju, tj. kada se greda razvlači duž njenih vlakana. To znači da su vlakna smještena na strani greda koja je izložena vlačnom opterećenju. Kada greda primjerice savija prema gore, vlakna na gornjoj strani poprečnog presjeka su izložena negativnom naprezanju. Materijali su često osjetljiviji na naprezanja u smjeru istezanja nego na naprezanja u smjeru tlačenja. [15]



Slika 57. Naprezanja u poprečnom presjeku [izradio autor]

Najveća naprezanja u poprečnom presjeku stupa javljaju se kada je stup izložen usisnoj sili. Ta naprezanja uključuju pozitivno naprezanje od 120,02 MPa i negativno naprezanje od -119,96 MPa.

---

## 8. ZAKLJUČAK

Nakon provedene temeljite strukturalne analize čeličnog stupa, zaključuje se da je primjena metode konačnih elemenata (MKE) od suštinskog značaja za strukturalnu analizu stupa. MKE se izdvaja zbog svoje sposobnosti pružanja dubinskih i numerički preciznih informacija o ponašanju strukture, omogućujući analizu različitih opterećenja i geometrija. Ova višestruka fleksibilnost igra ključnu ulogu u razumijevanju performansi stupa u različitim operativnim uvjetima.

Ponajviše, MKE se dokazuje kao neprocjenjiv alat za optimizaciju i dizajn struktura, što inženjerima omogućuje povećanje učinkovitosti i ekonomske isplativosti projekta. Dodatno, MKE se pokazao izuzetno korisnim u rješavanju složenih problema kao što su nelinearni materijali i dinamička analiza, što je ključno za realistično modeliranje i razumijevanje ponašanja stupova u stvarnom okruženju.

S usporedbom simulacija MKE s eksperimentalnim rezultatima, ovaj pristup pruža potvrdu točnosti modela i simulacija. Time se osigurava pouzdanost analize i dizajna struktura. Konačno, primjena MKE značajno doprinosi uštedi vremena i resursa u inženjerskim projektima, čineći ga ključnim alatom za analizu i dizajn stupova i drugih struktura.

Osim toga, u radu se istražuje povezanost metode konačnih elemenata s metodom konačnih razlika i posebno naglašava važnost razumijevanja postavki programskih paketa kako bi se ispravno i sigurno primjenjivali.

U konačnici, naglašava se da precizna analiza opterećenja ima ključnu ulogu u inženjeringu jer izravno utječe na sigurnost, funkcionalnost, ekonomičnost i trajnost građevinskih projekata. Nepreciznosti u analizi mogu imati ozbiljne posljedice i rezultirati povećanim troškovima. Stoga je preciznost od suštinskog značaja za uspješnu realizaciju inženjerskih projekata i održivost struktura.

Konačno, diplomski rad potvrđuje da je strukturalni čelik S235 i poprečni presjek pravokutan šuplji profil 160x80x4 mm adekvatan izbor za zadana opterećenja. Ovaj odabir je ključan jer mora osigurati sigurnost i funkcionalnost konstrukcije, a materijal i poprečni presjek moraju biti adekvatni kako bi se garantirala strukturalna čvrstoća i stabilnost konstrukcije, minimalizirale deformacije pod opterećenjem, osigurala

sigurnost korisnika, ostvarile ekonomske prednosti u dizajnu i produžio vijek trajanja konstrukcije. Odabir odgovarajućeg materijala i presjeka, kako je pokazano u ovom radu, igra ključnu ulogu u uspješnosti inženjerskog projekta, budući da utječe na višestruke aspekte izvedbe i održivosti konstrukcije.

---

## 9. LITERATURA

- [1] Privatna arhiva tvrtke KFK d.o.o.
- [2] Efficient Engineer: "Finite Element Method: A Comprehensive Guide," <https://efficientengineer.com/finite-element-method/>, pristup 25. lipnja 2023.
- [3] ScienceDirect: "Finite Difference Method," <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/finite-difference-method>, pristup 11. srpnja 2023.
- [4] Berkeley Python Numerical Methods: "Finite Difference Method," <https://pythonnumericalmethods.berkeley.edu/notebooks/chapter23.03-Finite-Difference-Method.html>, pristup 11. srpnja 2023.
- [5] Kožar Ivica, Uvod u modeliranje računalom, interna skripta kolegija Računalno modeliranje, Građevinski fakultet sveučilišta u Rijeci, 2022.
- [6] Kožar Ivica, Predavanja s kolegija Metoda konačnih elemenata, Građevinski fakultet sveučilišta u Rijeci, listopad 2006.
- [7] Efficient Engineer: "Failure Theories: An Overview," <https://efficientengineer.com/failure-theories/>, pristup 26. lipnja 2023.
- [8] Wikipedia: "Stress–Strain Curve," [https://en.wikipedia.org/wiki/Stress%E2%80%93strain\\_curve](https://en.wikipedia.org/wiki/Stress%E2%80%93strain_curve), pristup 26. lipnja 2023.
- [9] Nauka o čvrstoći, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije, Split 2019.
- [10] Using Straus7, Introduction to the Straus7 Finite Element Analysis System, siječanj 2010.
- [11] Sorić J., Metoda konačnih elemenata – Linearna i nelinearna analiza konstrukcija, Golden marketing – Tehnička knjiga, Zagreb, 2021.
- [12] SkyCiv: "What Is Deflection?" <https://skyciv.com/docs/tutorials/beam-tutorials/what-is-deflection/>, pristup 29. srpnja 2023.

- [13] Efficient Engineer: "Stress and Strain: An In-Depth Explanation," <https://efficientengineer.com/stress-and-strain/> , pristup 10. kolovoza 2023.
- [14] Bashar A., Joints behaviour of through steel beam to composite column connection: Experimental study, Elsevier, ožujak 2021.
- [15] Šimić Vice, Otpornost materijala I, Školska knjiga, Zagreb 2002.
- [16] Darko Dujmović, Metalne konstrukcije 3, IA PROJEKTIRANJE, Zagreb, 1998.



## **10. PRILOZI**

1. Izlazna datoteka programskog paketa Straus7

Solution commenced on 23/08/2023 at 22:19:01

Straus7 [2.3.3] [Solver Build 23040715]  
NONLINEAR STATIC SOLVER - For Intel P1/AMD K6 CPU

Computer Name: DESKTOP-Q2CAD2Q (CPU - Type Unknown)  
User Logon Name: Ana  
Usable Physical Memory: 2048 MB  
Usable Virtual Memory: 2048 MB

SOLVER UNITS:  
Length: mm  
Mass : T  
Force : N  
Stress: MPa

MODEL FILE : "G:\Moj disk\Diplomski\WW(E3-4)-IN-083-02-AM Roof steel fixing\05 Roof primary steel structure  
- RHS 160-80-4 WIND SUCTION without lateral force.st7"  
RESULT FILE : "G:\Moj disk\Diplomski\WW(E3-4)-IN-083-02-AM Roof steel fixing\05 Roof primary steel structure  
- RHS 160-80-4 WIND SUCTION without lateral force.nla"  
SCRATCH PATH: "C:\Users\ANAMAL-1\AppData\Local\Temp\"

TOTALS:  
Nodes : 2989  
Beams : 10  
Plate : 2923  
Bricks : 0  
Links : 0

FREEDOM CASE: "Freedom Case 1"

NONLINEAR GEOMETRY : Included  
NONLINEAR STRAIN RESULTS : Nominal  
NONLINEAR MATERIAL : Included  
MATRIX UPDATE : Every iteration  
AUTOMATIC LOAD STEPPING : Enabled (Minimum load factor change: 0.100)  
SAVE INTERMEDIATE RESULTS : No  
NUMBER OF LOAD INCREMENTS : 17  
SAVE RESTART FILE : Yes

STORAGE SCHEME: Sparse  
SORTING METHOD: AMD

NUMBER OF EQUATIONS : 17934  
MATRIX FILL-IN RATIO : 82.2 %  
[K] MATRIX SIZE : 20.9 MB  
OPTIMUM RAM NEEDED : 5.7 MB  
FREE SCRATCH SPACE : 48229.3 MB

\*WARNING[ 65]:Restraints may not be sufficient to restrict rigid body motion,  
if element supports/node stiffnesses are not present or ignored.  
In this case, number of possible rigid body modes is 6.  
None of the six rigid body modes is restrained.

START OF INCREMENT 1: "Increment"  
Current Load Factors:  
1.95313E-03 1.95313E-03 0.00000E+00

ITERATION 1 OF INCREMENT 1

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-1.60156E+01 0.00000E+00 -3.90625E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-1.60156E+01 0.00000E+00 -3.90625E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-1.60156E+01 0.00000E+00 -3.90625E+00 0.00000E+00 1.09436E-27 1.61649E-37

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
-3.12500E+02 -2.10039E+04 1.28125E+03

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-4.736E-02, -9.552E-07, -1.773E-03)  
Maximum rotation increment at Node 2413: ( 2.485E-16, -2.149E-05, -3.838E-18)

DISPLACEMENT NORM: 1.000000E+00 FORCE/MOMENT NORM: 1.000000E+00

ITERATION 2 OF INCREMENT 1

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.60156E+01	0.00000E+00	-3.90625E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.60156E+01	0.00000E+00	-3.90625E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.36732E-09	3.11942E-10	2.24647E-08	1.44438E-02	3.49160E-02	-5.07165E-06

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
1.54522E-06	3.32163E-02	1.44843E-07

Maximum residual force norm 1.250E-01 at Node 2415.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 7.448E-08, 7.767E-09, -4.148E-07)

Maximum rotation increment at Node 2413: ( 1.152E-15, 3.399E-10, 3.461E-16)

DISPLACEMENT NORM: 8.370181E-06 FORCE/MOMENT NORM: 1.852106E-02

ITERATION 3 OF INCREMENT 1

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.60156E+01	0.00000E+00	-3.90625E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.60156E+01	0.00000E+00	-3.90625E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2.06484E-14	7.92973E-15	2.02877E-14	-6.28666E-03	-8.22013E-03	3.24656E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
9.04262E-11	3.93410E-09	-2.19512E-11

Maximum residual force norm 5.939E-04 at Node 2386.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

DISPLACEMENT NORM: 0.000000E+00 FORCE/MOMENT NORM: 1.898067E-04

END OF INCREMENT 1: Converged at Iteration 3

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES

DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
4.73646E-02	4.81610E-05	3.29965E-03	1.83712E-05	2.14922E-05	3.80654E-06

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 1

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1.60156E+01	-1.13834E-15	3.90625E+00	7.05666E-03	2.13810E-02	5.06060E-06

Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 2: "Increment"

Current Load Factors:

3.90625E-03	3.90625E-03	0.00000E+00
-------------	-------------	-------------

Load Factor Changes from Last Increment:

1.95313E-03	1.95313E-03	0.00000E+00
-------------	-------------	-------------

ITERATION 1 OF INCREMENT 2

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-3.20312E+01	0.00000E+00	-7.81250E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-3.20312E+01	0.00000E+00	-7.81250E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.60156E+01	2.72041E-15	-3.90625E+00	-7.05666E-03	-2.13810E-02	-5.06060E-06

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-3.12500E+02	-2.10039E+04	1.28125E+03

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-4.736E-02, -9.392E-07, -1.774E-03)

Maximum rotation increment at Node 2412: (-1.437E-15, -2.149E-05, -3.365E-17)

DISPLACEMENT NORM: 4.999995E-01 FORCE/MOMENT NORM: 5.000000E-01

ITERATION 2 OF INCREMENT 2

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-3.20312E+01	0.00000E+00	-7.81250E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-3.20312E+01	0.00000E+00	-7.81250E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.23276E-10	-5.19139E-11	-1.19649E-08	-4.53446E-03	-1.99543E-01	-2.53083E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-9.34431E-07	3.78449E-02	7.10893E-08

Maximum residual force norm 1.249E-01 at Node 2415.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 7.427E-08, 7.283E-09, -4.514E-07)

Maximum rotation increment at Node 2413: ( 5.440E-16, 3.397E-10, -1.206E-16)

DISPLACEMENT NORM: 4.314528E-06 FORCE/MOMENT NORM: 9.453612E-03

ITERATION 3 OF INCREMENT 2

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-3.20312E+01	0.00000E+00	-7.81250E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-3.20312E+01	0.00000E+00	-7.81250E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.66656E-14	-2.72014E-15	-4.09895E-13	-6.20529E-04	8.45319E-03	1.16292E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
1.98490E-10	-1.05912E-07	-1.59136E-11

Maximum residual force norm 5.772E-04 at Node 2307.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

DISPLACEMENT NORM: 0.000000E+00 FORCE/MOMENT NORM: 9.681476E-05

END OF INCREMENT 2: Converged at Iteration 3

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES

DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
9.47290E-02	9.63035E-05	6.59932E-03	3.67424E-05	4.29842E-05	7.61306E-06

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 2

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
3.20313E+01	-1.60107E-14	7.81250E+00	-9.23944E-03	-1.34994E-02	5.34186E-06

Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 3: "Increment"

Current Load Factors:

7.81250E-03	7.81250E-03	0.00000E+00
-------------	-------------	-------------

Load Factor Changes from Last Increment:

3.90625E-03	3.90625E-03	0.00000E+00
-------------	-------------	-------------

ITERATION 1 OF INCREMENT 3

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-6.40625E+01	0.00000E+00	-1.56250E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-6.40625E+01	0.00000E+00	-1.56250E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-3.20313E+01	3.59947E-14	-7.81250E+00	9.23944E-03	1.34994E-02	-5.34186E-06

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-6.25000E+02	-4.20077E+04	2.56250E+03

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-9.473E-02, -1.846E-06, -3.549E-03)

Maximum rotation increment at Node 2412: ( 1.228E-15, -4.298E-05, -3.268E-16)

DISPLACEMENT NORM: 4.999991E-01 FORCE/MOMENT NORM: 5.000000E-01

ITERATION 2 OF INCREMENT 3

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-6.40625E+01	0.00000E+00	-1.56250E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-6.40625E+01	0.00000E+00	-1.56250E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.50455E-09	6.88435E-11	-2.19956E-09	-1.26122E-02	-9.38710E-01	1.37396E-06

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.06889E-06	1.51395E-01	2.10842E-07

Maximum residual force norm 4.995E-01 at Node 2415.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 2.972E-07, 2.915E-08, -1.805E-06)

Maximum rotation increment at Node 2413: (-3.551E-15, 1.359E-09, 4.318E-16)

DISPLACEMENT NORM: 8.629197E-06 FORCE/MOMENT NORM: 1.890908E-02

ITERATION 3 OF INCREMENT 3

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-6.40625E+01	0.00000E+00	-1.56250E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-6.40625E+01	0.00000E+00	-1.56250E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1.15243E-13	2.80891E-14	-1.94591E-12	1.20516E-02	2.67611E-02	-2.11102E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-4.24008E-10	-7.91230E-07	1.75016E-10

Maximum residual force norm 6.381E-04 at Node 2306.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

DISPLACEMENT NORM: 0.000000E+00 FORCE/MOMENT NORM: 4.774914E-05

END OF INCREMENT 3: Converged at Iteration 3

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES

DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
1.89457E-01	1.92533E-04	1.31987E-02	7.34847E-05	8.59681E-05	1.52260E-05

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 3

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
6.40625E+01	-3.32673E-14	1.56250E+01	-5.76172E-03	2.67349E-02	-3.61143E-05

Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 4: "Increment"

Current Load Factors:

1.56250E-02 1.56250E-02 0.00000E+00

Load Factor Changes from Last Increment:

7.81250E-03 7.81250E-03 0.00000E+00

ITERATION 1 OF INCREMENT 4

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.28125E+02	0.00000E+00	-3.12500E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.28125E+02	0.00000E+00	-3.12500E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-6.40625E+01	6.56858E-14	-1.56250E+01	5.76172E-03	-2.67349E-02	3.61143E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.25000E+03	-8.40152E+04	5.12500E+03

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-1.895E-01, -3.564E-06, -7.104E-03)

Maximum rotation increment at Node 2412: (-1.777E-15, -8.597E-05, -2.113E-16)

DISPLACEMENT NORM: 4.999981E-01 FORCE/MOMENT NORM: 5.000000E-01

ITERATION 2 OF INCREMENT 4

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.28125E+02	0.00000E+00	-3.12500E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.28125E+02	0.00000E+00	-3.12500E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-6.17964E-09	-1.94245E-10	5.13718E-08	-5.41585E-03	-4.25686E+00	-3.49042E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
4.71506E-06	6.05770E-01	4.69930E-07

Maximum residual force norm 1.998E+00 at Node 2415.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 1.190E-06, 1.165E-07, -7.222E-06)  
Maximum rotation increment at Node 2413: ( 1.653E-15, 5.435E-09, 1.699E-16)

DISPLACEMENT NORM: 1.725896E-05 FORCE/MOMENT NORM: 3.781580E-02

ITERATION 3 OF INCREMENT 4

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.28125E+02	0.00000E+00	-3.12500E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.28125E+02	0.00000E+00	-3.12500E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
4.54375E-14	1.21210E-13	-5.78037E-12	-1.12942E-02	-2.97838E-02	2.13546E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
1.93125E-10	-5.41734E-06	-1.85697E-10

Maximum residual force norm 5.467E-04 at Node 2382.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

DISPLACEMENT NORM: 0.000000E+00 FORCE/MOMENT NORM: 2.524470E-05

END OF INCREMENT 4: Converged at Iteration 3

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES

DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
3.78911E-01	3.84769E-04	2.63977E-02	1.46969E-04	1.71935E-04	3.04517E-05

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 4

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1.28125E+02	-1.67535E-14	3.12500E+01	-6.54949E-03	-1.47608E-02	9.18453E-06

Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 5: "Increment"

Current Load Factors:

3.12500E-02	3.12500E-02	0.00000E+00
-------------	-------------	-------------

Load Factor Changes from Last Increment:

1.56250E-02	1.56250E-02	0.00000E+00
-------------	-------------	-------------

ITERATION 1 OF INCREMENT 5

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.56250E+02	0.00000E+00	-6.25000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
----	----	----	----	----	----

-2.56250E+02 0.00000E+00 -6.25000E+01 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.28125E+02	-3.29845E-14	-3.12500E+01	6.54949E-03	1.47608E-02	-9.18453E-06

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-2.50000E+03	-1.68029E+05	1.02500E+04

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-3.789E-01, -6.616E-06, -1.423E-02)

Maximum rotation increment at Node 2412: ( 6.603E-15, -1.719E-04, -3.207E-16)

DISPLACEMENT NORM: 4.999962E-01 FORCE/MOMENT NORM: 5.000000E-01

ITERATION 2 OF INCREMENT 5

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.56250E+02	0.00000E+00	-6.25000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.56250E+02	0.00000E+00	-6.25000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.98352E-08	-5.00761E-11	1.19610E-07	5.44218E-03	-2.20358E+01	-1.02738E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
3.68677E-06	2.42463E+00	1.63351E-06

Maximum residual force norm 7.992E+00 at Node 2415.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 4.772E-06, 4.662E-07, -2.889E-05)

Maximum rotation increment at Node 2413: (-6.043E-15, 2.174E-08, 6.779E-16)

DISPLACEMENT NORM: 3.452028E-05 FORCE/MOMENT NORM: 7.562373E-02

ITERATION 3 OF INCREMENT 5

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.56250E+02	0.00000E+00	-6.25000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.56250E+02	0.00000E+00	-6.25000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2.99652E-13	1.52649E-13	-1.15566E-11	-2.91566E-03	-1.12524E-01	2.21271E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
2.45954E-11	-2.87028E-05	1.16491E-09

Maximum residual force norm 5.770E-04 at Node 2321.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

DISPLACEMENT NORM: 0.000000E+00 FORCE/MOMENT NORM: 1.336112E-05

END OF INCREMENT 5: Converged at Iteration 3

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES

DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
7.57810E-01	7.68352E-04	5.27967E-02	2.93934E-04	3.43865E-04	6.09020E-05



DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 5

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2.56250E+02	-4.21951E-14	6.25000E+01	-1.91940E-02	1.84142E-02	-9.56958E-06

Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 6: "Increment"  
Current Load Factors:  
6.25000E-02 6.25000E-02 0.00000E+00  
Load Factor Changes from Last Increment:  
3.12500E-02 3.12500E-02 0.00000E+00

ITERATION 1 OF INCREMENT 6

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-5.12500E+02	0.00000E+00	-1.25000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-5.12500E+02	0.00000E+00	-1.25000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.56250E+02	2.12281E-13	-6.25000E+01	1.91940E-02	-1.84142E-02	9.56958E-06

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-5.00000E+03	-3.36055E+05	2.05000E+04

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-7.578E-01, -1.118E-05, -2.856E-02)  
Maximum rotation increment at Node 2412: (4.068E-15, -3.439E-04, 4.641E-16)

DISPLACEMENT NORM: 4.999925E-01 FORCE/MOMENT NORM: 5.000000E-01

ITERATION 2 OF INCREMENT 6

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-5.12500E+02	0.00000E+00	-1.25000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-5.12500E+02	0.00000E+00	-1.25000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.45171E-08	-9.53588E-10	-1.85596E-07	-2.42406E-02	-1.27770E+02	-4.45243E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.90011E-05	9.71101E+00	9.47520E-07

Maximum residual force norm 3.197E+01 at Node 2415.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (1.917E-05, 1.865E-06, -1.155E-04)  
Maximum rotation increment at Node 2413: (-4.278E-15, 8.691E-08, 9.878E-17)

DISPLACEMENT NORM: 6.904991E-05 FORCE/MOMENT NORM: 1.512165E-01

ITERATION 3 OF INCREMENT 6

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-5.12500E+02	0.00000E+00	-1.25000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-5.12500E+02 0.00000E+00 -1.25000E+02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
1.44876E-12 1.51163E-12 -3.58586E-11 2.72432E-03 -2.72171E-01 2.72501E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
3.24313E-09 5.67292E-06 1.68509E-09

Maximum residual force norm 1.473E-03 at Node 2988.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

DISPLACEMENT NORM: 0.000000E+00 FORCE/MOMENT NORM: 1.884354E-05

END OF INCREMENT 6: Converged at Iteration 3

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES  
DX DY DZ RX RY RZ  
1.51557E+00 1.53196E-03 1.05598E-01 5.87854E-04 6.87711E-04 1.21798E-04

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 6  
FX FY FZ MX MY MZ  
5.12500E+02 2.06526E-13 1.25000E+02 -1.20601E-02 -1.02440E-02 4.82458E-06  
Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 7: "Increment"  
Current Load Factors:  
1.25000E-01 1.25000E-01 0.00000E+00  
Load Factor Changes from Last Increment:  
6.25000E-02 6.25000E-02 0.00000E+00

ITERATION 1 OF INCREMENT 7

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-1.02500E+03 0.00000E+00 -2.50000E+02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-1.02500E+03 0.00000E+00 -2.50000E+02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-5.12500E+02 -2.68699E-13 -1.25000E+02 1.20601E-02 1.02440E-02 -4.82458E-06

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
-1.00000E+04 -6.72095E+05 4.10000E+04

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-1.515E+00, -1.416E-05, -5.750E-02)  
Maximum rotation increment at Node 2412: ( 4.259E-15, -6.877E-04, -1.342E-16)

DISPLACEMENT NORM: 4.999849E-01 FORCE/MOMENT NORM: 5.000000E-01

ITERATION 2 OF INCREMENT 7

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-1.02500E+03 0.00000E+00 -2.50000E+02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-1.02500E+03 0.00000E+00 -2.50000E+02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-5.89177E-08 9.41193E-10 -4.64077E-08 -5.36977E-04 -8.28500E+02 -1.12742E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-7.96393E-06	3.89428E+01	4.44144E-06

Maximum residual force norm 1.278E+02 at Node 2415.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8663E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 7.737E-05, 7.457E-06, -4.620E-04)  
 Maximum rotation increment at Node 2413: (-4.527E-15, 3.474E-07, -5.391E-16)

DISPLACEMENT NORM: 1.381368E-04 FORCE/MOMENT NORM: 3.023145E-01

ITERATION 3 OF INCREMENT 7

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+03	0.00000E+00	-2.50000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+03	0.00000E+00	-2.50000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-5.93966E-12	1.05880E-12	1.31713E-10	-1.08785E-02	-8.54613E+02	-2.92406E-06

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
2.82536E-08	3.83189E-03	3.93710E-09

Maximum residual force norm 6.328E-01 at Node 2125.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: ( 3.505E-08, 4.624E-11, 7.676E-09)  
 Maximum rotation increment at Node 2412: ( 4.701E-16, -4.178E-10, 1.997E-16)

DISPLACEMENT NORM: 1.084758E-08 FORCE/MOMENT NORM: 3.128378E-03

ITERATION 4 OF INCREMENT 7

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+03	0.00000E+00	-2.50000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+03	0.00000E+00	-2.50000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2.69884E-12	1.77095E-13	1.01249E-13	-7.58617E-04	1.14845E-02	1.42963E-06

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.01385E-08	3.43807E-07	-3.31386E-10

Maximum residual force norm 5.576E-04 at Node 2383.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

DISPLACEMENT NORM: 0.000000E+00 FORCE/MOMENT NORM: 2.967275E-06

END OF INCREMENT 7: Converged at Iteration 4

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES

DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
3.03094E+00	3.04495E-03	2.11216E-01	1.17565E-03	1.37535E-03	2.43574E-04

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 7

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1.02500E+03	-7.51414E-13	2.50000E+02	2.30461E-03	6.18319E-03	2.64667E-06

Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 8: "Increment"

Current Load Factors:

2.50000E-01 2.50000E-01 0.00000E+00

Load Factor Changes from Last Increment:

1.25000E-01 1.25000E-01 0.00000E+00

ITERATION 1 OF INCREMENT 8

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.05000E+03	0.00000E+00	-5.00000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.05000E+03	0.00000E+00	-5.00000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+03	1.07826E-12	-2.50000E+02	-2.30461E-03	-6.18319E-03	-2.64667E-06

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-2.00000E+04	-1.34413E+06	8.20000E+04

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-3.031E+00, 4.489E-06, -1.165E-01)

Maximum rotation increment at Node 2412: (1.058E-14, -1.375E-03, -9.264E-18)

DISPLACEMENT NORM: 4.999696E-01 FORCE/MOMENT NORM: 5.000000E-01

ITERATION 2 OF INCREMENT 8

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.05000E+03	0.00000E+00	-5.00000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.05000E+03	0.00000E+00	-5.00000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2.60846E-08	-5.75625E-09	-9.10337E-08	1.52253E-02	-5.82956E+03	1.67114E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.60372E-05	1.56562E+02	-2.82234E-06

Maximum residual force norm 5.113E+02 at Node 2415.

Residual force norm has increased by 20.84 % from 8.23483E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8670E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (3.148E-04, 2.982E-05, -1.848E-03)

Maximum rotation increment at Node 2413: (-6.336E-17, 1.391E-06, 3.616E-16)

DISPLACEMENT NORM: 2.764183E-04 FORCE/MOMENT NORM: 6.041789E-01

ITERATION 3 OF INCREMENT 8

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.05000E+03	0.00000E+00	-5.00000E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX FY FZ MX MY MZ  
-2.05000E+03 0.00000E+00 -5.00000E+02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX FY FZ MX MY MZ  
2.67831E-11 1.64049E-11 -7.20499E-10 1.48074E+01 -6.81824E+03 -1.49184E+02

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo MYo MZo  
3.99979E-07 9.20042E-02 4.26349E-04

Maximum residual force norm 5.060E+00 at Node 2131.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: ( 4.600E-07, 4.222E-08, 8.959E-08)

Maximum rotation increment at Node 2412: ( 1.489E-08, 2.165E-10, -1.488E-08)

DISPLACEMENT NORM: 7.053094E-08 FORCE/MOMENT NORM: 1.257566E-02

ITERATION 4 OF INCREMENT 8

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX FY FZ MX MY MZ  
-2.05000E+03 0.00000E+00 -5.00000E+02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX FY FZ MX MY MZ  
-2.05000E+03 0.00000E+00 -5.00000E+02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX FY FZ MX MY MZ  
-8.37288E-14 -2.96033E-13 -7.28721E-12 -2.18496E-02 3.82267E-02 -3.93832E-02

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo MYo MZo  
-7.33240E-08 3.57713E-06 2.49707E-05

Maximum residual force norm 5.147E-04 at Node 2391.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-9.434E-13, -4.183E-08, 1.448E-10)

Maximum rotation increment at Node 2413: ( 3.194E-11, -2.642E-16, 4.154E-12)

DISPLACEMENT NORM: 5.008531E-09 FORCE/MOMENT NORM: 1.524932E-06

END OF INCREMENT 8: Converged at Iteration 4

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES

DX DY DZ RX RY RZ  
6.06115E+00 6.02404E-03 4.22509E-01 2.35109E-03 2.75038E-03 4.87056E-04

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 8

FX FY FZ MX MY MZ  
2.05000E+03 -4.65951E-13 5.00000E+02 -1.41068E-02 -3.98419E-03 4.47621E-04

Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 9: "Increment"

Current Load Factors:

5.00000E-01 5.00000E-01 0.00000E+00

Load Factor Changes from Last Increment:

2.50000E-01 2.50000E-01 0.00000E+00

ITERATION 1 OF INCREMENT 9

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX FY FZ MX MY MZ  
-4.10000E+03 0.00000E+00 -1.00000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX FY FZ MX MY MZ  
-4.10000E+03 0.00000E+00 -1.00000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

## SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.05000E+03	1.21202E-12	-5.00000E+02	1.41068E-02	3.98419E-03	-4.47621E-04

## SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-4.00000E+04	-2.68801E+06	1.64000E+05

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-6.059E+00, 1.402E-04, -2.392E-01)

Maximum rotation increment at Node 2412: ( 1.035E-13, -2.750E-03, -2.118E-14)

DISPLACEMENT NORM: 4.999386E-01 FORCE/MOMENT NORM: 5.000000E-01

## ITERATION 2 OF INCREMENT 9

## SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-4.10000E+03	0.00000E+00	-1.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

## SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

## SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-4.10000E+03	0.00000E+00	-1.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.96603E-07	-4.16765E-09	2.67492E-06	-2.21936E+04	1.09110E+04	2.87448E+03

## SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.22400E-02	6.32557E+02	-2.51676E-03

Maximum residual force norm 2.044E+03 at Node 2415.

Residual force norm has increased by 1.44 times from 1.64697E+03.

Maximum and minimum pivots: 1.9181E+11(Node 2411\_RY), 2.8702E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 1.299E-03, 1.189E-04, -7.385E-03)

Maximum rotation increment at Node 2413: (-1.480E-08, 5.553E-06, 1.489E-08)

DISPLACEMENT NORM: 5.533876E-04 FORCE/MOMENT NORM: 1.222074E+00

## ITERATION 3 OF INCREMENT 9

## SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-4.10000E+03	0.00000E+00	-1.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

## SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

## SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-4.10000E+03	0.00000E+00	-1.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2.29487E-12	5.05016E-11	-2.06792E-09	2.10438E+04	-9.78765E+01	-1.09465E+03

## SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-3.17198E-05	1.73938E+00	1.97764E-03

Maximum residual force norm 1.646E+02 at Node 2368.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: ( 6.607E-06, 3.354E-07, 1.176E-06)

Maximum rotation increment at Node 2412: (-1.492E-08, 3.200E-09, -1.493E-08)

DISPLACEMENT NORM: 5.035410E-07 FORCE/MOMENT NORM: 1.507363E-01

## ITERATION 4 OF INCREMENT 9

## SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
----	----	----	----	----	----

-4.10000E+03 0.00000E+00 -1.00000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-4.10000E+03	0.00000E+00	-1.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-3.16571E-12	2.20846E-12	9.48460E-12	-1.32177E+04	3.59688E-01	6.64217E+02

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
6.43010E-03	5.40350E-05	7.01436E-04

Maximum residual force norm 1.102E+02 at Node 2371.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

DISPLACEMENT NORM: 0.000000E+00 FORCE/MOMENT NORM: 9.449368E-02

END OF INCREMENT 9: Converged at Iteration 4

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES

DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
1.21197E+01	1.22537E-02	8.45322E-01	4.70125E-03	5.49948E-03	9.73744E-04

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 9

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
4.10000E+03	1.63563E-12	1.00000E+03	-6.65439E+03	4.16156E-03	8.29176E+02

Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 10: "GSU"

Current Load Factors:

1.00000E+00 1.00000E+00 0.00000E+00

Load Factor Changes from Last Increment:

5.00000E-01 5.00000E-01 0.00000E+00

ITERATION 1 OF INCREMENT 10

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-4.10000E+03	-2.38170E-12	-1.00000E+03	6.65439E+03	-4.16156E-03	-8.29176E+02

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-8.00003E+04	-5.37504E+06	3.28001E+05

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-1.211E+01, 8.044E-04, -5.027E-01)

Maximum rotation increment at Node 2412: ( 1.497E-08, -5.497E-03, 1.493E-08)

DISPLACEMENT NORM: 4.998743E-01 FORCE/MOMENT NORM: 5.027822E-01

ITERATION 2 OF INCREMENT 10

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.20000E+03 0.00000E+00 -2.00000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
6.11896E-08 1.35372E-09 1.99230E-06 -2.05687E+04 1.00238E+05 -1.67647E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
-4.44867E-02 2.58052E+03 5.92695E-02

Maximum residual force norm 8.164E+03 at Node 2415.  
Residual force norm has increased by 3.81 times from 3.31226E+03.

Maximum and minimum pivots: 1.9182E+11(Node 2411\_RY), 2.8827E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 5.481E-03, 4.759E-04, -2.949E-02)  
Maximum rotation increment at Node 2413: ( 1.277E-10, 2.207E-05, 1.659E-11)

DISPLACEMENT NORM: 1.108727E-03 FORCE/MOMENT NORM: 2.419671E+00

ITERATION 3 OF INCREMENT 10

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.20000E+03 0.00000E+00 -2.00000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.20000E+03 0.00000E+00 -2.00000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-6.87278E-11 2.45893E-10 6.33897E-09 2.58393E+04 -4.44069E+01 1.38014E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
2.15792E-02 3.04860E+01 1.02543E-02

Maximum residual force norm 1.660E+02 at Node 2344.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: ( 1.009E-04, 1.870E-07, 1.696E-05)  
Maximum rotation increment at Node 2413: (-1.482E-08, 1.944E-07, -1.498E-08)

DISPLACEMENT NORM: 3.845534E-06 FORCE/MOMENT NORM: 8.575177E-02

ITERATION 4 OF INCREMENT 10

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.20000E+03 0.00000E+00 -2.00000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.20000E+03 0.00000E+00 -2.00000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-2.45404E-12 1.18040E-12 -6.99174E-12 2.85620E+04 3.11016E+03 3.40387E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
-1.90258E-02 -2.64133E+00 1.05614E-02

Maximum residual force norm 1.576E+03 at Node 1988.  
Residual force norm has increased by 2.83 times from 5.64921E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-1.705E-02, 3.865E-06, 2.137E-04)  
Maximum rotation increment at Node 1996: (-2.269E-04, -1.081E-04, -4.626E-05)



DISPLACEMENT NORM: 1.035978E-03 FORCE/MOMENT NORM: 3.283582E-01

ITERATION 5 OF INCREMENT 10

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-6.99881E-10	-8.41638E-12	-7.12225E-09	4.20837E+04	4.88515E+02	-9.10686E+02

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-6.32633E-02	2.34186E+00	-1.43587E-01

Maximum residual force norm 1.500E+02 at Node 2374.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-1.023E-03, -2.577E-06, 1.254E-05)

Maximum rotation increment at Node 1995: (-2.617E-06, -3.282E-05, -2.966E-05)

DISPLACEMENT NORM: 8.419199E-05 FORCE/MOMENT NORM: 9.888627E-02

ITERATION 6 OF INCREMENT 10

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
6.45644E-11	-4.35074E-12	6.18137E-10	3.31314E+04	-4.68750E+01	1.64425E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.52544E-01	-2.65378E-01	-7.51952E-02

Maximum residual force norm 1.672E+02 at Node 2343.

Residual force norm has increased by 2.48 % from 6.51450E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-1.157E-04, -2.674E-06, 1.388E-06)

Maximum rotation increment at Node 1995: ( 1.462E-07, -2.726E-06, -1.343E-06)

DISPLACEMENT NORM: 7.747713E-06 FORCE/MOMENT NORM: 1.013361E-01

ITERATION 7 OF INCREMENT 10

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2.09539E-11	7.62834E-13	5.76996E-11	3.01632E+04	-7.27477E+01	7.78668E+02

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
1.89234E-02	-2.00821E-02	1.60130E-02

Maximum residual force norm 2.331E+02 at Node 2367.

Residual force norm has increased by 2.19 % from 6.67589E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-9.001E-06, 1.575E-07, 1.065E-07)

Maximum rotation increment at Node 1995: (-1.253E-09, -3.237E-07, -1.776E-07)

DISPLACEMENT NORM: 7.006608E-07 FORCE/MOMENT NORM: 1.035538E-01

ITERATION 8 OF INCREMENT 10

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.92719E-12	-3.60698E-13	-3.48832E-12	1.93315E+04	3.45474E-01	6.48506E+02

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.97106E-02	-2.66377E-03	2.39362E-02

Maximum residual force norm 1.657E+02 at Node 2336.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-1.047E-06, 1.385E-07, 1.220E-08)

Maximum rotation increment at Node 1995: ( 7.641E-10, -2.660E-08, -1.324E-08)

DISPLACEMENT NORM: 6.992878E-08 FORCE/MOMENT NORM: 6.588872E-02

ITERATION 9 OF INCREMENT 10

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-7.27731E-12	5.78645E-12	5.96783E-11	6.56645E+03	8.27519E-02	-1.18019E+02

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.05702E-02	-1.99849E-04	1.75624E-02

Maximum residual force norm 1.382E+02 at Node 2337.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-8.809E-08, -1.814E-09, 1.014E-09)

Maximum rotation increment at Node 2016: ( 1.493E-08, 4.814E-10, 1.491E-08)

DISPLACEMENT NORM: 6.736869E-09 FORCE/MOMENT NORM: 4.279664E-02

ITERATION 10 OF INCREMENT 10

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.20000E+03 0.00000E+00 -2.00000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.20000E+03 0.00000E+00 -2.00000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-9.11971E-12 -1.60391E-12 -1.50228E-11 1.86168E+00 -1.17187E-02 -8.15031E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
-2.90755E-04 -2.67586E-05 5.10048E-03

Maximum residual force norm 3.814E-01 at Node 2564.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-9.439E-09, -1.195E-10, 1.081E-10)  
Maximum rotation increment at Node 2573: (-1.488E-08, -2.274E-12, -1.492E-08)

DISPLACEMENT NORM: 6.462299E-10 FORCE/MOMENT NORM: 3.039312E-04

END OF INCREMENT 10: Converged at Iteration 10

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES  
DX DY DZ RX RY RZ  
2.42468E+01 2.48447E-02 1.69398E+00 9.39891E-03 1.10000E-02 1.94698E-03

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 10  
FX FY FZ MX MY MZ  
8.20000E+03 -4.23049E-12 2.00000E+03 4.65033E+00 1.46050E-02 1.28515E+01  
Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 11: "Increment"  
Current Load Factors:  
1.03125E+00 1.02188E+00 0.00000E+00  
Load Factor Changes from Last Increment:  
3.12500E-02 2.18750E-02 0.00000E+00

ITERATION 1 OF INCREMENT 11

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.45625E+03 0.00000E+00 -2.04375E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.45625E+03 0.00000E+00 -2.04375E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-2.56250E+02 2.83783E-12 -4.37500E+01 -4.65154E+00 -1.46039E-02 -1.28515E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
-3.50007E+03 -3.30148E+05 2.05004E+04

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-7.476E-01, 1.137E-04, -3.418E-02)  
Maximum rotation increment at Node 2412: ( 1.626E-13, -3.402E-04, 5.172E-13)

DISPLACEMENT NORM: 2.981218E-02 FORCE/MOMENT NORM: 2.960764E-02

ITERATION 2 OF INCREMENT 11

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.45625E+03 0.00000E+00 -2.04375E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.45625E+03	0.00000E+00	-2.04375E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2.43482E-08	1.84933E-10	1.26873E-07	-3.24832E+04	-1.63108E+03	-3.44255E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
5.00781E-02	4.50240E+01	-1.22638E-02

Maximum residual force norm 1.876E+02 at Node 2358.

Residual force norm has increased by 2.30 times from 2.00979E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8663E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 2.539E-05, -1.661E-06, -4.021E-04)

Maximum rotation increment at Node 2984: ( 4.100E-08, 4.004E-08, 1.083E-06)

DISPLACEMENT NORM: 1.209393E-05 FORCE/MOMENT NORM: 9.783625E-02

ITERATION 3 OF INCREMENT 11

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.45625E+03	0.00000E+00	-2.04375E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.45625E+03	0.00000E+00	-2.04375E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.31903E-12	-3.77470E-12	-9.80549E-12	-2.83466E+04	3.91529E+02	-2.83925E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-2.80956E-02	-5.86798E-01	9.85134E-03

Maximum residual force norm 2.990E+02 at Node 1988.

Residual force norm has increased by 2.60 % from 6.64119E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-3.545E-03, -6.341E-06, 4.401E-05)

Maximum rotation increment at Node 1996: (-3.583E-05, -1.230E-05, -3.404E-07)

DISPLACEMENT NORM: 2.038684E-04 FORCE/MOMENT NORM: 1.003753E-01

ITERATION 4 OF INCREMENT 11

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.45625E+03	0.00000E+00	-2.04375E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.45625E+03	0.00000E+00	-2.04375E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-3.99267E-10	-2.68807E-12	-4.20965E-10	-2.41865E+04	1.48042E+01	1.79181E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-2.31844E-03	1.20558E-01	-4.56664E-02

Maximum residual force norm 1.480E+02 at Node 2378.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-1.583E-04, 5.397E-06, 1.940E-06)  
Maximum rotation increment at Node 1995: ( 1.796E-07, -9.260E-06, -5.854E-06)

DISPLACEMENT NORM: 1.475865E-05 FORCE/MOMENT NORM: 8.549612E-02

ITERATION 5 OF INCREMENT 11

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.45625E+03	0.00000E+00	-2.04375E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.45625E+03	0.00000E+00	-2.04375E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-4.99756E-12	-2.50516E-12	-1.27048E-10	2.11619E+04	-6.57649E+01	2.93760E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
7.27921E-02	-6.93761E-02	1.73988E-02

Maximum residual force norm 1.665E+02 at Node 2349.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-3.104E-05, -1.408E-07, 3.598E-07)  
Maximum rotation increment at Node 1995: ( 2.202E-07, -5.023E-07, -1.479E-07)

DISPLACEMENT NORM: 1.787787E-06 FORCE/MOMENT NORM: 7.814303E-02

ITERATION 6 OF INCREMENT 11

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.45625E+03	0.00000E+00	-2.04375E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.45625E+03	0.00000E+00	-2.04375E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.84217E-12	5.35944E-12	3.23923E-11	-2.14752E+04	1.30954E+00	-2.57513E+02

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
1.07409E-02	-2.58282E-03	2.22091E-02

Maximum residual force norm 1.650E+02 at Node 2347.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-1.865E-06, 5.747E-07, 2.119E-08)  
Maximum rotation increment at Node 1995: ( 1.235E-08, -1.076E-07, -5.662E-08)

DISPLACEMENT NORM: 1.680593E-07 FORCE/MOMENT NORM: 6.929000E-02

ITERATION 7 OF INCREMENT 11

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.45625E+03	0.00000E+00	-2.04375E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.45625E+03 0.00000E+00 -2.04375E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-2.58342E-13 -6.12790E-12 4.31288E-12 9.81808E+03 7.47338E-02 -7.85816E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
3.55205E-02 -8.73863E-04 2.15157E-02

Maximum residual force norm 1.659E+02 at Node 2377.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-3.833E-07, -6.512E-09, 4.320E-09)  
Maximum rotation increment at Node 1988: (-1.483E-08, 3.539E-09, -1.480E-08)

DISPLACEMENT NORM: 2.225940E-08 FORCE/MOMENT NORM: 5.402623E-02

ITERATION 8 OF INCREMENT 11

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.45625E+03 0.00000E+00 -2.04375E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.45625E+03 0.00000E+00 -2.04375E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
1.55619E-11 -2.24967E-12 1.46432E-11 6.57471E+03 1.61789E-02 -4.36442E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
2.06093E-02 -4.48287E-05 7.81569E-03

Maximum residual force norm 1.106E+02 at Node 2376.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-3.673E-08, 7.477E-11, 4.074E-10)  
Maximum rotation increment at Node 1995: ( 1.511E-08, -1.702E-09, -1.473E-08)

DISPLACEMENT NORM: 2.667273E-09 FORCE/MOMENT NORM: 3.551032E-02

ITERATION 9 OF INCREMENT 11

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.45625E+03 0.00000E+00 -2.04375E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.45625E+03 0.00000E+00 -2.04375E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-1.61337E-11 2.79854E-12 9.77424E-12 3.29132E+03 -7.83139E-03 -3.24648E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
1.18386E-02 -1.24659E-05 6.44790E-03

Maximum residual force norm 1.106E+02 at Node 2346.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-5.893E-09, -3.284E-11, 6.650E-11)  
Maximum rotation increment at Node 727: (-1.487E-08, -2.524E-12, -1.494E-08)

DISPLACEMENT NORM: 4.204733E-10 FORCE/MOMENT NORM: 2.444102E-02

ITERATION 10 OF INCREMENT 11

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.45625E+03	0.00000E+00	-2.04375E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.45625E+03	0.00000E+00	-2.04375E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.50093E-11	-1.22695E-12	-3.73369E-11	3.33933E+03	-7.63366E-03	1.63504E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
8.15995E-03	9.22201E-07	-1.10182E-03

Maximum residual force norm 1.106E+02 at Node 2376.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-1.093E-08, -1.574E-10, 1.226E-10)

Maximum rotation increment at Node 815: (-1.487E-08, -4.041E-12, -1.494E-08)

DISPLACEMENT NORM: 5.758241E-10 FORCE/MOMENT NORM: 2.444020E-02

ITERATION 11 OF INCREMENT 11

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.45625E+03	0.00000E+00	-2.04375E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.45625E+03	0.00000E+00	-2.04375E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2.04337E-12	1.71770E-12	-1.29196E-12	-3.32940E+03	-3.29890E-03	-3.76978E+00

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-5.20012E-03	-1.34276E-08	-4.79315E-04

Maximum residual force norm 1.106E+02 at Node 2346.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

DISPLACEMENT NORM: 0.000000E+00 FORCE/MOMENT NORM: 2.444020E-02

END OF INCREMENT 11: Converged at Iteration 11

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES

DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
2.49985E+01	2.56186E-02	1.74596E+00	9.68719E-03	1.13415E-02	2.00973E-03

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 11

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
8.45625E+03	3.50306E-13	2.04375E+03	1.14237E+01	-3.55752E-03	1.58200E-02

Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 12: "Increment"

Current Load Factors:

1.06250E+00	1.04375E+00	0.00000E+00
-------------	-------------	-------------

Load Factor Changes from Last Increment:

3.12500E-02	2.18750E-02	0.00000E+00
-------------	-------------	-------------

ITERATION 1 OF INCREMENT 12

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.71250E+03	0.00000E+00	-2.08750E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.71250E+03	0.00000E+00	-2.08750E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.56250E+02	1.17026E-12	-4.37500E+01	-1.14220E+01	3.56027E-03	-1.58174E-02

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-3.50007E+03	-3.30139E+05	2.05004E+04

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-7.475E-01, 1.176E-04, -3.437E-02)

Maximum rotation increment at Node 2412: ( 8.011E-15, -3.402E-04, 1.005E-13)

DISPLACEMENT NORM: 2.894154E-02 FORCE/MOMENT NORM: 2.875872E-02

ITERATION 2 OF INCREMENT 12

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.71250E+03	0.00000E+00	-2.08750E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.71250E+03	0.00000E+00	-2.08750E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-9.53505E-09	3.64619E-12	-1.49558E-08	-2.61166E+04	-1.67533E+03	-3.52568E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
6.81170E-02	4.60343E+01	-2.07001E-02

Maximum residual force norm 2.102E+02 at Node 2358.

Residual force norm has increased by 1.83 times from 2.00975E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8663E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 2.569E-05, -1.770E-06, -4.114E-04)

Maximum rotation increment at Node 2879: (-4.213E-08, 4.162E-08, -1.116E-06)

DISPLACEMENT NORM: 1.203025E-05 FORCE/MOMENT NORM: 8.132547E-02

ITERATION 3 OF INCREMENT 12

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.71250E+03	0.00000E+00	-2.08750E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.71250E+03	0.00000E+00	-2.08750E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.45564E-11	-5.48914E-12	-2.85070E-11	1.39156E+04	2.34753E+02	-2.07628E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
4.44675E-03	-4.29535E-01	8.09785E-04

Maximum residual force norm 3.123E+02 at Node 1988.



Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-4.108E-03, -1.557E-05, 5.108E-05)

Maximum rotation increment at Node 1996: (-3.256E-05, -1.324E-05, -4.127E-07)

DISPLACEMENT NORM: 2.320648E-04 FORCE/MOMENT NORM: 7.635916E-02

ITERATION 4 OF INCREMENT 12

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.71250E+03	0.00000E+00	-2.08750E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.71250E+03	0.00000E+00	-2.08750E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-3.44908E-10	5.49072E-12	-2.04771E-09	3.09818E+03	1.55311E+01	1.03473E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
2.10528E-02	1.94628E-01	-7.65339E-02

Maximum residual force norm 8.911E+01 at Node 2338.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-1.889E-04, 1.365E-05, 2.395E-06)

Maximum rotation increment at Node 1995: ( 2.079E-07, -9.825E-06, -6.581E-06)

DISPLACEMENT NORM: 1.678691E-05 FORCE/MOMENT NORM: 4.381771E-02

ITERATION 5 OF INCREMENT 12

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.71250E+03	0.00000E+00	-2.08750E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.71250E+03	0.00000E+00	-2.08750E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-3.89977E-12	-7.69473E-12	8.03890E-11	-2.69100E+04	-5.92873E+01	1.60176E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
9.00102E-02	-7.17269E-02	4.59886E-02

Maximum residual force norm 1.428E+02 at Node 2349.

Residual force norm has increased by 65.37 % from 3.06212E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-3.780E-05, 1.323E-06, 4.368E-07)

Maximum rotation increment at Node 1995: ( 2.340E-07, -5.300E-07, -1.657E-07)

DISPLACEMENT NORM: 2.110206E-06 FORCE/MOMENT NORM: 7.246149E-02

ITERATION 6 OF INCREMENT 12

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.71250E+03	0.00000E+00	-2.08750E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.71250E+03 0.00000E+00 -2.08750E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
1.72218E-12 5.21982E-12 -1.06581E-11 -4.85405E+04 2.32446E+00 7.95064E+02

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
1.99031E-02 -2.23152E-03 1.14548E-02

Maximum residual force norm 1.711E+02 at Node 2349.  
Residual force norm has increased by 51.00 % from 5.06384E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-2.179E-06, -5.470E-08, 2.467E-08)  
Maximum rotation increment at Node 1995: ( 1.234E-08, -1.228E-07, -7.358E-08)

DISPLACEMENT NORM: 1.981597E-07 FORCE/MOMENT NORM: 1.094170E-01

ITERATION 7 OF INCREMENT 12

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.71250E+03 0.00000E+00 -2.08750E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.71250E+03 0.00000E+00 -2.08750E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
1.14533E-11 3.94806E-12 3.06661E-11 2.81745E+04 1.65066E-02 4.52744E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
3.02637E-02 -9.32707E-04 1.76959E-02

Maximum residual force norm 2.064E+02 at Node 2367.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-4.837E-07, 1.778E-07, -1.139E-08)  
Maximum rotation increment at Node 1995: ( 1.489E-08, -7.874E-09, -1.375E-08)

DISPLACEMENT NORM: 2.746099E-08 FORCE/MOMENT NORM: 9.681949E-02

ITERATION 8 OF INCREMENT 12

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.71250E+03 0.00000E+00 -2.08750E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-8.71250E+03 0.00000E+00 -2.08750E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-1.35630E-11 -6.83656E-12 -7.23408E-11 -1.73576E+04 2.59015E-02 -1.45434E+02

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
3.37839E-02 -6.54864E-05 1.15806E-02

Maximum residual force norm 1.651E+02 at Node 2372.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-4.106E-08, 5.256E-10, 4.472E-10)  
Maximum rotation increment at Node 751: (-1.494E-08, -1.719E-11, 2.106E-08)

DISPLACEMENT NORM: 3.144110E-09 FORCE/MOMENT NORM: 6.752284E-02

ITERATION 9 OF INCREMENT 12

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.71250E+03	0.00000E+00	-2.08750E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.71250E+03	0.00000E+00	-2.08750E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1.93292E-11	3.44548E-12	3.52118E-12	-4.55358E+03	-2.32395E-03	-6.88404E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.94332E-02	-1.54160E-05	5.82201E-03

Maximum residual force norm 1.381E+02 at Node 2376.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-6.438E-09, -1.208E-10, 7.023E-11)

Maximum rotation increment at Node 855: (-1.493E-08, -2.767E-12, 1.488E-08)

DISPLACEMENT NORM: 3.841844E-10 FORCE/MOMENT NORM: 4.403897E-02

ITERATION 10 OF INCREMENT 12

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.71250E+03	0.00000E+00	-2.08750E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.71250E+03	0.00000E+00	-2.08750E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-3.09592E-11	-3.85077E-12	5.33833E-11	-1.12031E+04	-2.41432E-03	-8.60933E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
5.58176E-03	-1.27983E-06	6.77065E-03

Maximum residual force norm 1.659E+02 at Node 2343.

Residual force norm has increased by 20.74 % from 3.07758E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

DISPLACEMENT NORM: 0.000000E+00 FORCE/MOMENT NORM: 5.317142E-02

END OF INCREMENT 12: Converged at Iteration 10

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES

DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
2.57506E+01	2.63892E-02	1.79802E+00	9.97575E-03	1.16832E-02	2.07278E-03

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 12

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
8.71250E+03	-2.11771E-12	2.08750E+03	1.12225E+04	2.86737E-02	6.16268E+01

Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 13: "Increment"

Current Load Factors:

1.12500E+00	1.08750E+00	0.00000E+00
-------------	-------------	-------------

Load Factor Changes from Last Increment:

6.25000E-02	4.37500E-02	0.00000E+00
-------------	-------------	-------------

ITERATION 1 OF INCREMENT 13

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX FY FZ MX MY MZ  
-9.22500E+03 0.00000E+00 -2.17500E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX FY FZ MX MY MZ  
-9.22500E+03 0.00000E+00 -2.17500E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX FY FZ MX MY MZ  
-5.12500E+02 2.25982E-12 -8.75000E+01 -1.12225E+04 -2.86672E-02 -6.16268E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo MYo MZo  
-7.00015E+03 -6.60260E+05 4.10009E+04

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-1.495E+00, 2.431E-04, -6.910E-02)

Maximum rotation increment at Node 2412: (-1.686E-14, -6.804E-04, -8.991E-14)

DISPLACEMENT NORM: 5.470046E-02 FORCE/MOMENT NORM: 7.408187E-02

ITERATION 2 OF INCREMENT 13

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX FY FZ MX MY MZ  
-9.22500E+03 0.00000E+00 -2.17500E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX FY FZ MX MY MZ  
-9.22500E+03 0.00000E+00 -2.17500E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX FY FZ MX MY MZ  
-4.87445E-08 -5.03205E-10 4.99545E-07 -9.91635E+03 -3.16101E+03 -3.79433E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo MYo MZo  
1.07531E-01 1.14532E+02 -2.82198E-02

Maximum residual force norm 4.139E+02 at Node 2358.

Residual force norm has increased by 20.60 % from 5.47386E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8667E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 1.009E-04, -4.812E-07, -1.048E-03)

Maximum rotation increment at Node 2879: (-1.029E-07, 7.810E-08, -2.319E-06)

DISPLACEMENT NORM: 2.847104E-05 FORCE/MOMENT NORM: 8.934241E-02

ITERATION 3 OF INCREMENT 13

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX FY FZ MX MY MZ  
-9.22500E+03 0.00000E+00 -2.17500E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX FY FZ MX MY MZ  
-9.22500E+03 0.00000E+00 -2.17500E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX FY FZ MX MY MZ  
7.30793E-12 2.94029E-12 -2.20098E-10 2.77489E+04 7.53233E+02 5.05395E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo MYo MZo  
-7.92897E-02 -1.56675E+00 -3.31186E-02

Maximum residual force norm 6.618E+02 at Node 1988.  
Residual force norm has increased by 71.96 % from 6.60145E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-1.125E-02, -8.461E-05, 1.396E-04)  
Maximum rotation increment at Node 1995: (-7.035E-08, -8.607E-05, 1.841E-06)

DISPLACEMENT NORM: 6.212702E-04 FORCE/MOMENT NORM: 1.536365E-01

ITERATION 4 OF INCREMENT 13

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-9.22500E+03	0.00000E+00	-2.17500E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-9.22500E+03	0.00000E+00	-2.17500E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.45120E-10	-2.08742E-11	8.94251E-09	1.20673E+03	-2.12379E+01	-1.79518E+02

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-6.99518E-02	1.83496E+00	-2.05354E-01

Maximum residual force norm 4.948E+01 at Node 2349.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-5.426E-04, 7.846E-05, -1.264E-05)  
Maximum rotation increment at Node 1987: (-5.566E-06, -1.499E-05, -3.211E-06)

DISPLACEMENT NORM: 2.840773E-05 FORCE/MOMENT NORM: 1.740194E-02

ITERATION 5 OF INCREMENT 13

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-9.22500E+03	0.00000E+00	-2.17500E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-9.22500E+03	0.00000E+00	-2.17500E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1.53987E-11	2.25375E-12	2.48578E-10	-1.42357E+04	-5.23667E+01	-2.20925E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
2.73229E-01	8.25531E-02	1.97265E-01

Maximum residual force norm 1.523E+02 at Node 2367.  
Residual force norm has increased by 2.13 times from 1.28582E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-1.426E-05, 7.089E-06, -3.261E-07)  
Maximum rotation increment at Node 1980: (-6.997E-07, 3.604E-08, 8.225E-08)

DISPLACEMENT NORM: 8.949817E-07 FORCE/MOMENT NORM: 5.442474E-02

ITERATION 6 OF INCREMENT 13

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-9.22500E+03	0.00000E+00	-2.17500E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-9.22500E+03	0.00000E+00	-2.17500E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2.14392E-12	1.08804E-11	6.79798E-11	-1.03262E+04	-7.77399E-01	-2.06735E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
8.12210E-02	1.55512E-03	2.39431E-02

Maximum residual force norm 1.094E+02 at Node 2370.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-7.992E-07, 3.247E-07, -2.039E-08)

Maximum rotation increment at Node 1987: ( 1.080E-09, -1.387E-07, -7.273E-09)

DISPLACEMENT NORM: 5.893211E-08 FORCE/MOMENT NORM: 3.464957E-02

ITERATION 7 OF INCREMENT 13

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-9.22500E+03	0.00000E+00	-2.17500E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-9.22500E+03	0.00000E+00	-2.17500E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1.21820E-11	-4.03255E-12	-9.52733E-11	-8.39028E+03	-7.16285E-02	6.27385E-01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
2.75109E-02	2.67054E-05	-8.38683E-04

Maximum residual force norm 1.105E+02 at Node 2347.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-1.070E-07, -3.457E-07, 8.738E-10)

Maximum rotation increment at Node 743: (-1.487E-08, -1.132E-10, -1.494E-08)

DISPLACEMENT NORM: 1.095307E-08 FORCE/MOMENT NORM: 3.387002E-02

ITERATION 8 OF INCREMENT 13

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-9.22500E+03	0.00000E+00	-2.17500E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-9.22500E+03	0.00000E+00	-2.17500E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.07363E-11	-6.59503E-12	4.09747E-11	-3.31498E+03	-7.59330E-04	-4.00971E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.74005E-02	3.17887E-07	-6.21017E-03

Maximum residual force norm 1.106E+02 at Node 2377.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-6.699E-09, 7.236E-10, -1.930E-10)

Maximum rotation increment at Node 871: (-1.494E-08, -2.864E-12, 1.488E-08)

DISPLACEMENT NORM: 4.913542E-10 FORCE/MOMENT NORM: 2.245857E-02

ITERATION 9 OF INCREMENT 13

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-9.22500E+03	0.00000E+00	-2.17500E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-9.22500E+03	0.00000E+00	-2.17500E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2.42695E-12	2.83832E-12	-9.23232E-11	-3.26589E+03	2.76640E-03	-3.80171E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.77530E-03	-1.09248E-06	3.24240E-03

Maximum residual force norm 1.106E+02 at Node 2347.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

DISPLACEMENT NORM: 0.000000E+00 FORCE/MOMENT NORM: 2.245805E-02

END OF INCREMENT 13: Converged at Iteration 9

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES

DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
2.72580E+01	2.79346E-02	1.90251E+00	1.05540E-02	1.23676E-02	2.19611E-03

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 13

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
9.22500E+03	1.34982E-12	2.17500E+03	-1.33243E+01	2.05040E-02	-1.56930E+00

Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 14: "Increment"

Current Load Factors:

1.25000E+00	1.17500E+00	0.00000E+00
-------------	-------------	-------------

Load Factor Changes from Last Increment:

1.25000E-01	8.75000E-02	0.00000E+00
-------------	-------------	-------------

ITERATION 1 OF INCREMENT 14

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+03	-5.44255E-12	-1.75000E+02	1.33411E+01	-2.16895E-02	1.56935E+00

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.40004E+04	-1.32045E+06	8.20021E+04

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-2.989E+00, 5.179E-04, -1.397E-01)

Maximum rotation increment at Node 2412: (-1.621E-13, -1.361E-03, -4.302E-13)

DISPLACEMENT NORM: 9.854660E-02 FORCE/MOMENT NORM: 9.814951E-02

ITERATION 2 OF INCREMENT 14

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
----	----	----	----	----	----

-1.02500E+04 0.00000E+00 -2.35000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-7.29555E-08	4.71153E-09	3.67410E-07	-2.48759E+04	-5.16552E+03	-1.04132E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
1.36914E-01	3.19346E+02	-3.12032E-02

Maximum residual force norm 8.964E+02 at Node 2358.  
Residual force norm has increased by 93.53 % from 8.03898E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9181E+11(Node 2411\_RY), 2.8678E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 4.036E-04, 1.355E-05, -2.997E-03)  
Maximum rotation increment at Node 2879: (-2.819E-07, 1.362E-07, -4.992E-06)

DISPLACEMENT NORM: 7.520750E-05 FORCE/MOMENT NORM: 1.899505E-01

ITERATION 3 OF INCREMENT 14

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2.25473E-11	7.27501E-12	-4.31385E-10	-3.00970E+04	-1.48529E+03	-2.80193E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.09205E-01	-3.48249E+00	-1.35103E-02

Maximum residual force norm 1.506E+03 at Node 1988.  
Residual force norm has increased by 70.92 % from 1.55580E+03.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-3.910E-02, -1.894E-04, 3.129E-04)  
Maximum rotation increment at Node 1995: ( 8.743E-07, -2.908E-04, -2.470E-06)

DISPLACEMENT NORM: 1.899879E-03 FORCE/MOMENT NORM: 3.246666E-01

ITERATION 4 OF INCREMENT 14

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.86533E-09	-8.03144E-11	-2.75012E-09	-2.57021E+03	3.27589E+02	-2.48513E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-----	-----	-----



-2.63969E-01 5.16865E+00 -4.88830E-01

Maximum residual force norm 5.541E+01 at Node 1988.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-1.618E-03, 1.730E-04, 1.605E-05)

Maximum rotation increment at Node 1987: ( 2.049E-05, -7.806E-07, -3.338E-06)

DISPLACEMENT NORM: 7.575729E-05 FORCE/MOMENT NORM: 1.860789E-02

ITERATION 5 OF INCREMENT 14

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.31847E-10	1.80209E-11	-5.79873E-10	-2.68181E+04	-7.86638E+00	3.16467E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
2.88850E-01	2.77401E-01	5.01105E-01

Maximum residual force norm 1.234E+02 at Node 2373.

Residual force norm has increased by 2.01 times from 1.52409E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-1.870E-05, 1.051E-05, 2.403E-07)

Maximum rotation increment at Node 1995: ( 3.914E-08, 1.059E-06, -3.248E-07)

DISPLACEMENT NORM: 1.225122E-06 FORCE/MOMENT NORM: 5.607295E-02

ITERATION 6 OF INCREMENT 14

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-5.00200E-12	-1.11799E-11	3.23821E-11	-3.34665E+04	2.18934E+00	3.28080E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
1.61549E-01	3.20562E-03	3.39416E-02

Maximum residual force norm 1.759E+02 at Node 2367.

Residual force norm has increased by 32.25 % from 4.59268E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 6.417E-07, 4.217E-07, -3.279E-09)

Maximum rotation increment at Node 1995: ( 4.116E-10, 4.197E-07, 1.167E-09)

DISPLACEMENT NORM: 4.894585E-08 FORCE/MOMENT NORM: 7.415855E-02

ITERATION 7 OF INCREMENT 14

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-3.48539E-11	1.91919E-12	1.40643E-12	-2.37984E+04	7.48134E-03	1.82951E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
6.28003E-02	1.01159E-03	5.01884E-03

Maximum residual force norm 1.375E+02 at Node 2343.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: ( 2.507E-07, 2.305E-07, 6.611E-09)

Maximum rotation increment at Node 1995: ( 5.585E-10, 2.456E-08, -2.406E-11)

DISPLACEMENT NORM: 1.188350E-08 FORCE/MOMENT NORM: 5.625957E-02

ITERATION 8 OF INCREMENT 14

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2.74026E-11	4.55380E-12	-8.30142E-12	-8.45440E+03	5.78118E-02	-7.48039E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
1.52042E-02	-2.82726E-05	-1.58826E-03

Maximum residual force norm 1.100E+02 at Node 2340.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: ( 2.835E-08, 4.259E-07, 7.755E-10)

Maximum rotation increment at Node 847: (-1.494E-08, 1.220E-11, 1.487E-08)

DISPLACEMENT NORM: 1.033014E-08 FORCE/MOMENT NORM: 3.041616E-02

ITERATION 9 OF INCREMENT 14

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
4.19107E-12	-9.27003E-12	-9.83834E-12	-4.95635E+03	-1.31052E-02	-3.40341E+00

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
1.42263E-02	2.52058E-05	-2.80144E-03

Maximum residual force norm 1.100E+02 at Node 2346.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: ( 7.552E-09, -1.315E-09, 1.973E-10)  
Maximum rotation increment at Node 847: ( 1.494E-08, 2.771E-12, -1.487E-08)

DISPLACEMENT NORM: 3.306746E-10 FORCE/MOMENT NORM: 2.278137E-02

ITERATION 10 OF INCREMENT 14

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.02500E+04	0.00000E+00	-2.35000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.41499E-11	5.93331E-12	5.11970E-11	-1.69539E+03	-1.12851E-03	-5.02597E+00

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
2.31420E-02	-1.29641E-06	1.07247E-03

Maximum residual force norm 5.533E+01 at Node 880.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

DISPLACEMENT NORM: 0.000000E+00 FORCE/MOMENT NORM: 1.068192E-02

END OF INCREMENT 14: Converged at Iteration 10

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES

DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
3.02892E+01	3.10561E-02	2.11367E+00	1.17182E-02	1.37420E-02	2.43013E-03

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 14

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1.02500E+04	-3.46955E-12	2.35000E+03	7.20617E+00	2.31725E-03	-4.16359E+00

Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 15: "GSN"

Current Load Factors:

1.50000E+00	1.35000E+00	0.00000E+00
-------------	-------------	-------------

Load Factor Changes from Last Increment:

2.50000E-01	1.75000E-01	0.00000E+00
-------------	-------------	-------------

ITERATION 1 OF INCREMENT 15

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.23000E+04	0.00000E+00	-2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.23000E+04	0.00000E+00	-2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.05000E+03	6.18382E-12	-3.50000E+02	-7.20398E+00	-3.51267E-03	4.16360E+00

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-2.80009E+04	-2.64059E+06	1.64005E+05

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-5.977E+00, 1.163E-03, -2.854E-01)

Maximum rotation increment at Node 2412: (-4.732E-14, -2.720E-03, 2.558E-13)

DISPLACEMENT NORM: 1.643510E-01 FORCE/MOMENT NORM: 1.641461E-01

ITERATION 2 OF INCREMENT 15

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-1.23000E+04 0.00000E+00 -2.70000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-1.23000E+04 0.00000E+00 -2.70000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-3.22447E-07 5.33132E-10 -1.90898E-06 -2.40819E+04 -1.09632E+03 2.82326E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
1.53207E-01 1.00369E+03 1.79734E-03

Maximum residual force norm 2.097E+03 at Node 2358.  
Residual force norm has increased by 1.84 times from 1.60779E+03.

Maximum and minimum pivots: 1.9181E+11(Node 2411\_RY), 2.8716E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 1.643E-03, 8.218E-05, -9.593E-03)  
Maximum rotation increment at Node 2984: ( 8.823E-07, 1.959E-07, 1.137E-05)

DISPLACEMENT NORM: 2.122898E-04 FORCE/MOMENT NORM: 4.661260E-01

ITERATION 3 OF INCREMENT 15

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-1.23000E+04 0.00000E+00 -2.70000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-1.23000E+04 0.00000E+00 -2.70000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
2.04868E-11 1.44420E-11 -4.91174E-09 1.42546E+04 4.03220E+01 -8.87271E+02

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
-4.57890E-02 -6.13454E-01 -2.64972E-02

Maximum residual force norm 2.213E+02 at Node 2367.

Maximum and minimum pivots: 1.9181E+11(Node 2411\_RY), 2.8662E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: ( 9.011E-06, 7.736E-07, 1.898E-06)  
Maximum rotation increment at Node 2541: (-1.486E-08, 5.667E-10, -2.110E-08)

DISPLACEMENT NORM: 2.222979E-07 FORCE/MOMENT NORM: 5.932021E-02

ITERATION 4 OF INCREMENT 15

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-1.23000E+04 0.00000E+00 -2.70000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
-1.23000E+04 0.00000E+00 -2.70000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
2.95461E-11 4.45377E-12 9.67759E-11 -1.15866E+04 -2.95704E+04 1.26784E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo MYo MZo  
1.32090E-02 -4.20380E+00 -2.43556E-02

Maximum residual force norm 3.215E+03 at Node 1988.  
Residual force norm has increased by 12.67 times from 5.81035E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9181E+11(Node 2411\_RY), 2.8662E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-1.638E-01, -1.613E-05, 1.183E-03)  
Maximum rotation increment at Node 1995: (-2.186E-06, -9.149E-04, -6.292E-06)

DISPLACEMENT NORM: 6.977847E-03 FORCE/MOMENT NORM: 8.108929E-01

ITERATION 5 OF INCREMENT 15

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.23000E+04	0.00000E+00	-2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

\*WARNING[ 1]:Upper bound has been exceeded in table "S235".  
Largest plate rotation: 0.15 deg. at Plate 1924

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.23000E+04	0.00000E+00	-2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.04508E-08	4.39847E-10	-4.60345E-08	1.44678E+03	-1.79088E+03	3.63078E+02

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
6.24646E-02	3.07492E+01	-4.44000E-01

Maximum residual force norm 1.820E+02 at Node 1982.

Maximum and minimum pivots: 1.9181E+11(Node 2411\_RY), 2.8662E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-1.254E-02, 8.755E-05, 2.344E-05)  
Maximum rotation increment at Node 1989: ( 6.146E-05, -1.334E-04, 2.040E-05)

DISPLACEMENT NORM: 4.662767E-04 FORCE/MOMENT NORM: 5.480899E-02

ITERATION 6 OF INCREMENT 15

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.23000E+04	0.00000E+00	-2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.23000E+04	0.00000E+00	-2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
6.89042E-10	1.25960E-11	-4.02736E-09	-1.57090E+04	1.40480E+01	3.31098E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.58223E-01	1.05251E+00	5.37048E-01

Maximum residual force norm 1.301E+02 at Node 2337.

Maximum and minimum pivots: 1.9181E+11(Node 2411\_RY), 2.8662E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-1.637E-04, 1.484E-05, 1.545E-06)  
Maximum rotation increment at Node 1990: (-1.072E-06, -6.845E-06, 7.807E-07)

DISPLACEMENT NORM: 7.586362E-06 FORCE/MOMENT NORM: 4.149517E-02

ITERATION 7 OF INCREMENT 15

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
----	----	----	----	----	----

-1.23000E+04 0.00000E+00 -2.70000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.23000E+04	0.00000E+00	-2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-2.66224E-11	1.01172E-11	-4.34612E-11	-2.22261E+04	-8.00249E+00	4.79036E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
4.91052E-02	4.09301E-02	8.54971E-03

Maximum residual force norm 2.129E+02 at Node 2337.

Residual force norm has increased by 22.80 % from 4.06441E+02.

Maximum and minimum pivots: 1.9181E+11(Node 2411\_RY), 2.8662E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (-8.679E-06, 4.297E-07, 6.012E-08)

Maximum rotation increment at Node 1989: (1.922E-07, -1.532E-06, 6.233E-08)

DISPLACEMENT NORM: 3.595981E-07 FORCE/MOMENT NORM: 5.095606E-02

ITERATION 8 OF INCREMENT 15

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.23000E+04	0.00000E+00	-2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.23000E+04	0.00000E+00	-2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
9.20038E-12	1.60064E-12	1.67684E-11	-6.39521E+03	9.57179E-01	3.91382E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-2.95575E-02	5.46592E-03	3.35997E-02

Maximum residual force norm 1.368E+02 at Node 2371.

Maximum and minimum pivots: 1.9181E+11(Node 2411\_RY), 2.8662E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: (1.268E-06, 2.199E-07, -5.754E-09)

Maximum rotation increment at Node 1989: (-2.594E-08, 8.066E-08, -8.016E-10)

DISPLACEMENT NORM: 4.197601E-08 FORCE/MOMENT NORM: 3.339222E-02

ITERATION 9 OF INCREMENT 15

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.23000E+04	0.00000E+00	-2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.23000E+04	0.00000E+00	-2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
2.85582E-11	3.24106E-12	-3.87974E-11	7.21898E+03	-9.77739E-02	2.10802E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
9.20833E-03	-2.40124E-04	-4.31629E-02

Maximum residual force norm 1.107E+02 at Node 2370.

Maximum and minimum pivots: 1.9181E+11(Node 2411\_RY), 2.8662E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-1.120E-07, 4.928E-07, -3.154E-09)

Maximum rotation increment at Node 1989: ( 1.821E-09, -4.937E-08, 9.574E-10)

DISPLACEMENT NORM: 1.095153E-08 FORCE/MOMENT NORM: 2.323492E-02

ITERATION 10 OF INCREMENT 15

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.23000E+04	0.00000E+00	-2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.23000E+04	0.00000E+00	-2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-3.47544E-11	-9.20514E-12	4.64424E-11	-1.13218E+03	3.79355E-02	1.03473E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
1.39692E-02	3.20967E-04	-4.07505E-03

Maximum residual force norm 1.100E+02 at Node 2340.

Maximum and minimum pivots: 1.9181E+11(Node 2411\_RY), 2.8662E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 4.664E-08, 5.691E-09, -2.703E-10)

Maximum rotation increment at Node 2529: ( 1.487E-08, 8.346E-13, 1.493E-08)

DISPLACEMENT NORM: 1.590006E-09 FORCE/MOMENT NORM: 2.313953E-02

ITERATION 11 OF INCREMENT 15

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.23000E+04	0.00000E+00	-2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.23000E+04	0.00000E+00	-2.70000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.17395E-11	8.16321E-12	1.35775E-10	-3.57094E+03	-1.51578E-02	-7.85713E+00

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
2.43537E-02	-1.88874E-05	-7.63004E-03

Maximum residual force norm 1.107E+02 at Node 2370.

Maximum and minimum pivots: 1.9181E+11(Node 2411\_RY), 2.8662E+02(Node 2412\_DY).

DISPLACEMENT NORM: 0.000000E+00 FORCE/MOMENT NORM: 1.699037E-02

END OF INCREMENT 15: Converged at Iteration 11

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES

DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
3.64444E+01	3.75923E-02	2.54744E+00	1.41155E-02	1.65224E-02	2.93507E-03

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 15

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1.23000E+04	-5.96441E-12	2.70000E+03	3.36666E+03	1.21403E-02	1.66125E+01

Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 16: "GSU vjetar"

Current Load Factors:

1.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00  
Load Factor Changes from Last Increment:  
-5.00000E-01 -1.35000E+00 0.00000E+00

ITERATION 1 OF INCREMENT 16

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
4.10000E+03	1.64431E-12	2.70000E+03	-3.36664E+03	-1.32612E-02	-1.66128E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
2.16010E+05	5.88638E+06	-3.28016E+05

Maximum and minimum pivots: 1.9181E+11(Node 2411\_RY), 2.8662E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: ( 1.286E+01, -3.189E-03, 6.289E-01)

Maximum rotation increment at Node 2412: (-5.677E-13, 5.756E-03, -9.684E-13)

DISPLACEMENT NORM: 3.587974E-01 FORCE/MOMENT NORM: 6.600949E-01

ITERATION 2 OF INCREMENT 16

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-3.08895E-07	1.04251E-08	-4.41701E-06	-4.99341E+04	-9.76157E+04	2.16370E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
1.03368E-01	-1.65861E+02	-6.60146E-03

Maximum residual force norm 1.083E+04 at Node 2415.

Residual force norm has increased by 3.84 times from 4.14338E+03.

Maximum and minimum pivots: 1.9182E+11(Node 2411\_RY), 2.8790E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 4.497E-03, 7.187E-04, -2.318E-02)

Maximum rotation increment at Node 2984: ( 1.210E-07, -2.258E-06, -2.481E-05)

DISPLACEMENT NORM: 7.801683E-04 FORCE/MOMENT NORM: 3.196028E+00

ITERATION 3 OF INCREMENT 16

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]



FX FY FZ MX MY MZ  
3.22105E-11 3.58129E-10 7.12169E-09 1.76454E+04 -1.34676E+02 -1.81650E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo MYo MZo  
2.49027E-03 2.98331E+01 1.83952E-03

Maximum residual force norm 1.740E+02 at Node 2337.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: ( 8.164E-05, 4.838E-07, 1.736E-05)  
Maximum rotation increment at Node 2413: (-1.495E-08, 2.012E-07, -1.497E-08)

DISPLACEMENT NORM: 2.076963E-06 FORCE/MOMENT NORM: 9.087257E-02

ITERATION 4 OF INCREMENT 16

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX FY FZ MX MY MZ  
-8.20000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX FY FZ MX MY MZ  
-8.20000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX FY FZ MX MY MZ  
-8.76400E-12 -3.12601E-12 -2.46181E-11 -2.98918E+04 5.88392E-01 1.39102E+03

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo MYo MZo  
1.69515E-04 -4.79329E-03 1.27697E-03

Maximum residual force norm 1.668E+02 at Node 2313.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: (-1.245E-09, -3.342E-07, 3.718E-08)  
Maximum rotation increment at Node 807: ( 1.493E-08, 5.814E-12, -1.489E-08)

DISPLACEMENT NORM: 6.721821E-09 FORCE/MOMENT NORM: 8.289161E-02

ITERATION 5 OF INCREMENT 16

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX FY FZ MX MY MZ  
-8.20000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX FY FZ MX MY MZ  
-8.20000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX FY FZ MX MY MZ  
-4.37925E-12 -2.54838E-12 -2.30803E-11 -8.05983E+03 4.15892E-02 -4.31066E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo MYo MZo  
-1.85485E-03 1.15344E-06 -3.23165E-03

Maximum residual force norm 1.106E+02 at Node 2373.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: ( 3.429E-12, 1.720E-07, 3.726E-13)  
Maximum rotation increment at Node 863: (-1.487E-08, -3.788E-14, -1.494E-08)

DISPLACEMENT NORM: 3.419155E-09 FORCE/MOMENT NORM: 3.867265E-02

ITERATION 6 OF INCREMENT 16

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX FY FZ MX MY MZ

-8.20000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-8.20000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1.83229E-11	-6.49709E-12	2.61388E-11	-7.96645E+03	-7.01260E-03	1.02532E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
1.26707E-02	-2.58184E-07	-2.09206E-03

Maximum residual force norm 1.101E+02 at Node 2350.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

DISPLACEMENT NORM: 0.000000E+00 FORCE/MOMENT NORM: 3.837624E-02

END OF INCREMENT 16: Converged at Iteration 6

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES

DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
2.35747E+01	2.25639E-02	1.57293E+00	8.94512E-03	1.07635E-02	2.01856E-03

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 16

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
8.20000E+03	-2.51735E-12	-1.12063E-10	7.99492E+03	7.59773E-03	3.15196E+01

Saving Restart/Auto Stepping File...

START OF INCREMENT 17: "GSU stalno"

Current Load Factors:

0.00000E+00 1.00000E+00 0.00000E+00

Load Factor Changes from Last Increment:

-1.00000E+00 1.00000E+00 0.00000E+00

ITERATION 1 OF INCREMENT 17

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
0.00000E+00	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
0.00000E+00	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
8.20000E+03	7.69010E-12	-2.00000E+03	-7.99492E+03	-7.59773E-03	-3.15196E+01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
-1.60003E+05	9.53847E+06	-6.56012E+05

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8661E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: ( 2.238E+01, -3.083E-03, 1.038E+00)

Maximum rotation increment at Node 2412: ( 2.901E-15, 1.035E-02, 1.174E-14)

DISPLACEMENT NORM: 9.330118E-01 FORCE/MOMENT NORM: 1.000000E+00

ITERATION 2 OF INCREMENT 17

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
0.00000E+00	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
0.00000E+00 0.00000E+00 -2.00000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
2.61468E-07 4.21597E-08 -1.78065E-06 1.50243E+01 -4.79263E+05 1.63890E-01

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
-3.93153E-04 1.40210E+04 -1.75039E-04

Maximum residual force norm 2.200E+04 at Node 2415.  
Residual force norm has increased by 5.71 times from 6.59227E+03.

Maximum and minimum pivots: 1.9184E+11(Node 2411\_RY), 2.9134E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 2.632E-02, 1.677E-03, -8.425E-02)  
Maximum rotation increment at Node 2413: (-2.637E-13, 8.358E-05, -2.455E-14)

DISPLACEMENT NORM: 3.701589E-03 FORCE/MOMENT NORM: 6.706088E+00

ITERATION 3 OF INCREMENT 17

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
0.00000E+00 0.00000E+00 -2.00000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
0.00000E+00 0.00000E+00 -2.00000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
1.39299E-09 1.39311E-09 -1.32248E-07 -3.85322E-04 -3.06807E+02 3.06157E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
-2.19237E-05 4.65538E+02 -3.60385E-07

Maximum residual force norm 7.379E-01 at Node 2413.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2413: ( 1.345E-03, 7.145E-08, 1.903E-04)  
Maximum rotation increment at Node 2413: (-3.841E-14, 2.653E-06, 1.230E-16)

DISPLACEMENT NORM: 5.330530E-05 FORCE/MOMENT NORM: 2.357326E-04

ITERATION 4 OF INCREMENT 17

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]  
FX FY FZ MX MY MZ  
0.00000E+00 0.00000E+00 -2.00000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]  
No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]  
FX FY FZ MX MY MZ  
0.00000E+00 0.00000E+00 -2.00000E+03 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]  
FX FY FZ MX MY MZ  
3.87092E-11 5.69578E-13 -2.06857E-10 7.87623E-04 -7.46299E+02 -3.65545E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]  
MXo MYo MZo  
-1.19407E-07 4.50748E-01 -1.08521E-08

Maximum residual force norm 7.708E+01 at Node 1988.  
Residual force norm has increased by 65.99 times from 1.55401E+00.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 5.297E-04, 7.232E-08, -1.102E-05)  
Maximum rotation increment at Node 1988: (-3.120E-14, -2.671E-05, -4.507E-14)

DISPLACEMENT NORM: 4.429367E-05 FORCE/MOMENT NORM: 1.579228E-02

ITERATION 5 OF INCREMENT 17

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
0.00000E+00	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
0.00000E+00	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1.47840E-11	2.84036E-13	4.42064E-10	-1.09549E-02	-3.42885E+02	-1.76767E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
4.57876E-08	-8.76354E-02	-2.46301E-08

Maximum residual force norm 1.042E+01 at Node 1988.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 5.104E-05, 3.386E-09, -9.977E-07)

Maximum rotation increment at Node 1988: ( 2.157E-15, -1.366E-06, -1.120E-15)

DISPLACEMENT NORM: 3.328263E-06 FORCE/MOMENT NORM: 2.003023E-03

ITERATION 6 OF INCREMENT 17

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Nodes]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
0.00000E+00	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Beams]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Plates]

No load applied

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Total]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
0.00000E+00	0.00000E+00	-2.00000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

SUMMATION OF APPLIED LOADS [Load Vector]

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
4.29132E-12	-2.20379E-13	2.11997E-12	4.61927E-03	-3.23044E+02	-2.52862E-05

SUMMATION OF MOMENTS OF APPLIED LOADS ABOUT THE ORIGIN [Load Vector]

MXo	MYo	MZo
4.52253E-09	-2.05008E-03	-1.35035E-09

Maximum residual force norm 5.633E-01 at Node 1988.

Maximum and minimum pivots: 1.9180E+11(Node 2411\_RY), 2.8660E+02(Node 2412\_DY).

Maximum translation increment at Node 2412: ( 2.882E-06, 1.805E-10, -5.484E-08)

Maximum rotation increment at Node 1988: (-4.465E-16, -1.910E-07, -1.187E-15)

DISPLACEMENT NORM: 2.641107E-07 FORCE/MOMENT NORM: 1.835342E-04

END OF INCREMENT 17: Converged at Iteration 6

MAXIMUM DISPLACEMENT MAGNITUDES

DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
1.16148E+00	4.09723E-03	1.78477E-01	6.68551E-04	1.79122E-03	6.22958E-04

DIRECT SUMMATION OF REACTION FORCES: Increment No. 17

FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
-1.10998E-13	-1.25091E-13	2.00000E+03	-1.13498E-02	1.94552E-01	-2.63050E-05

Saving Restart/Auto Stepping File...

Total CPU time: 150.719 Seconds ( 0:02:31 )

Solution completed on 23/08/2023 at 22:23:18

Solution time: 4 Minutes, 17 Seconds

SUMMARY OF WARNING AND ERROR MESSAGES

Number of Warnings: 2  
Number of Errors : 0