

Dinamična nelinearna analiza konstrukcija SISTEMA DC90 u realnom vremenu.

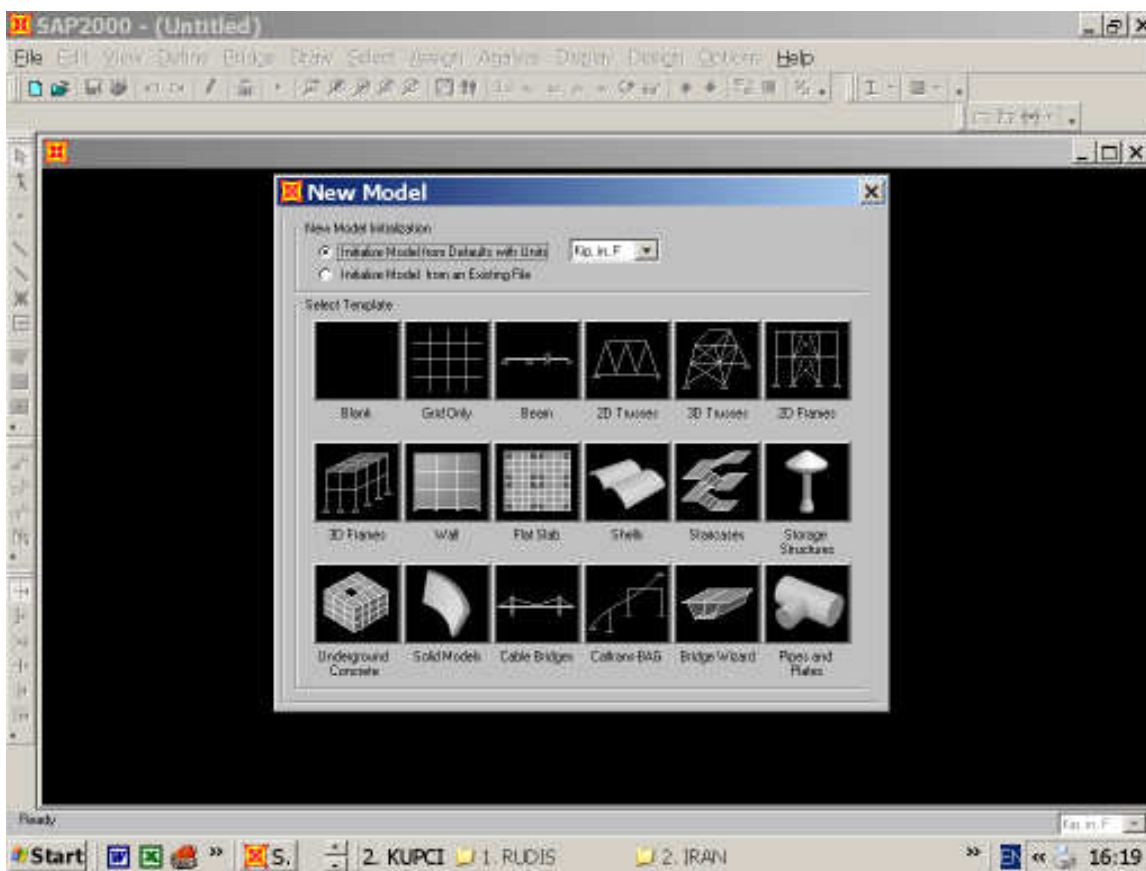
1) Opšte

U savremenom građevinarstvu pojavom računara i raznih gotovih softverskih paketa za analizu konstrukcija otvorilo se mnogo mogućnosti koje nisu bile moguće ranije. Pre svega analiza statičkih uticaja i dinamička analiza konstrukcija, koje su se vršile i ranije, ali su bile dosta ograničene zbog nemogućnosti rešavanja komplikovanih sistema jednačina i složenog problema analize konstrukcija. U konkretnom slučaju, otvorila se mogućnost ispitivanja konstrukcija i analiza pri dinamičkom opterećenju u nelinearnoj oblasti što je čest slučaj sa materijalima koji se koriste u građevinarstvu. Ovde će biti izloženo upustvo za dinamičnu nelinearnu analizu konstrukcija u realnom vremenu *Sistema DC90* pri seizmičkom opterećenju korišćenjem programskog softvera **SAP 2000**. Biće izložen, korak po korak, način na koji možemo jednu ramovsku konstrukciju analizirati u nelinearnoj oblasti ponašanja materijala pri delovanju seizmičkog opterećenja. Korak po korak, preko definisanja geometrije, materijala, poprečnih preseka konstrukcije do analize, proračuna i prikaza rezultata proračuna.

2) Definisane geometrije modela

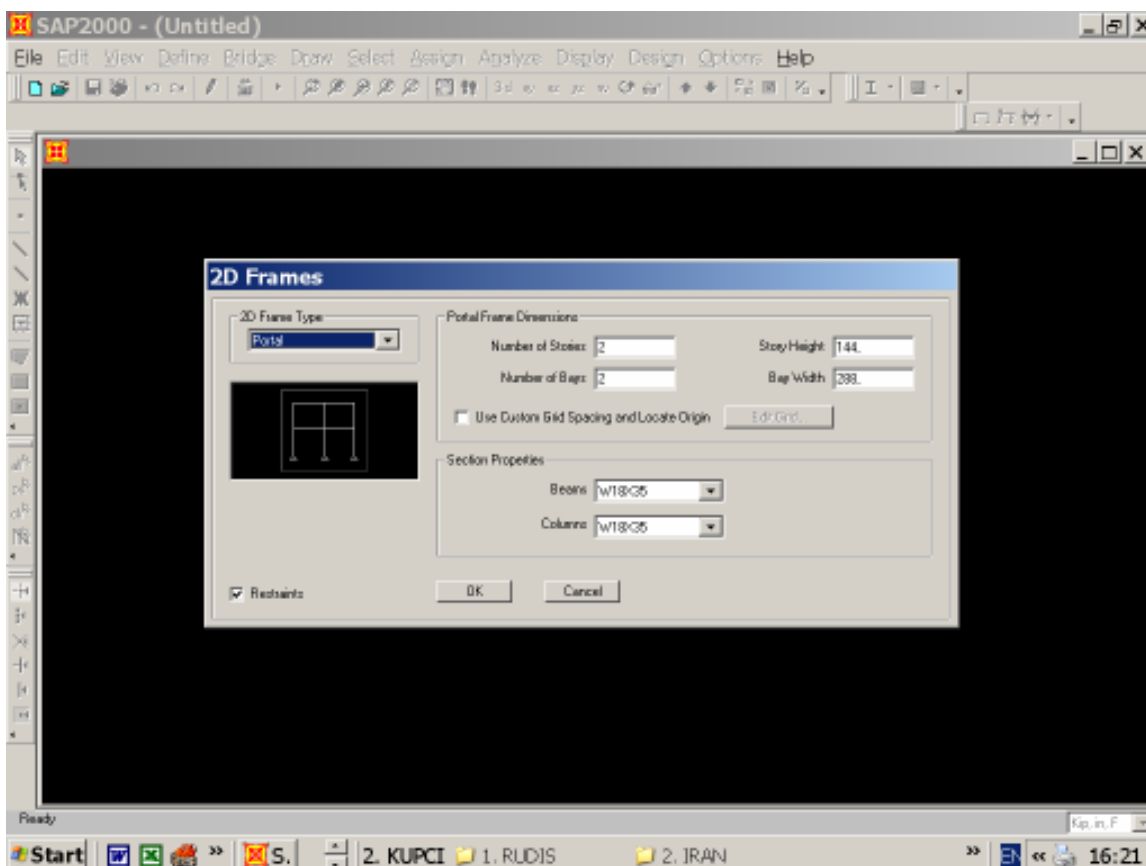
Model se definiše na početku odmah nakon startovanja programa odabirom *File/New model* iz File menija. Odmah nakon toga program nudi više opcija standardnih često

korišćenih modela u građevinarstvu među kojima je i ramovska višespratna konstrukcija. U dijalogu prozoru *New model* (sl 2.1) biramo jedinice u kojima ćemo vršiti proračun i tip konstrukcije koji nam je potreban a među kojima je i ramovski model (*2D Frames*) u svemu prema slici 2.1. Na sl 2.2 prikazane su moguća podešavanja rastera rama kao i njegove spratnosti sa mogućnošću proizvoljnog unosa rastojanja (opcija *Edit grid*).

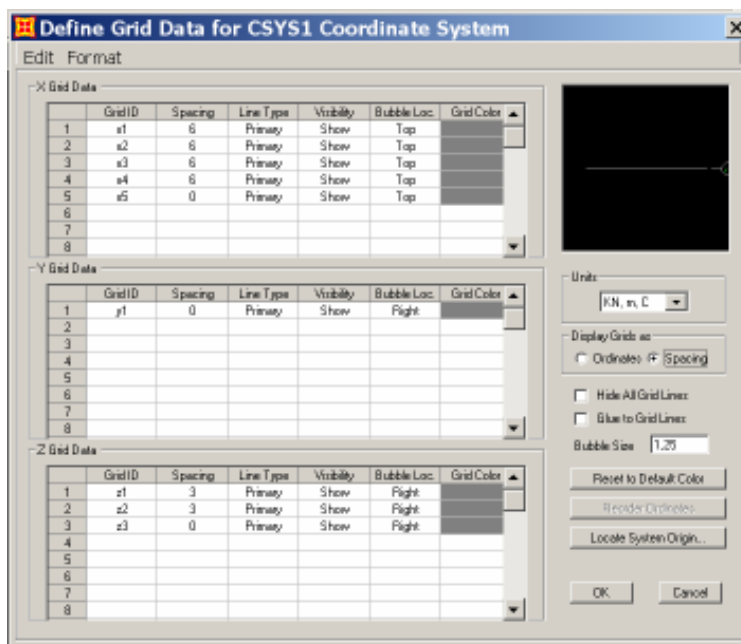


sl 2.1 *New model* dijalog boks za definisanje geometrije modela

Geometrijske karakteristike materijala ponuđene na sl 2.2 mogu se i naknadno definisati o čemu će biti reči u delu 3. Ukoliko je potrebno definisati model sa različitim rastojanjima ili visinama među spratovima, onda se u *Edit Grid* dijalogu može unositi proizvoljan *grid* odnosno raster konstrukcije kao na slici 2.3. Naravno uslovi oslanjanja i ostale osobine konstrukcije ostaju nepromenjene odnosno mogu se naknadno podešavati (uslovi oslanjanja, karakteristike poprečnih preseka...). U poljima *Number of Stories* unosimo broj spratova dok u polju *Number of Bays* unosimo broj polja. Naravno ovaj unos takođe možemo korigovati opcijom *Edit Grid* kada nam se takođe otvara prozor sa slike 2.3. gde je odabrani raster ponuđen kao izmenjivi *Grid* odnosno raster. Na taj način definisana je geometrija modela za proračun sa difolt poprečnim presecima koji su ponuđeni prilikom definisanja geometrije a koji se mogu korigovati dodatno kako je objašnjeno u tački 3.



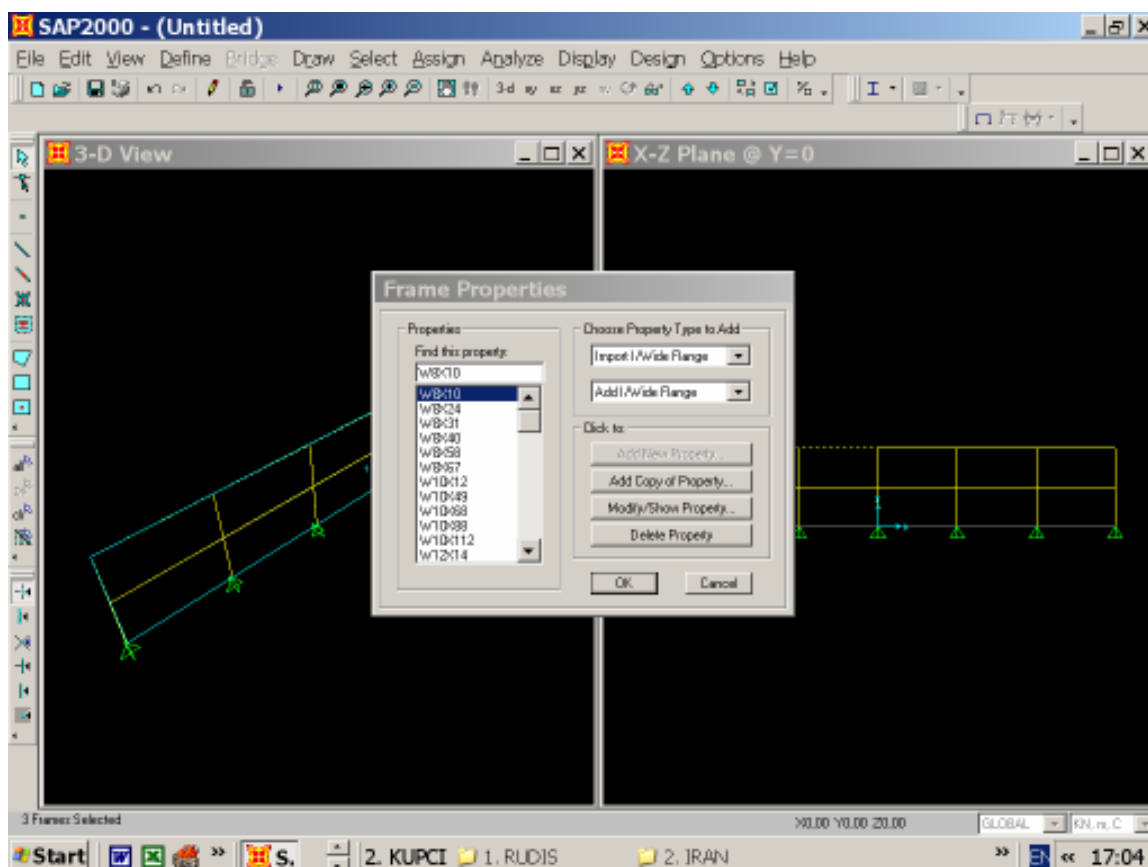
sl 2.2 Definisanje geometrije ramova sa ponuđenim geometrijskim karakteristikama materijala



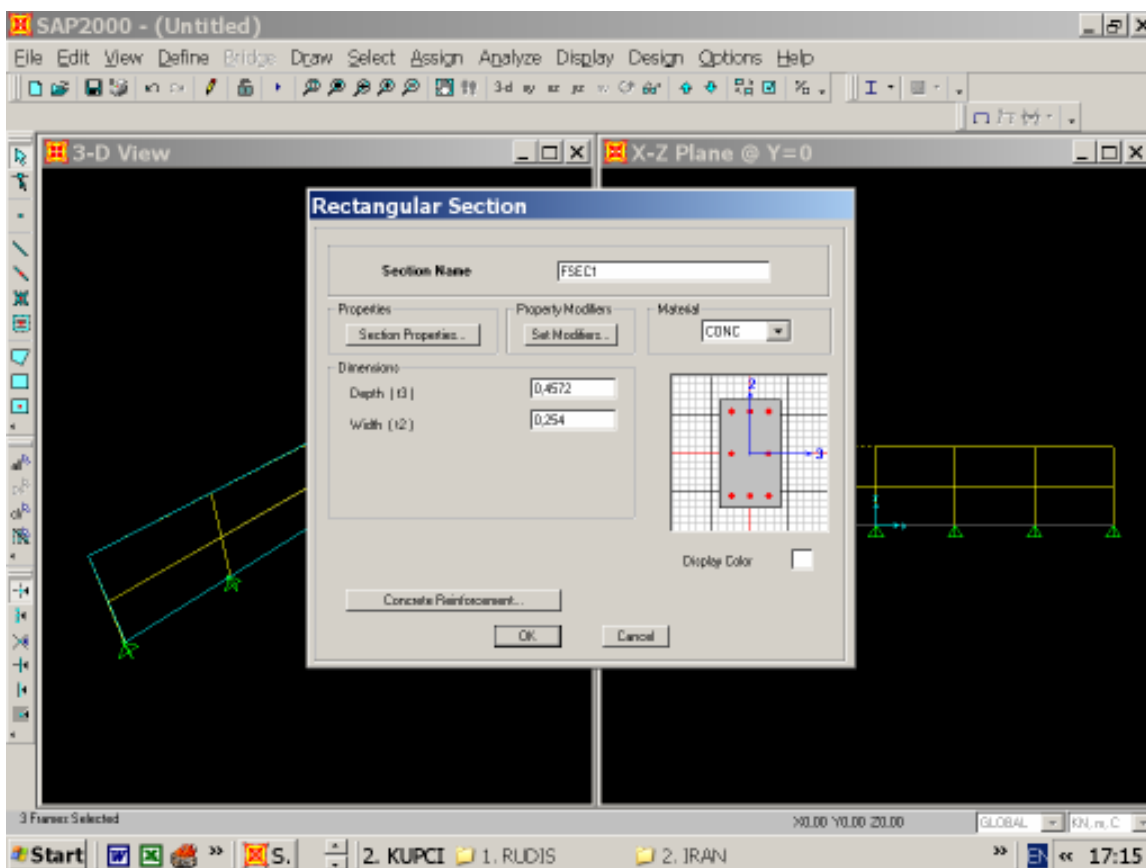
sl 2.3 Define Grid Data prozor za unos proizvoljnog rastera ramova

3) Definisanje poprečnih preseka

Poprečni preseki stubova definisane konstrukcije i greda i njihove karakteristike se definišu dodeljuju u meniju *Assign* kao i ostale karakteristike konstrukcije (uslovi oslanjanja, oslobađanje uticaja....). Pre nego dodelimo karakteristike moramo selektovati zeljeni objekat (greda, oslonac ili neki drugi deo konstrukcije koji zelimo definisati). Konkretno karakteristike poprečnih preseka greda ili stubova (u zavisnosti šta smo selektovali) se definišu u meniju *Assign/Frame/Frame Sections* kad se otvara prozor na slici 2.4. Mogu se definisati proizvoljni poprečni preseki kao i proizvoljni materijali i njihove osobine koje se mogu korigovati u zavisnosti od slučaja (čelični profili, armirano betonski poprečni preseki...). Opcijom *import* se unose već definisani poprečni preseki dok opcijom *add* unosimo proizvoljni preseki. Ukoliko zelimo da definišemo armirano betonski presek određene visine i širine sa rasporedom armature kao i prečnikom koristimo opciju u padajućem meniju *Add Rectangular* i odabirom *Add New Property* kao na sl 2.4 . U sledećem dijalogu boksu koji se pojavljuje na sl 2.5 definišemo dimenzije i armaturu poprečnog preseka



sl 2.4 Definisanje karakteristika poprečnih preseka greda i stubova



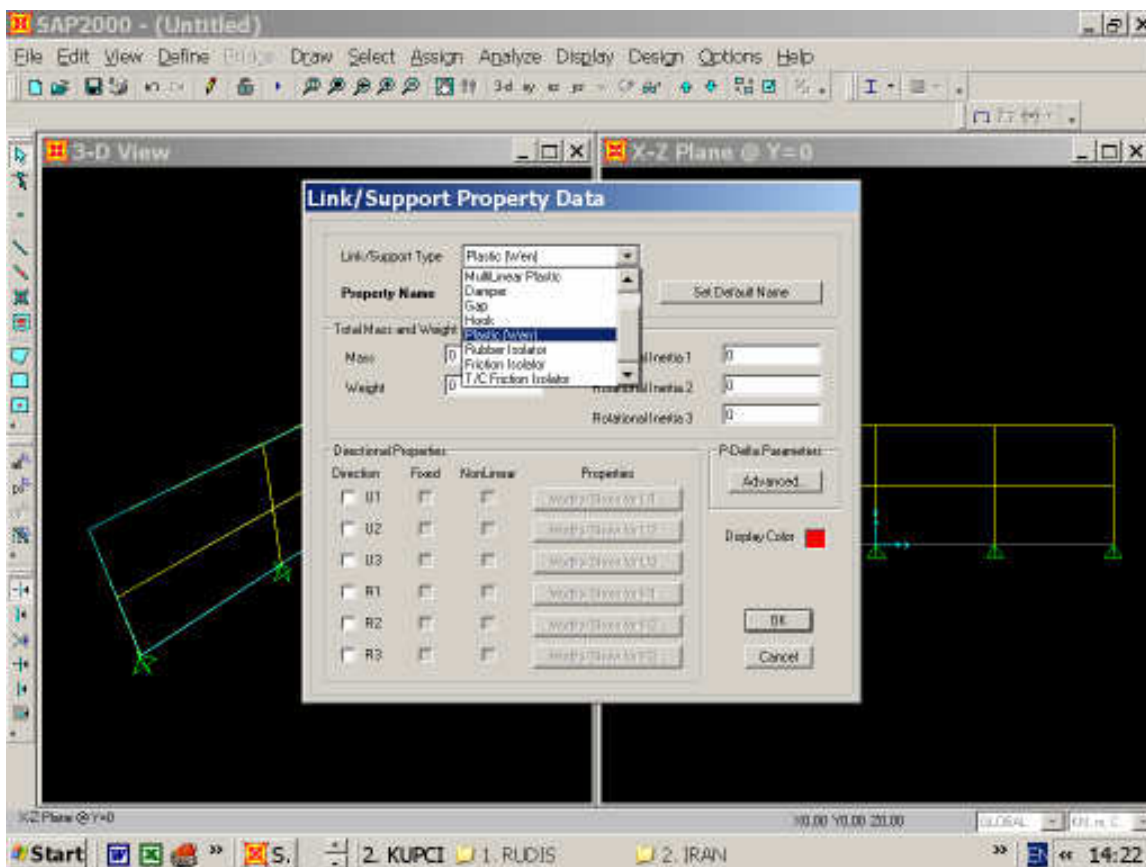
sl 2.5 Definisanje armirano betonskog poprečnog preseka

Ostali standardni čelični profili se takođe unose na opisani način jednostavnim odabirom iz menija *Assign* opciju *Frame Properties* i odabirom željenog čeličnog profila iz ponuđenog asortimana. Naravno postoji mogućnost proizvoljnog odabira čeličnog poprečnog preseka kao na slici 2.4 opcijom *Add Channel* iz padajućeg menija *Add*.

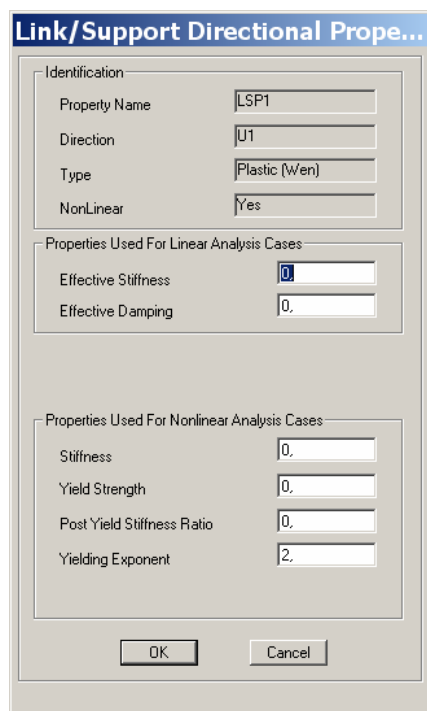
Definisanje linkova

Pri seizmičkom proračunu konstrukcija potrebno je definisati dijagonale koje zamenjuju armirano betonski zid, kosnik sa damperom Sistema DC90 ili neki drugi element konstrukcije koji se nanosi na model. To se vrši primenom **linkova**. Link se definiše izborom opcije *Define/Link* iz menija *Define*. Tom prilikom se otvara dijalog boks u kome definišemo karakteristike linkova koje ćemo kasnije dodati na model. Dalje odaberemo *Add New Property* kada se otvara novi prozor za definisanje karakteristika linkova kao na slici 2.6. Iz padajućeg menija *Link/Support type* biramo *Plastic(Wen)* opciju za materijal, zatim unosimo masu i težinu u poljima *Mass* i *Weight*. Dimenzija *Weight* se najčešće unosi u KN, pa je tada dimenzija *Mass* je 9.81 puta manja od nje. Dalje se u polju *Directional Properties* dodeljuju krutosti i ostale osobine elemenata koje zamenjuju linkovi. Bira se željeni pravac označavanjem U1, U2 ili U3 boksa kao i selektovanje *NonLinear* boksa i ide na dugme *Modify* kao na slici 2.6. Otvara se novi

prozor za unos karakteristika linkova kao na slici 2.7. Dakle na taj način linku (u našem slučaju dijagonali) dodeljuju krutosti u trazičitim pravcima.



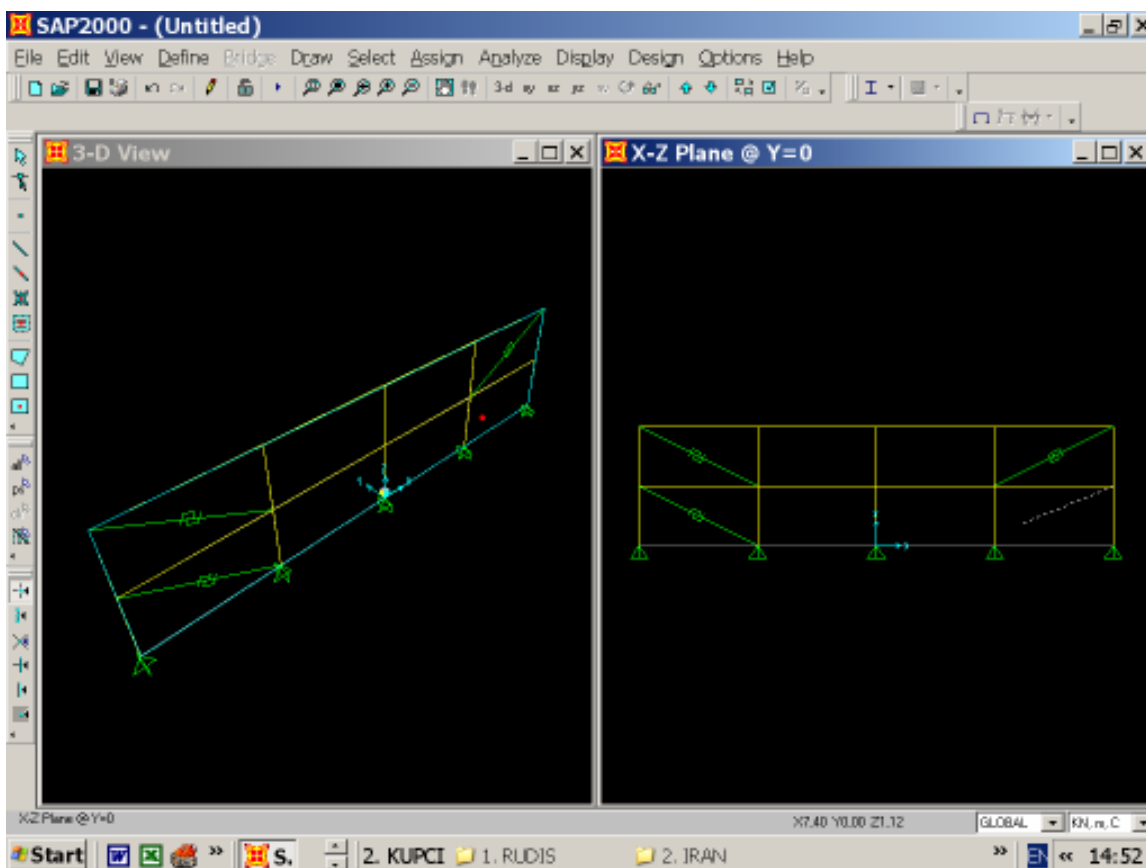
sl 2.6 *Link/Support Property Data* prozor za unos karakteristika linkova



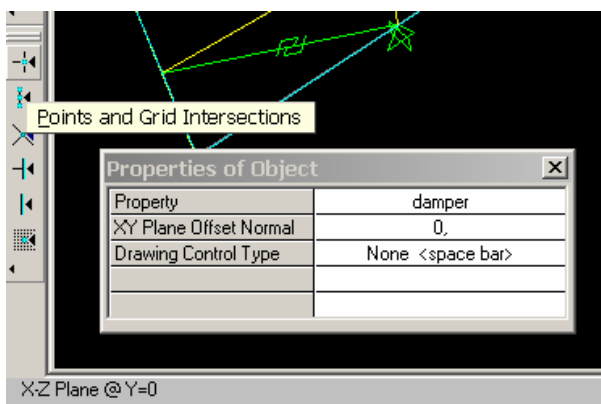
sl 2.7 Dodeljivanje krutosti i drugih osobina linkovima u različitim pravcima

Na taj način se definišu osobine linkova i naknadno postavljaju na model. Na ovaj način možemo definisati više linkova koji će biti prikazani u prozoru kao na slici 2.8.

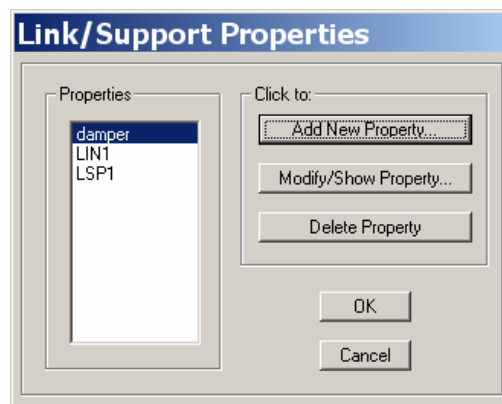
Sada kada imamo definisane linkove oni se jednostavno do crtaju na model koji se nalazi u jednom od dva ponudjena pogleda bilo da je ravanski ili prostorni pogled prikazano na slici 2.9. Do crtavaju se opcijom *Draw 2 Joint Link* iz menija *Draw* i odabirom alatki za selektovanje od čvora do čvora (Points and Grid Intersections)



sl 2.9 Postupak crtanja linkova na definisanom modelu



sl 2.10 Podešavanje alatki za selktovanje pri crtanju linkova

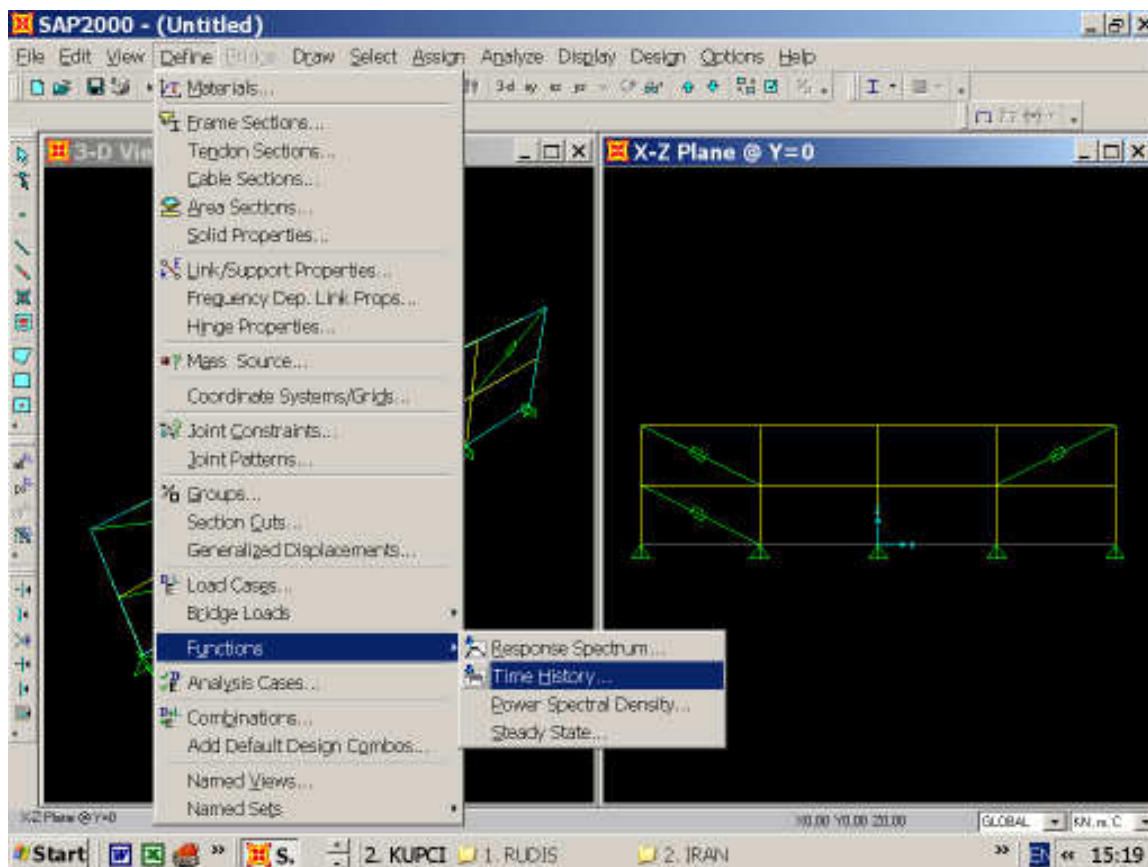


sl 2.8 Prozor sa spiskom definisanih linkova i opcijom *Add New Property* za definisanje novih linkova

4) Definisanje zemljotresnog dejstva

Opterećenje zemljotresom odnosno seizmičko optećenje se definiše u meniju *Define* kao i funkcije opterećenja i ostala podešavanja vezana za seizmiku. Prvo moramo definisati funkciju po komjoj će se menjati opterećenje. U meniju *Define* biramo opciju

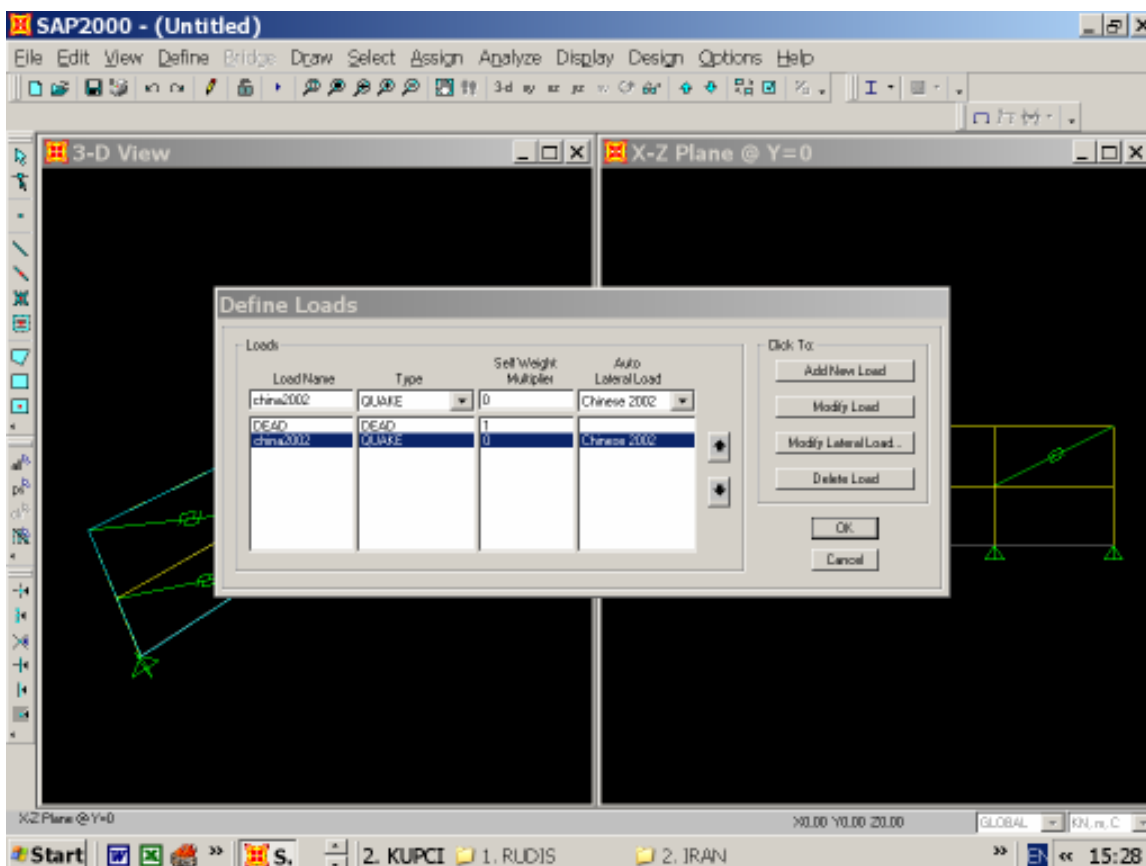
Function (slika 4.1) a zatim *Time History* i naravno *Add New Function* gde definišemo oblik funkcije odnosno njen grafik



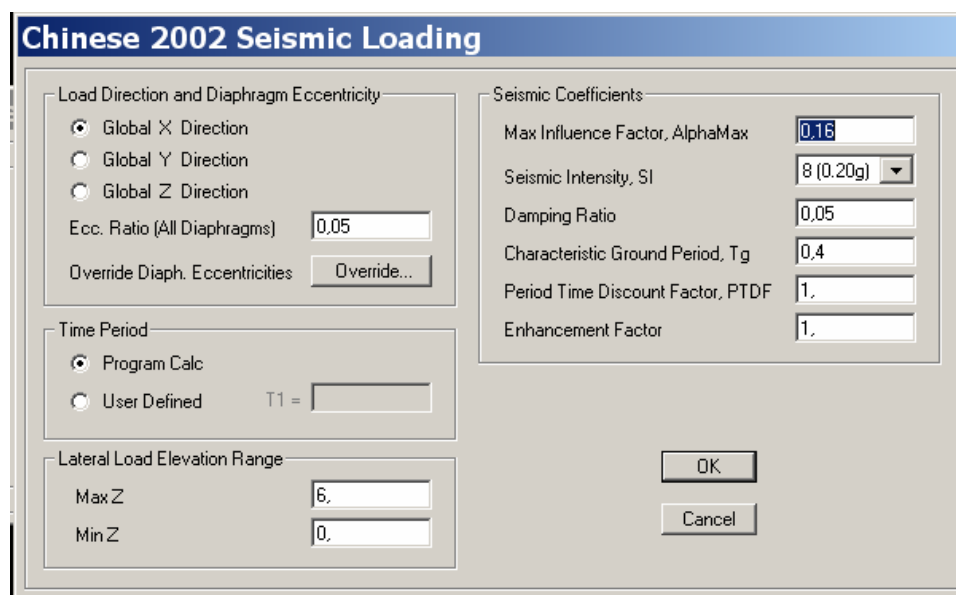
sl 4.1 *Define* meni sa opcijom *Function*

Kada smo definisali funkciju vraćamo se na definisanje slučajeve opterećenja i učitavanje nekog zemljotresnog opterećenja. U meniju *Define* biramo opciju **Load Cases** gde se pojavljuje prozor na slici 4.3. Pored tzv mrtvog opterećenja (*DEAD*) koje je tu prisutno po defaultu mi definišemo neko dodatno horizontalno zemljotresno opterećenje odabirom u opciji *type* opciju *QUAKE* i u opciji *Auto Lateral Load* neki od ponudjenih slučajeva i naravno pritisnuti *Add New Load*. U svakom momentu možemo menjati unete slučajeve opcijom pored *Modify Load*. Opcija *Modify Lateral Load* daje mogućnost izmene i dopune datih slučajeva (sl 4.4) a odnosi se na pravac delovanja, periodu, prigušenje i druge osobine. Bitno je napomenuti da u ovom prozoru takođe postoji opcija *Seismic Intensity* za podešavanje jačine zemljotresa (0.1-0.4g) kao i period oscilovanja u opciji *Ecc.Ratio* (Tip zemljotresa u oblasti $\Delta T=0.05s$).

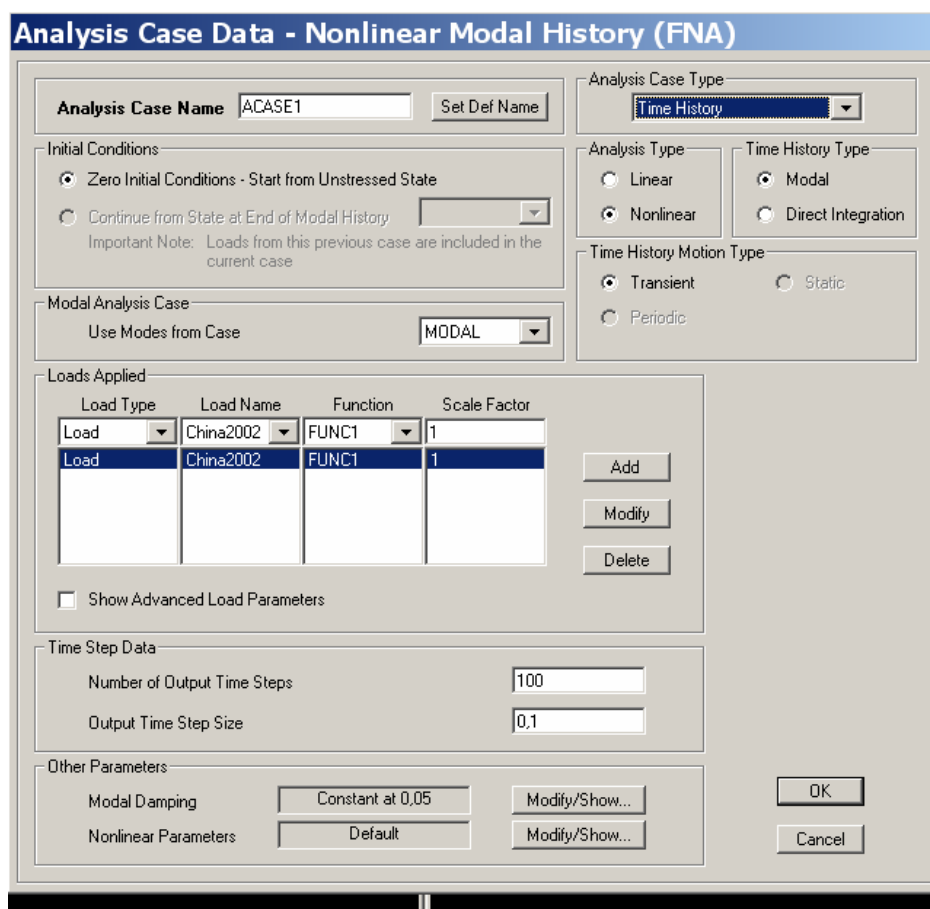
sl 4.2 Time History Function prozor za definisanje proizvodnje funkcije ili neke nove



sl 4.3 Define Loads prozor za unos zemljotresnog opterećenja



sl 4.4 *Modify Lateral Load* prozor za modifikaciju postojećih slučajeva opterećenja



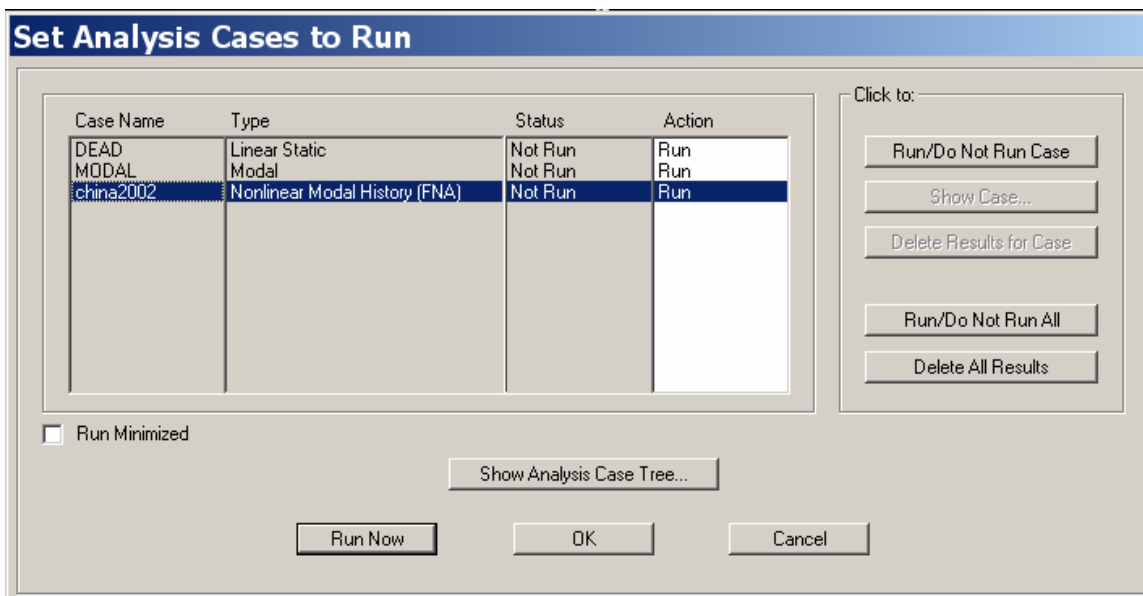
sl 4.5 Analysis Cases Data prozor za unos slučajeva opterećenja

Dalje se u meniju *Define* (sl 4.1) bira opcija *Analysis Cases* gde sada definišemo različite slučajeve opterećenja. U *Analysis Cases Data* prozoru odabirom opcije *Add New Case* otvara se prozor sa slike 4.5. U tom koraku definišemo slučaj opterećenja koji će kasnije biti analiziran na konstrukciji-modelu koji smo uneli. Treba u padajućem meniju *Analysis Case Type* odabrati *Time History*, označiti *Nonlinear* polje u delu *Analysis Type*, kao i u *Load Applied* izabrati *Accel* u slučaju da opterećenje nanosimo u obliku ubrzanja, a sve to u cilju da bismo definisali Nelinearnu analizu konstrukcije usled dejstva zemljotresnog opterećenja proizvoljno zadatog. Takodje možemo kontrolisati unete podatke u polju *Loads Applied* menjati *Scale Factor* kao i funkciju dejstva u polju *Function*. Odabirom *Add* dugmeta editovani slučaj opterećenja potvrdimo i dalje možemo definisati novi slučaj ili editovati već postojeće ili druge slučajeve definisane ručno.

5) Rezultati proračuna

Da bi smo analizirali slučajeve opterećenja i uticaje usled istih prvo moramo izvršiti analizu konstrukcije. To činimo na sledeći način. U meniju *Analyze* biramo opciju *Set Analysis Options* i biramo dozvoljene deformacije (npr. ako je 2D ram, čekiramo U_x , U_z i R_y), a zatim *Set Analysis Cases to Run*. Tada se otvara prozor prikazan na slici 5.1 gde

označimo slučajeve opterećenja koje želimo da nanesimo na model i odabirom opcije *Run Now* pokrećemo analizu koju program startuje i izvrši u posebnom prozoru koji se otvara naknadno. Nakon izvršene analize modela potvrđivanjem urađene analize možemo da koristimo rezultate proračuna.

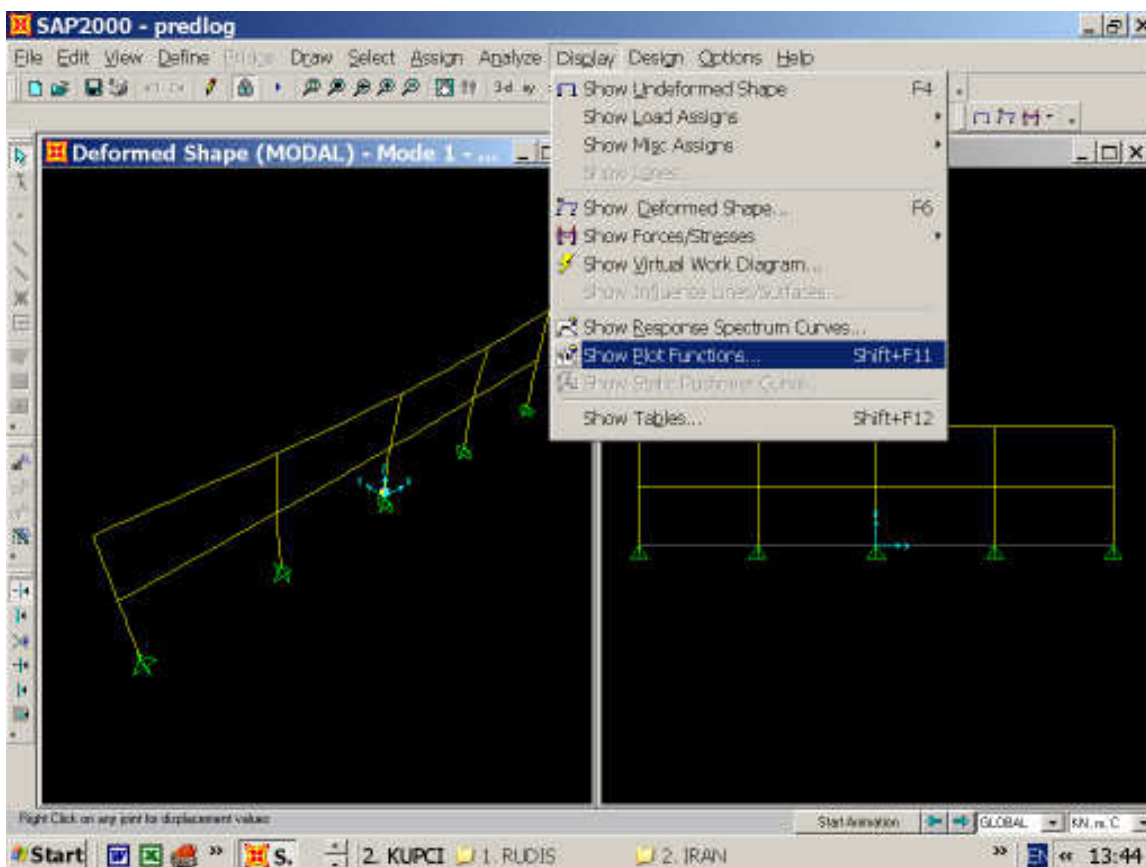


sl 5.1 Set Analysis Cases to Run prozor za pokretanje analize modela

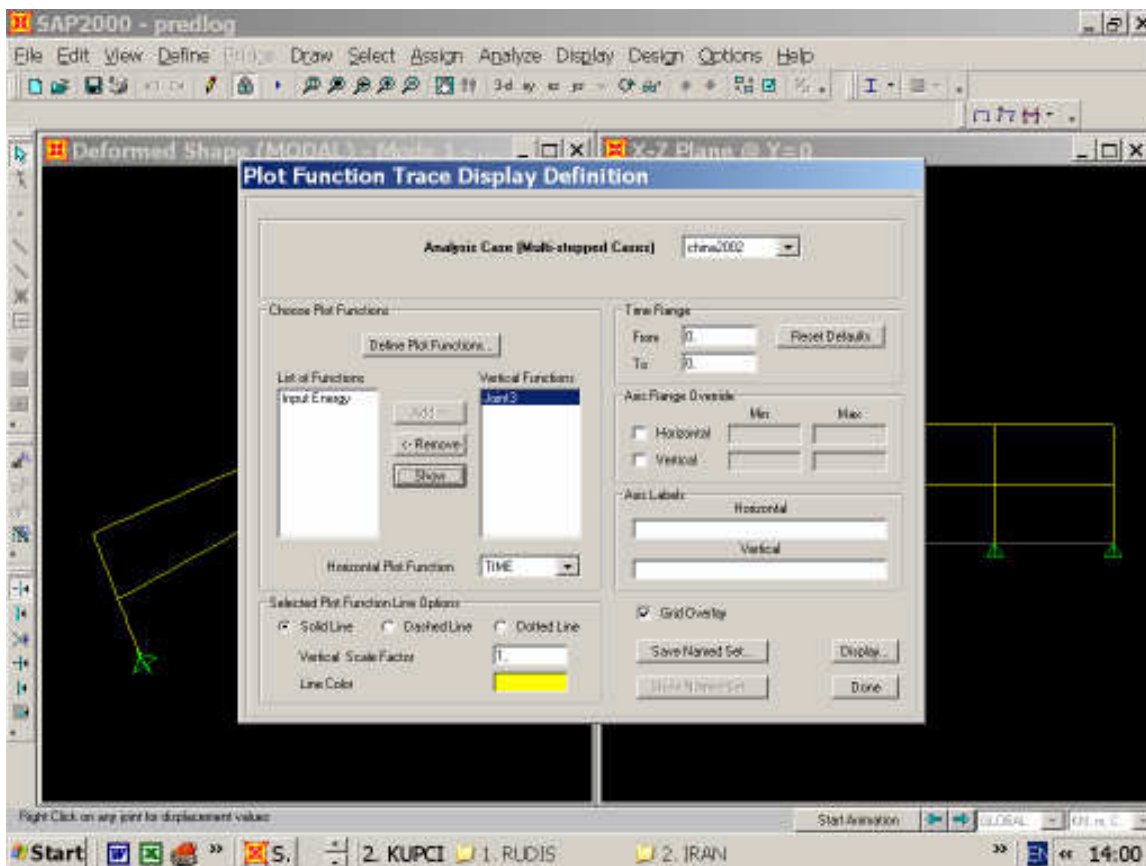
Rezultati proračuna se dobijaju aktiviranjem neke od opcija u meniju *Display* koji je prikazan na slici 5.2. Opcija *Show Deformed Shape* prikazuje deformisanu osu nosača za proizvoljno odabran slučaj opterećenja sa mogućnošću prikaza deformacija u vremenu (opcija *Show Animation* u donjem desnom uglu radne površine prozora). Opcija *Show Forces/Stresses* prikazuje sile u presecima i ostale uticaje u ramovima ili nekim drugim elementima konstrukcije takođe za proizvoljno izabran slučaj opterećenja.

Dijagrami željenih uticaja se dobijaju odabirom opcije *Show Plot Function* gde možemo definisati kakav dijagram nam je potreban (slika 5.3). Tu možemo takođe proizvoljno odrediti ose, horizontalne i vertikalne, i staviti proizvoljnu veličinu. to se postiže u delu *Choose Plot Function*, opcijom *Add* za dodavanje funkcije odnosno *Remove* za uklanjanje funkcije u svemu prema slici 5.3. Takođe postoji i opcija *Define Plot Function* gde u padajućem meniju *Choose Function Type to Add* biramo koju funkciju definišemo i opcijom *Add Plot Function* koje parametre joj dodeljujemo (slika 5.5). Kada smo odabrali željene ose idemo na *Display* dugme i funkcija će biti prikazana (slika 5.4). na toj slici prikazano je horizontalno pomeranje čvora tri u zavisnosti od vremena. Takođe možemo grafički prikazati zavisnost sile u linkovima u vremenu, ili zavisnost horizontalne sile u osnovi takođe u vremenu ili od neke druge veličine-funkcije ili recimo

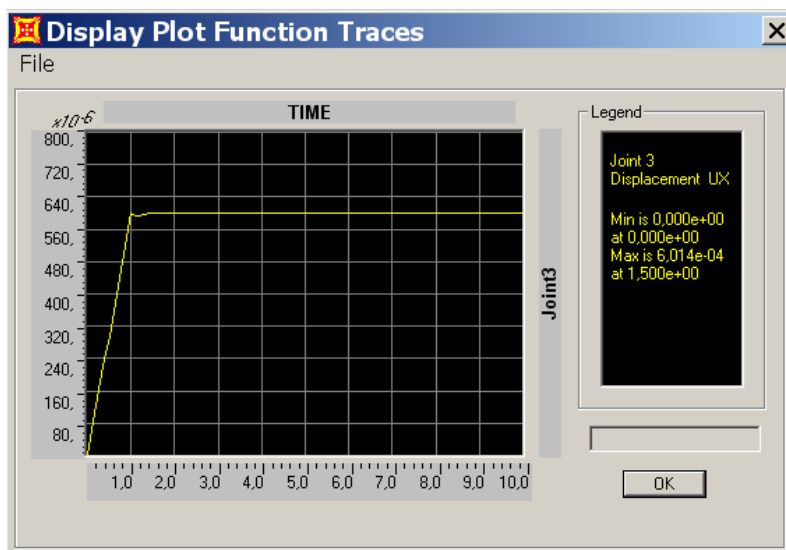
zavisnost ulazne energije od vremena (vreme je najčešće korišćena veličina pa je ona naneta po defaultu na horizontalnu osu i naravno to možemo menjati). Sve to možemo odvojeno definisati i grafički prikazati postupkom sa slike 5.5.



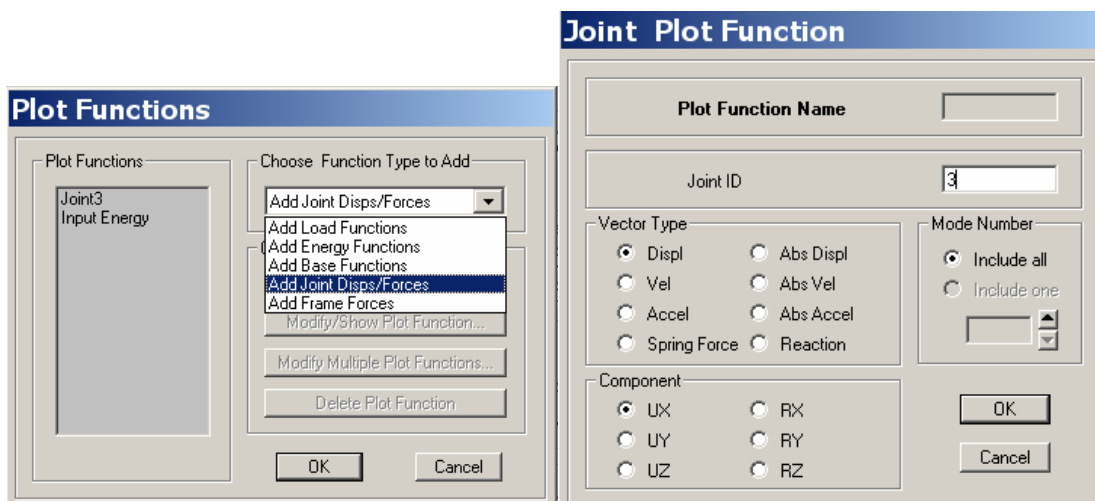
sl 5.2 *Display* meni za prikaz rezultata proračuna



sl 5.3 Prozor za prikaz željenih funkcija i opcije za proizvoljan izbor ordinata

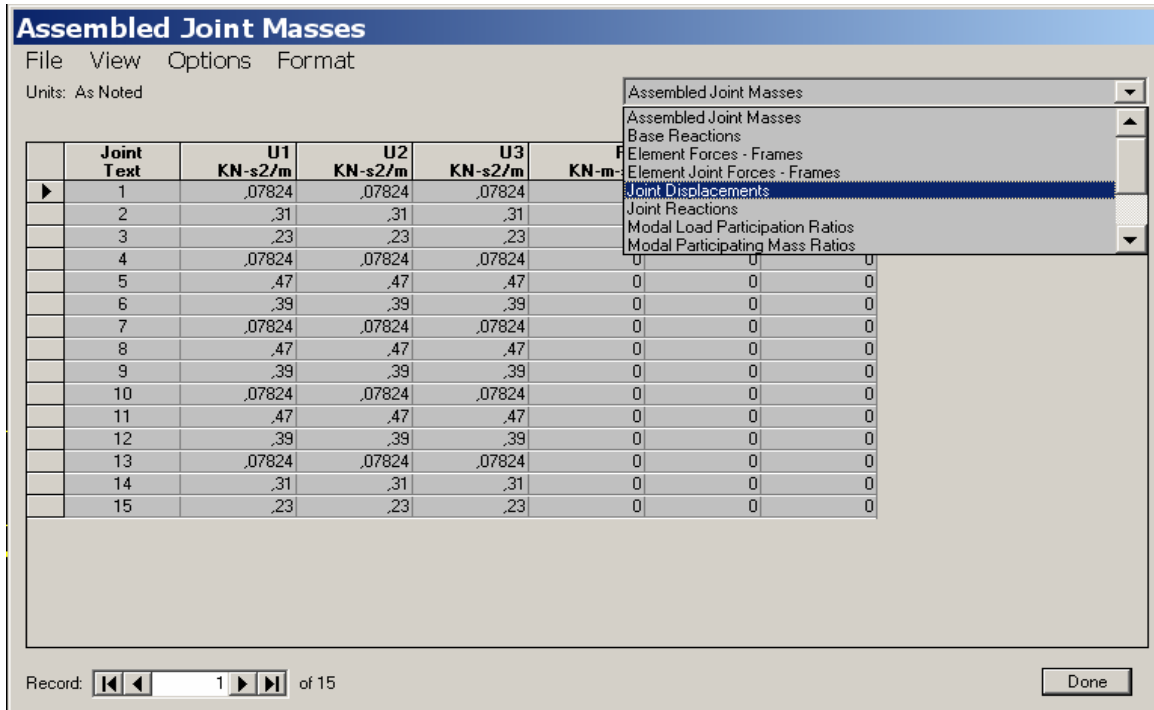


sl 5.4 Grafik funkcije (horizontalno pomeranje čvora 3 u vremenu)



sl 5.5 Define Plot Function prozor sa opcijom Add Plot Function za definisanje novih funkcija koje će biti grafički prikazane

Takođe korisna opcija za prikaz rezultata je i **Show Tables** gde možemo tabelarno dobiti sve željene vrednosti kao recimo tabelarni prikaz pomeranja čvorova konstrukcije. Kada odaberemo ovu opciju pojavice se prozor gde biramo koje konkretno rezultate želimo od ponuđenih i iste i dobijemo kao na slici 5.6 postoji mogućnost eksportovanja i daljeg editovanja ovih tabela u nekom drugom programu recimo *Microsoft Excel*-u. To se postiže odabirom opcije sa slike 5.6 *File/Export Tabela to/Excel*.



sl 5.6 Tabelarni prikaz željenih vrednosti

Dakle najčešćeni grafički prikazi pri nelinearnoj seizmičkoj analizi su:

- Grafički prikaz linkova (F,t)
- Grafički prikaz maksimalne horizontalne sile u osovini (F,t)
- Grafički prikaz pomeranja vrha objekta (v,t)
- Grafički prikaz ulazne energije u konstrukciju (E,t)

Svi ovi a i drugi dijagrami se mogu dobiti opisanim postupkom *Define Plot Function* sa slike 5.5 sa maksimalnim i minimalnim vrednostima. Naravno mogu se pojedinačno očitati i ostale vrednosti prikazane tabelarno u tabelama na slici 5.6.

Komentari

Tekstualni komentar pre napomenutih rezultata sa komentarom duktilnosti (pomeranja na granici elastičnosti i maksimalna pomeranja)

Zaključak

Reagovanje zgrade bez dampera i efekti dampera

Danko

Tanaković

System DC90

10.08.2007

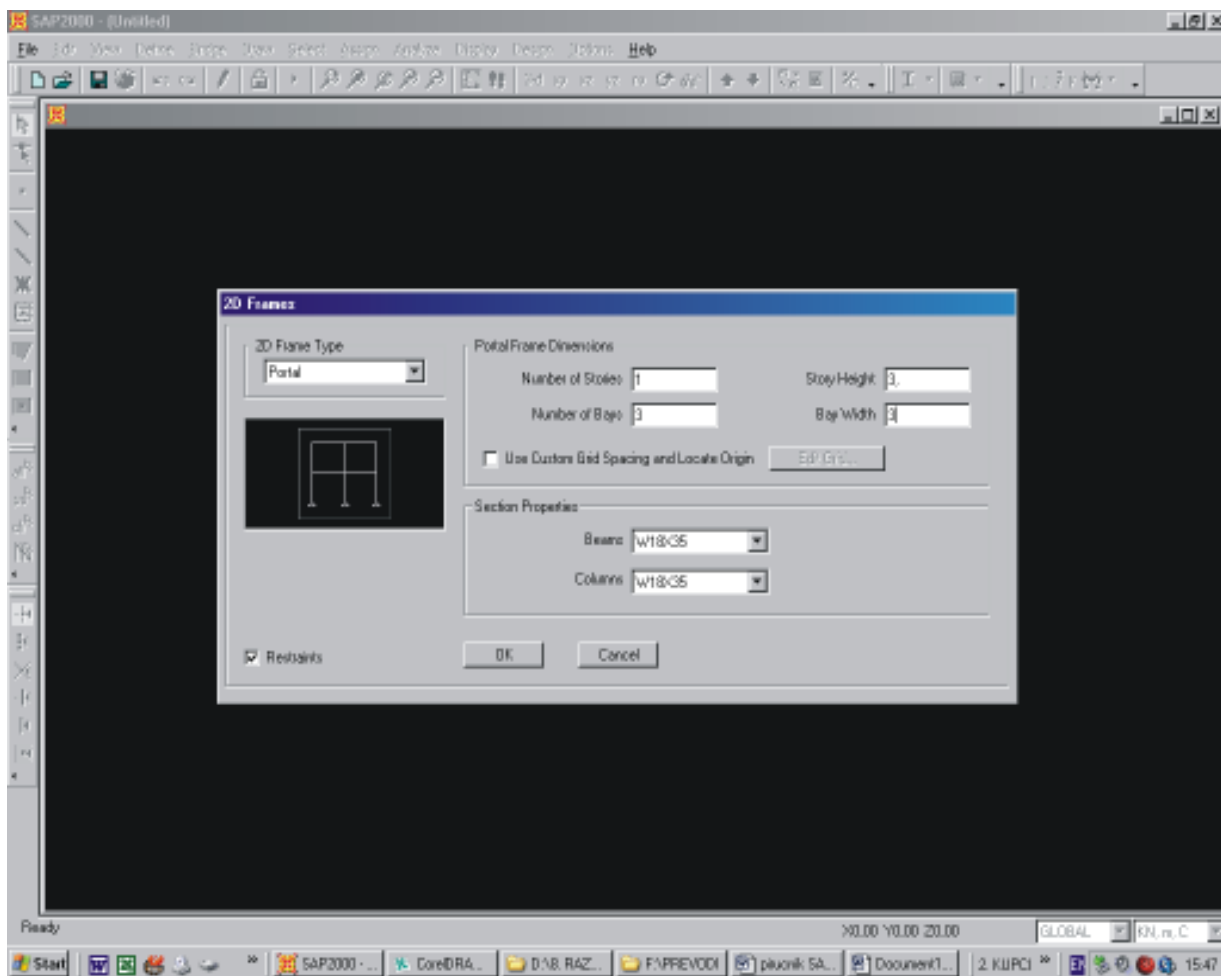
PRIMER I

Kao 1. primer uradićemo dinamičku nelinearnu analizu u realnom vremenu dela jedne zidane konstrukcije koji se sastoji od jednog jednospratnog rama visine 3m sa tri polja dužine od po 3m i zida od opeke. Stubovi su dimenzija 0.25x0.25m, grede 0.25x0.25m a zid je debljine 0.25m .

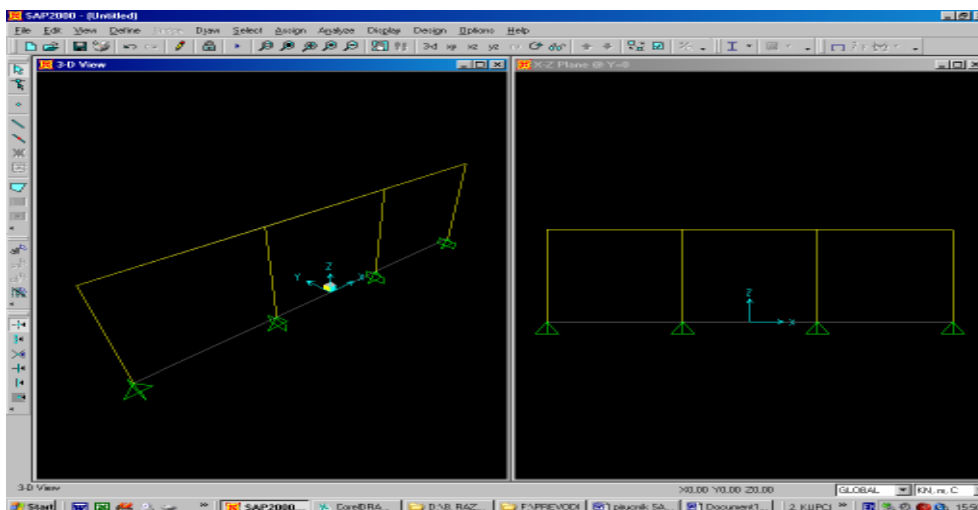
Opterećenje koje se uzima u obzir u ovom primeru je pored sopstvene težine konstrukcije, zemljotresno opterećenje koje se unosi kroz zapis zemljotresa El Centro iz Kalifornije 1940.god.

Treba voditi računa o jedinicama, za sve naše primere korišćićemo kombinaciju kN,m,C.

1) Opcijom **File/New model** i izborom *2D Frames* dolazimo do polja za definisanje geometrije modela



slika I.1a



slika I.1b

2) Kada je zadata geometrija modela, prelazimo na definisanje poprečnih preseka :

Define/ Frame Section/Add Rectangular – Add new property gde biramo :

za material - CONC , za depth (visinu) i width (širinu) – 0.25 . Armatura preseka se

definiše u polju **Concrete Reinforcement**

,gde biramo za Design Type – Column

(stub) ,a i drugi parametri kao što su

Configuration Rectangular i Lateral

Reinforcement - Ties

(uzengije) su već podešeni . Biramo 9

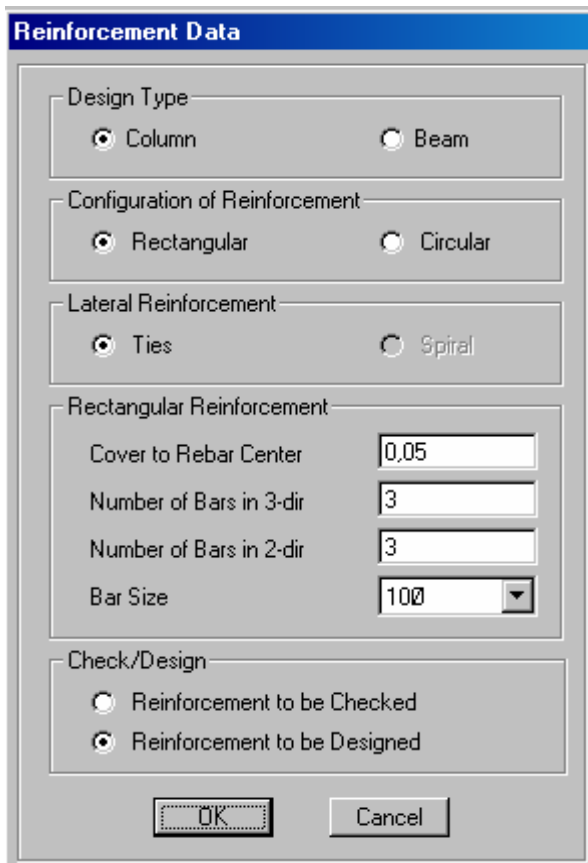
Ø10 sa osnim rastojanjem od ivice 5cm.

Kada smo definisali poprečni presek

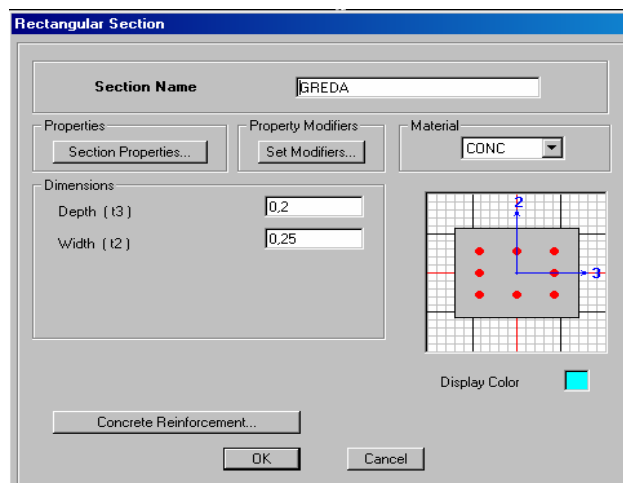
STUB, istim opcijama definišemo pop.

presek GREDA sa istim karakteristikama

osim visine koja je 0.2m.



slikaI.2a



slika I.2b

Da bismo definisali linkove koji treba da aproksimiraju ponašanje zida u horizontalnom pravcu, moramo prvo sračunati karakteristike zida od opeke.

Za jedno polje 3x3m:

$$\text{karakteristike materijala} - G = 230000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, E = 2300000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, \left(\frac{G}{E} = 0.1 \right)$$

$$\text{geometrijske karakteristike} - d_z = 0.25\text{m}, b = 3\text{m}, h = 3\text{m}, F = b \cdot d_z = 0.75\text{m}^2$$

$$\delta = \frac{h}{G \cdot F} \cdot \left(1.2 + \frac{G}{E} \cdot \left(\frac{h}{b} \right)^2 \right) = 2.2608 \cdot 10^{-5} \text{m}, \text{krutost} - K = \frac{1}{\delta} = 44230.77 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{karakteristike linka} - L_{\text{link}} = 4.24\text{m}, \alpha = 45^\circ, K_{\text{link}} = \frac{K}{\cos^2 \alpha} = 88461.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$H_u = \frac{G \cdot \varepsilon \cdot F}{h} = \frac{230000 \cdot 3.3 \cdot 10^{-3} \cdot 0.75}{3} = 189.75\text{kN}, S_u = H_u \cdot \cos \alpha = 268.34\text{kN}$$

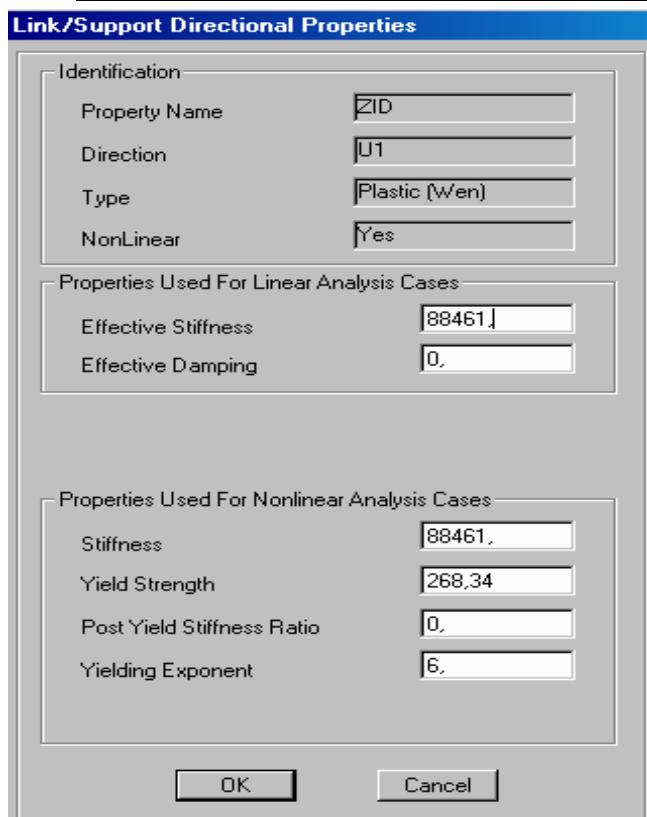
$$\text{Weight} = 0.25 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 10 = 22.5\text{kN} \quad \text{Mass} = \frac{22.5}{9.81} = 2.29$$

Sada ove karakteristike unosimo opcijom **Define / Link/Support Properties**

Add New Property

slika I.2c

Zatim definišemo i nelinearne karakteristike selektovanjem pravca **U1** i **NonLinear** u meniju **Modify/Show for U1**



slika I.2d

Sada izračunate karakteristike linka unosimo u polje za linearne i nelinearne karakteristike:

Klink=88461 kN/m u polja Effective Stiffness odnosno Stiffness .

Granicu tečenja $S_u=268.34$ kN u polje Yield Strength.

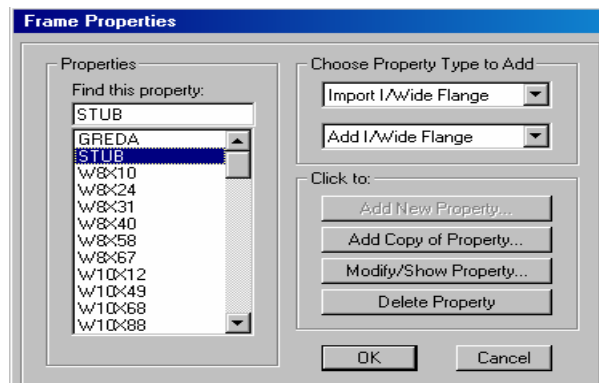
Odnos krutosti u elastičnoj i plastičnoj zoni usvajamo 0 i unosimo u polja Effective Damping odnosno Post Yield Stiffness Ratio.

Za eksponent kojim se aproksimira dijagram histerezisnog ponašanja zida usvajamo 6 i unosimo u polje Yield Exponent.

3) Poprečne preseke dedeljujemo selektovanjem odgovarajućih delova rama i opcijom **Assign / Frame/Cable/Tendon / Frame Sections** i selektovanjem STUB odnosno GREDA sa liste.



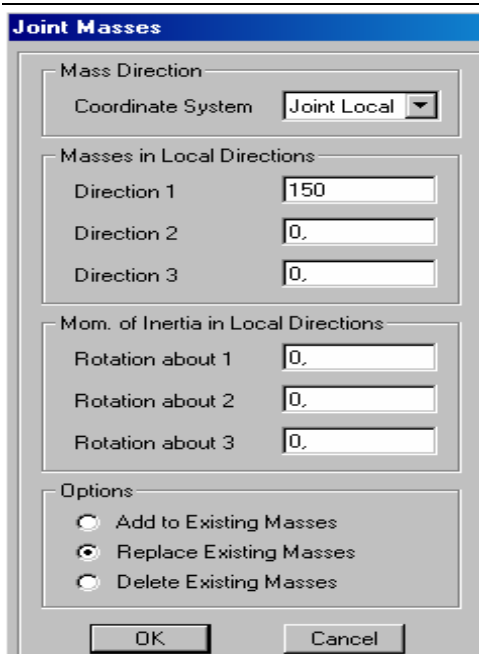
slika I.3a



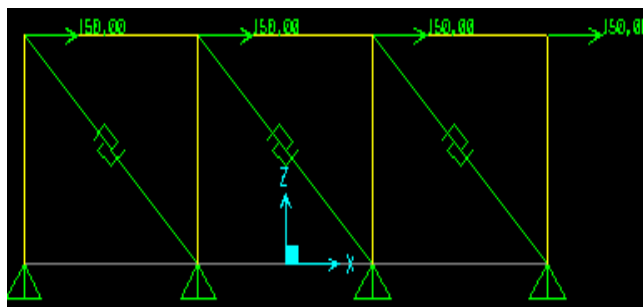
slika I.3b

Link na konstrukciji ucrtavamo preko opcije **Draw / Draw 2 Joint Link** i izborom ZID sa ponuđene liste linkova. Ucrtavamo 3 linka u sva tri polja rama prostim povezivanjem naspramnih temena i klikom na ENTER u posle ucrtavanja svakog linka.

Kako bi što realnije opisali ponašanje ovakve konstrukcije prilikom zemljotresa, zadaćemo u nivou grede koncentrisane mase u pravcu delovanja zemljotresa. Prvo selektujemo sva četiri čvora na spojevima grede i stuba, a onda **Assign / Joint / Masses** . U polju Direction 1 unosimo 150 , tako da je ukupna masa $150 \times 4 = 600t=5886kN$.



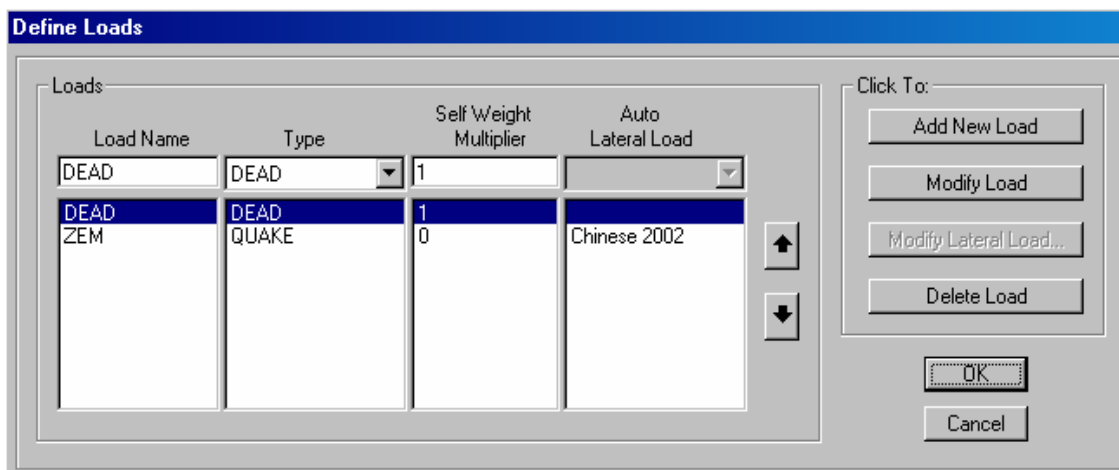
Za proveru zadatih karakteristika koristimo **Display / Show Misc Assigns / (Frame , Joint , Link , ...)** ili selekovanjem odgovarajućeg elementa i desnim klikom.



slika I.3c

slika I.3d

4) Opterećenja definišemo preko **Define / Load Cases** gde pored već postojećeg stalnog(DEAD) dodajemo zemljotresno (ZEM) opterećenje definisanjem tipa **QUAKE** i **Auto Lateral Load - Chinese 2002** i klikom na **Add New Load**.



slika I.4a

Sada treba da definišemo određenu funkciju zemljotresa koja će predstavljati zadato zemljotresno opterećenje: **Define / Functions / Time history** a u polju **Choose Function Type to Add** biramo **Function From File** i **Add New Function**.

Preko polja **Browse** definišemo iz kog fajla odnosno sa koje adrese učitava zapis . Pošto je taj zapis najčešće u Excel-u , potrebno ga je modifikovati . Mi biramo zapis zemljotresa El Centro koji se nalazi u fajlu IMPVAL1.acc u kome pored potrebnih vrednosti ubrzanja tla u određenim vremenskim intervalima postoji još podataka kao što su vreme i mesto zemljotresa , broj tačaka , vrednosti brzine i pomeranja u u određenim vremenskim intervalima ... Zato u polju **Headers Line to Skip** (koliko se prvih redova preskače prilikom učitavanja) upisujemo 9 , a u polju **Number of Points per Line** upisujemo broj vrednosti ubrzanja u jednom redu – u našem slučaju 8 .

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
333		-95	-60	-24	32	38	14	-1	-7	
334		6	10	24	13	4	-8	-27	-55	
335		-84	-93	-61	-36	-2	33	37	-14	
336		-45	-103	-77	-23	31	41	26	13	
337		15	61	73	74	76	73	71	57	
338		38	21	-2	-33	-64	-68	-51	-54	
339		-54	-57	-33	0	33	70	96	85	
340		80	68	75	77	85	61	37	7	
341		-1	4	5	-10	-29	-46	-69	-65	
342		-44	-28	-7	-23	-33	-51	-60	-56	
343		-54	-50	-66	-91	-114	-140	-138	-140	
344		-121	-96	-74	-46	-34	-42	-45	-55	
345		-63	-72	-80	-73	-52	-37	-26	-14	
346	\$	1344 POINTS OF VELOC DATA EQUALLY SPACED AT 0.04 SEC. (UNITS: CM/SEC)								
347	\$	-4.664	-4.996	-5.370	-5.848	-6.357	-6.724	-7.247	-7.973	
348	\$	-8.532	-8.846	-9.150	-9.857	-10.153	-9.890	-10.339	-11.149	
349	\$	-12.365	-13.213	-13.900	-14.173	-13.612	-12.535	-10.780	-9.092	
350	\$	-7.956	-6.630	-4.520	-1.765	0.485	1.747	-0.007	-2.485	
351	\$	-3.529	-3.012	-0.996	2.922	8.648	13.342	16.987	20.493	
352	\$	24.588	24.977	17.380	9.505	2.486	-4.577	-10.988	-15.291	
353	\$	-16.948	-15.460	-10.750	-2.819	8.087	20.939	32.323	29.878	
354	\$	22.360	17.552	16.566	18.640	23.663	23.941	16.487	12.156	
355	\$	11.381	5.108	-1.385	-6.331	-9.357	-10.465	-10.228	-12.026	
356	\$	-15.482	-17.730	-18.096	-16.400	-16.293	-16.734	-15.470	-12.009	
357	\$	-7.935	-6.552	-3.174	2.889	1.760	-1.477	-1.206	-4.153	
358	\$	-8.945	-12.191	-13.306	-15.103	-16.210	-15.985	-14.102	-13.082	

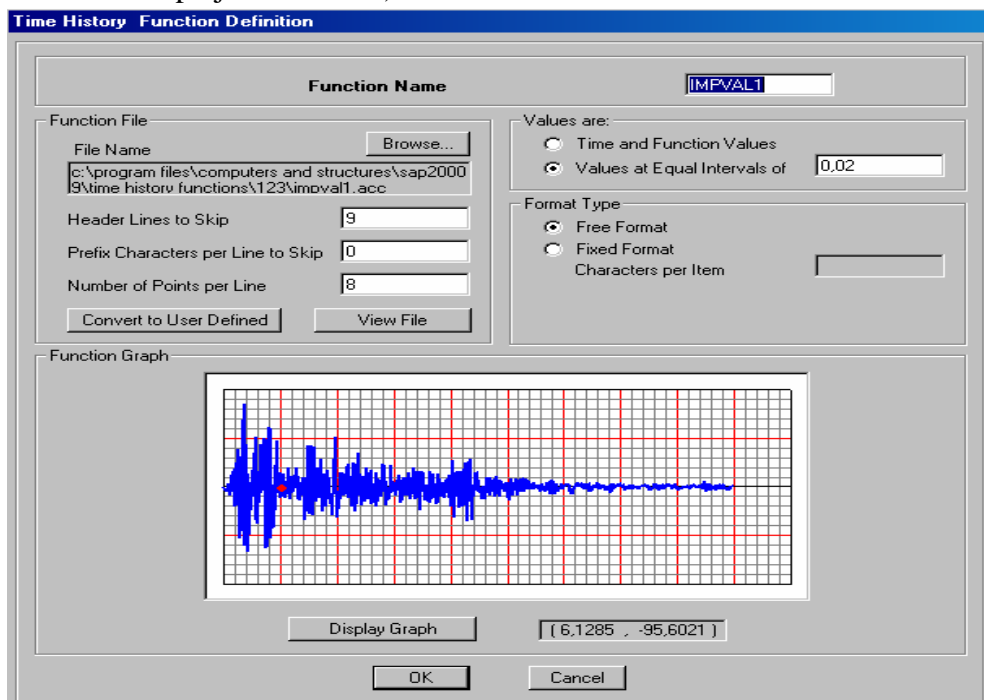
po jednom redu)

Sam fajl IMPVAL1.acc modifikujemo tako što ubacujemo novu prvu kolonu i upisujemo znak \$ ispred svakog reda koji ne želimo da SAP učitava tj. od početka zapisa brzine tla u vremenu pa do kraja dokumenta . Svaki red koji počinje znakom \$ SAP automatski preskače i prelazi na sledeći . Na taj način smo na ispravan način učitali zapis zemljotresa (ubrzanja) u program SAP 2000.

Potrebno je još proveriti koliki je vremenski interval ovog zapisa , u polju **Values at Equal Intervals of**

slika I.4b

upisujemo 0.02 i u kojim jedinicama je izraženo ubrzanje (2688 vrednosti ubrzanja u intervalima od 0.02 sekunde u mm/s^2 - 8 tačaka



slika I.4d

2688 0.02 8 MM
1344 0.04 8 CM
538 0.10 8 CM

slika I.4c

Opcijom **Define / Analyses Cases** treba da definišemo nelinearnu analizu zemljotresnog dejstva – selektujemo ZEM i **Modify/Show Property** :

- Slučaj opterećenja **Analyses Case Type**- Time History
- **Analyses Type** - Nonlinear
- Vrsta opterećenja **Load Type** – Accel
- **Load Name** – U1
- **Function** – IMPVAL1
- **Scale Factor** – 0.001 (jer je unos u mm)

Treba izračunati vreme trajanja zemljotresa, u našem slučaju $2688 \times 0.02 = 53.76$ s i uneti odgovarajuće podatke u polje **Time Step Data** tako da proizvod broja jednog vremenskog koraka -**Output Time Step Size** i broja tih vremenskih koraka **Number of Output Time Steps** ne odstupa puno od vremena trajanja zemljotresa.

Analysis Case Data - Nonlinear Modal History (FNA)

Analysis Case Name: ZEM [Set Def Name]

Analysis Case Type: Time History

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Modal History []

 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Analysis Case:

- Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	IMPVAL1	1.000E-03
Accel	U1	IMPVAL1	1.000E-03

[Add] [Modify] [Delete]

Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

- Number of Output Time Steps: 400
- Output Time Step Size: 0.1

Other Parameters:

- Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

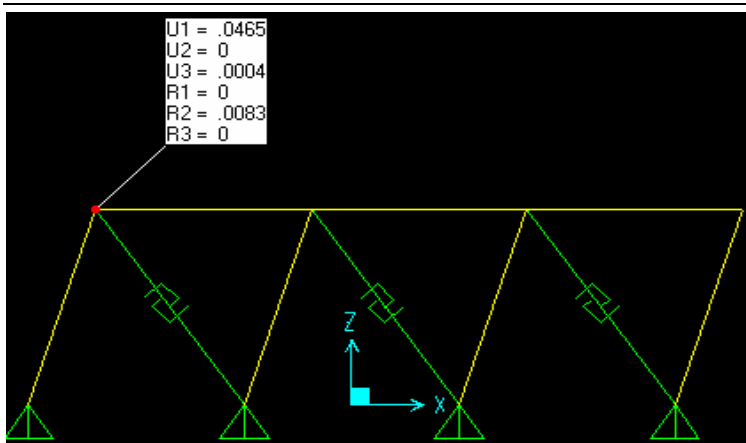
[OK] [Cancel]

slika I.4e

5) Pre samog proračuna treba definisati dozvoljene deformacije **Analyze / Set Analysis Options** i izabrati polje za XZ ravan , i onda možemo pustiti u proračun naš model **Analyze / Set Analysis Cases To Run / Run Now** .

6) Za prikaz nama bitnih rezultata možemo koristiti više opcija :

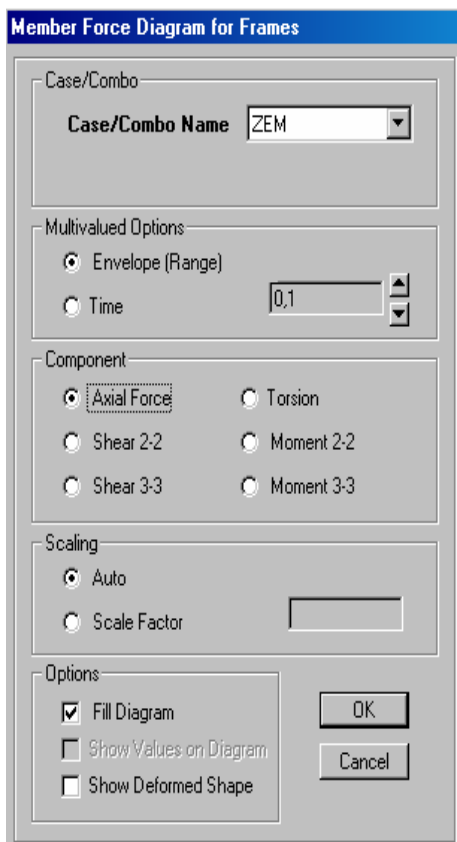
a) **Display / Show Deformed Shape** – biramo slučaj opterećenja (Case/Combo Name) i u zavisnosti od toga određeno vreme ili anvelopu odnosno ton oscilovanja za modalnu analizu itd. Desnim klikom na čvorove dobijamo vrednosti pomeranja a opcijom **Start Animation** u donjem desnom uglu način oscilovanja u zavisnosti od podešenih uslova.



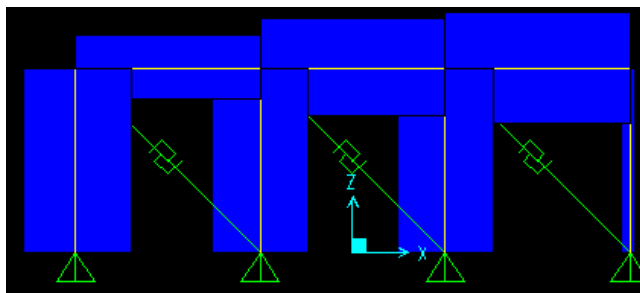
slika I.6a

Display / Show Undeformed Shape – u aktivnom prozoru vraćamo se na nedeformisan oblik modela

- b) **Display / Show Forces/Stresses** – dolazimo do presečnih sila na modelu.
- **Joints** – Prikazuje reakcije u osloncima rama
 - **Frames/Cables** - prikazuje dijagrame odgovarajućih presečnih sila . Nas zanimaju Axial Force , Shear 2-2 (transverzalna sila) i Moment 3-3.

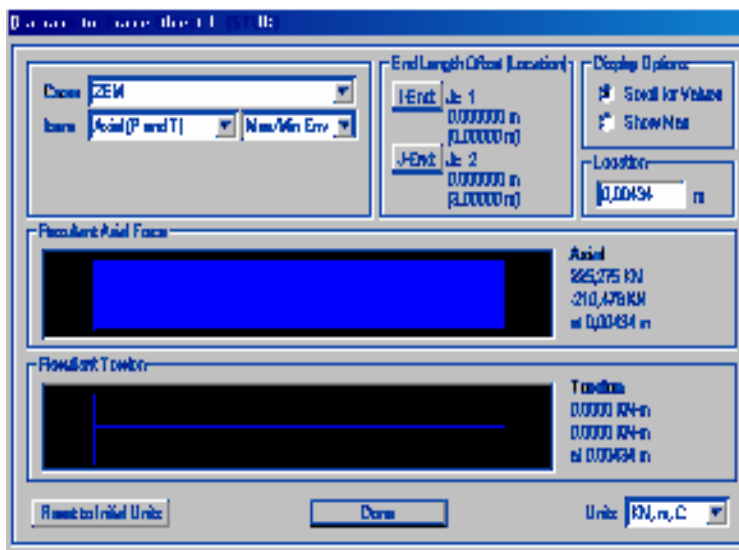


slika I.6b



slika I.6c

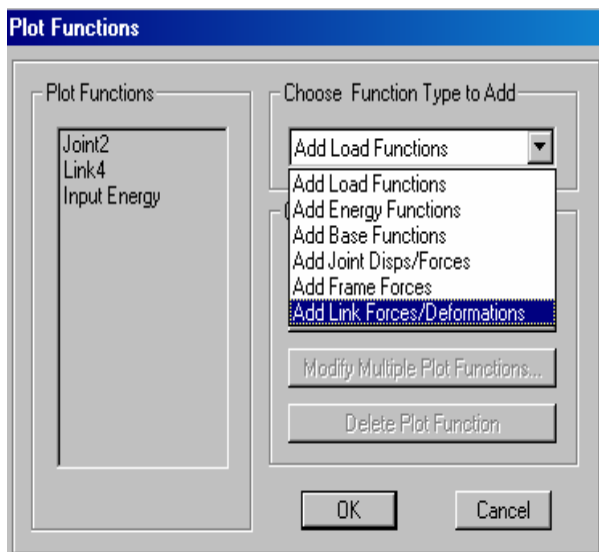
Desnim klikom na elemente rama dobijamo detaljniji prikaz presečnih sila po dužini



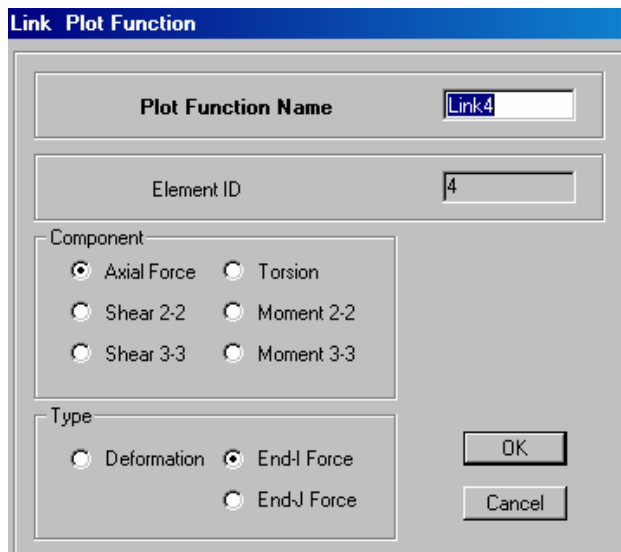
slika I.6d

- **Link** – Dijagram sila u linkovima

c) **Display / Show Plot Functions** – omogućava prikaz funkcija u vremenu. Prvo treba da definišemo funkcije koje nas zanimaju – **Define Plot Functions**, iz menija **Choose Function Type to Add** biramo **Add Joint Disps/Forces** za čvorove, odnosno **Add Link Forces/Deformations** za linkove.



slika I.6e



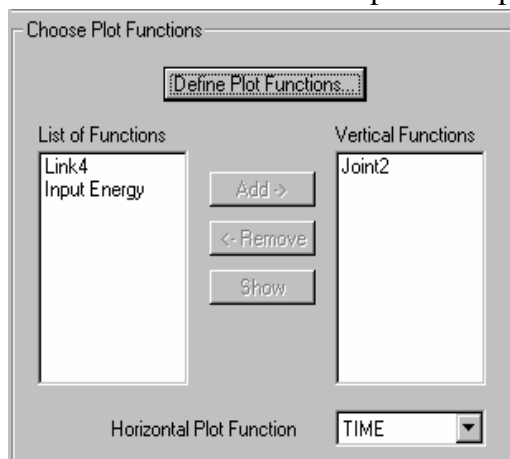
slika I.6f

Add Link Forces/Deformations (funkcije sila i pomeranja linkova)

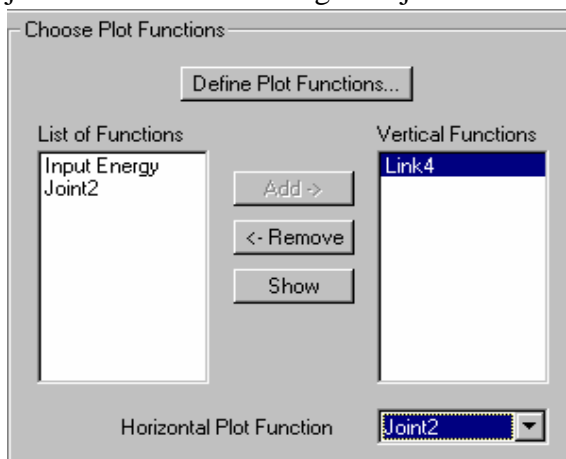
Posle klika na **Add Plot Function** zadajemo broj linka **Element ID** - 4 u polju **Type** – End I Force, u polju **Component** - Axial Force. **Plot Function Name** – Link 4

Slično za funkciju pomeranja čvorova : **Add Joint Disps/Forces**, **Add Plot Function**, **Joint Element ID** – 2, **Vector Type** – Displacement, **Component** – Ux, **Plot Function Name** – Joint 2.

Za prikaz tih funkcija dovoljno ih je definisati u poljima **Vertical Functions** i **Horizontal Plot Functions** pomoću opcija **Add** i **Remove** sa odgovarajuće liste.



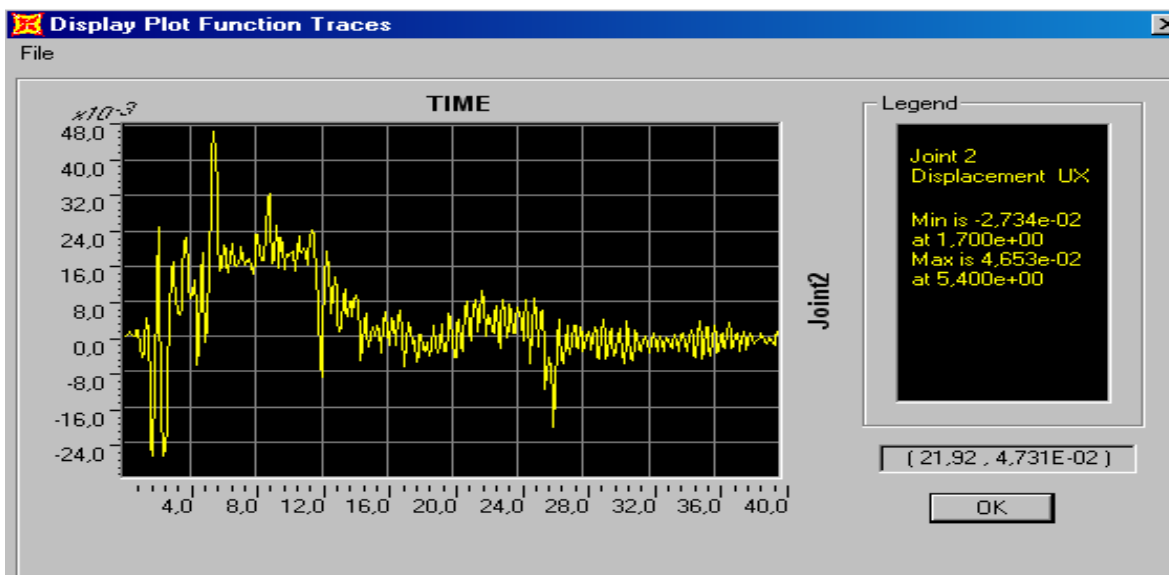
slika I.6g



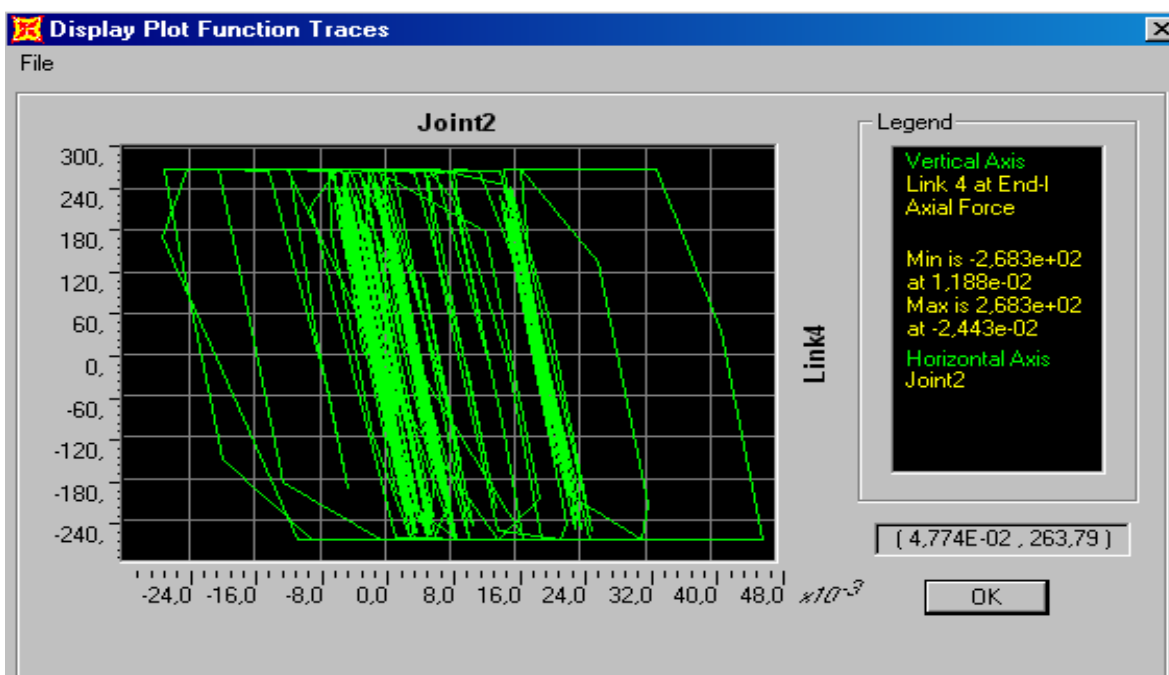
slika I.6h

Prikazaćemo dva grafika. Prvi daje zavisnost pomeranja čvora 2 na spoju prvog stuba i grede u funkciji vremena, a drugi zavisnost sile u linku (koji zamenjuje

ponašanje zida u horizontalnom pravcu) i pomeranja čvora 2 – histerezis.



slika I.6i



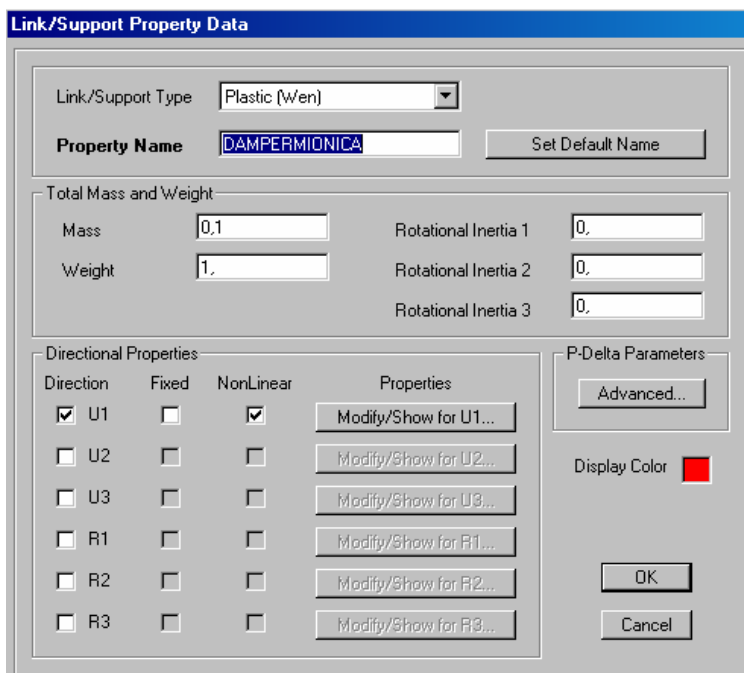
slika I.6i

Iz prikazanih rezultata vidimo da je:
 maksimalna sila u stubu - $\max N = 225 \text{ kN}$; maksimalni momenat u stubu $\max M = 87 \text{ kNm}$
 maksimalno pomeranje vrha stuba $\max U = 4.65 \text{ cm}$

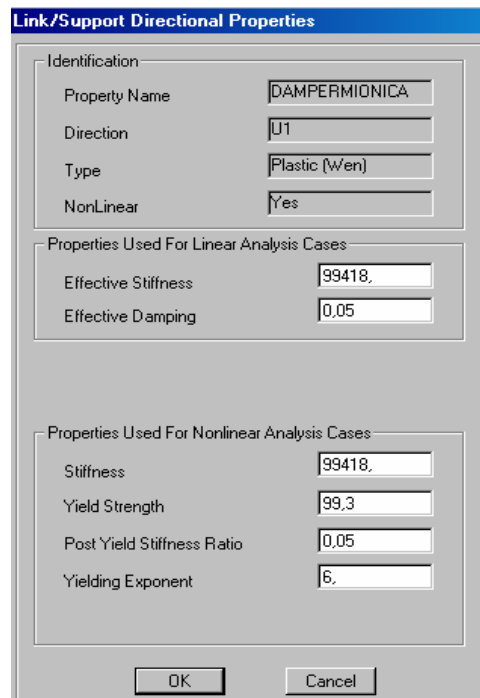
7) Sada ćemo posmatrati ponašanje ovog modela ojačanog damperima tipa MIONICA prilikom dejstva zemljotresa.

Preko opcije **Lock/Unlock Model** vraćamo se u stanje za unošenje i promenu podataka.

Define / Link/Support Properties , Add New Property definišemo link sa karakteristikama dampera :



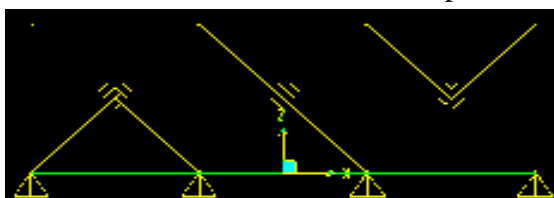
slika I.7b



slika I.7a

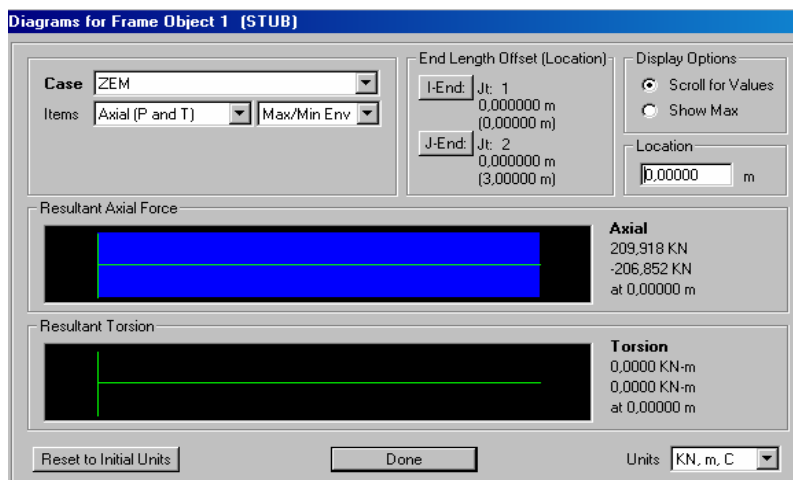
Link koji predstavlja damper se razlikuje od linka koji aproksimira zid najviše po tome što u poljima **Effective Damping** i **Stiffness** nisu 0 već određene vrednosti koje su $\neq 0$, u našem slučaju 0.05.

Link na konstrukciji ucrtavamo na isti način preko opcije **Draw / Draw 2 Joint Link** i izborom DAMPERMIONICA sa ponuđene liste linkova.



Analyze / Set Analysis Cases To Run / Run Now puštamo u proračun izmenjen model.

slika I.7c

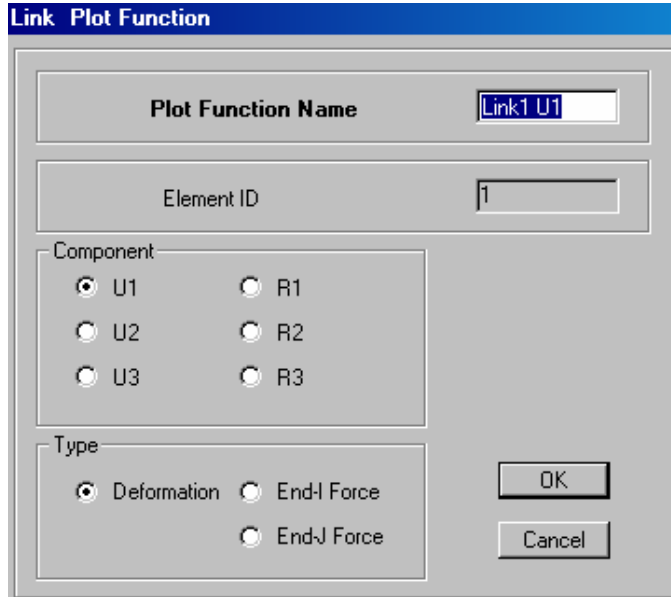


Display / Show Forces/Stresses / Frames/Cables i desnim klikom na prvi najopterećeniji stub dobijamo prikaz novih vrednosti sila .

slika I.7d

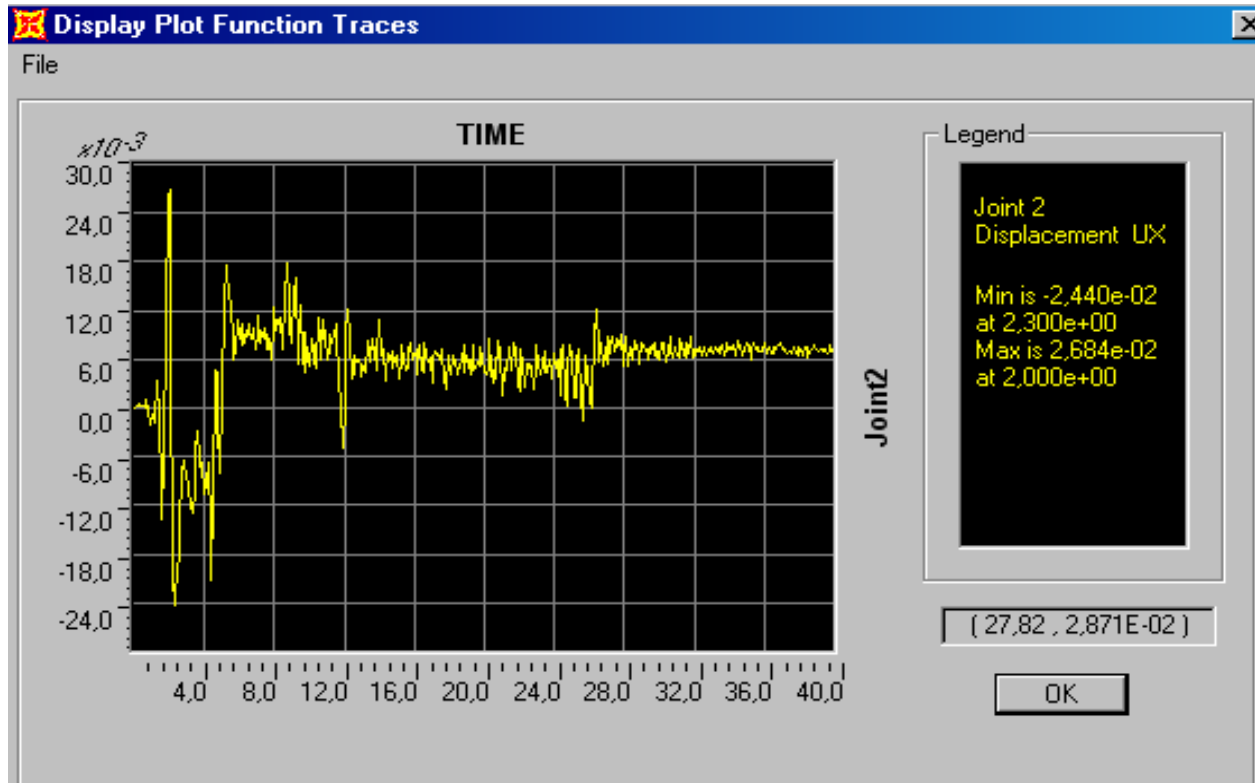
Display / Show Plot Functions

Define Plot Functions, iz menija **Choose Function Type to Add** biramo **Add Link Forces/Deformations** za linkove. Sada je potrebno pored funkcije za vrednosti sila u novom linku LINK1 da definišemo i funkciju pomeranja u pravcu linka LINK1 U1

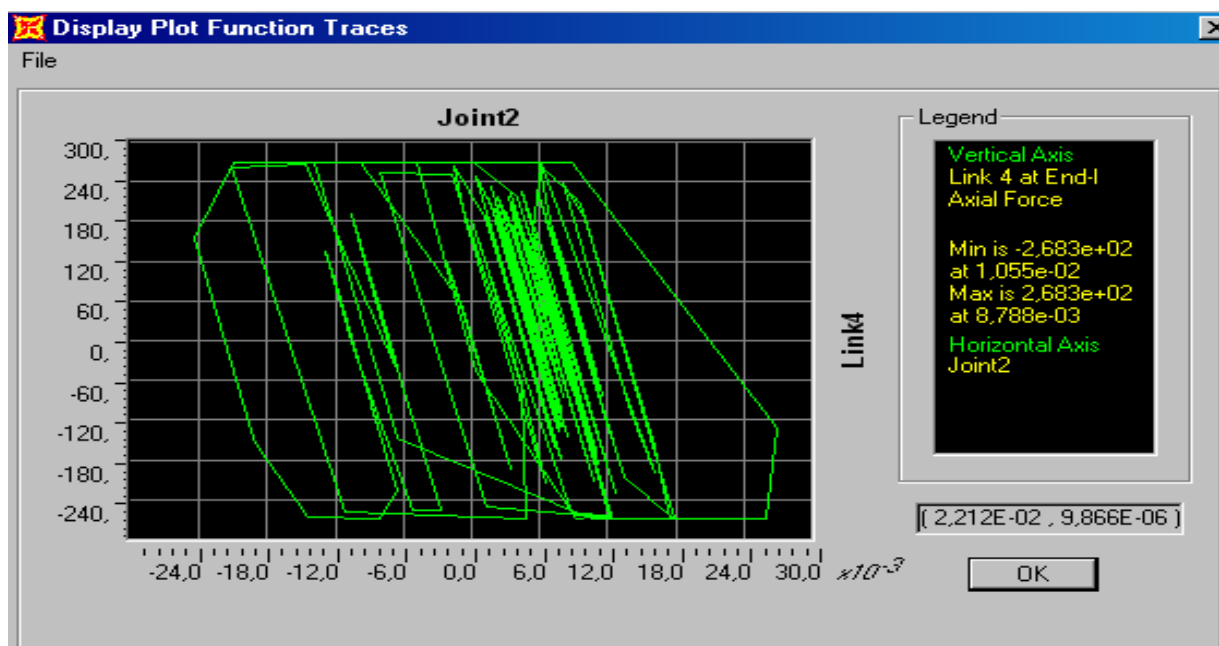


Sada možemo ponovo prikazati grafike koji su nam od značaja. Prvi daje zavisnost pomeranja čvora 2 na spoju prvog stuba i grede u funkciji vremena, a drugi zavisnost sile u linku (koji zamenjuje ponašanje zida u horizontalnom pravcu) i pomeranja čvora 2 i treći zavisnost sile u dijagonali dampera LINK1 i pomeranje u pravcu dijagonale LINK1 U1.

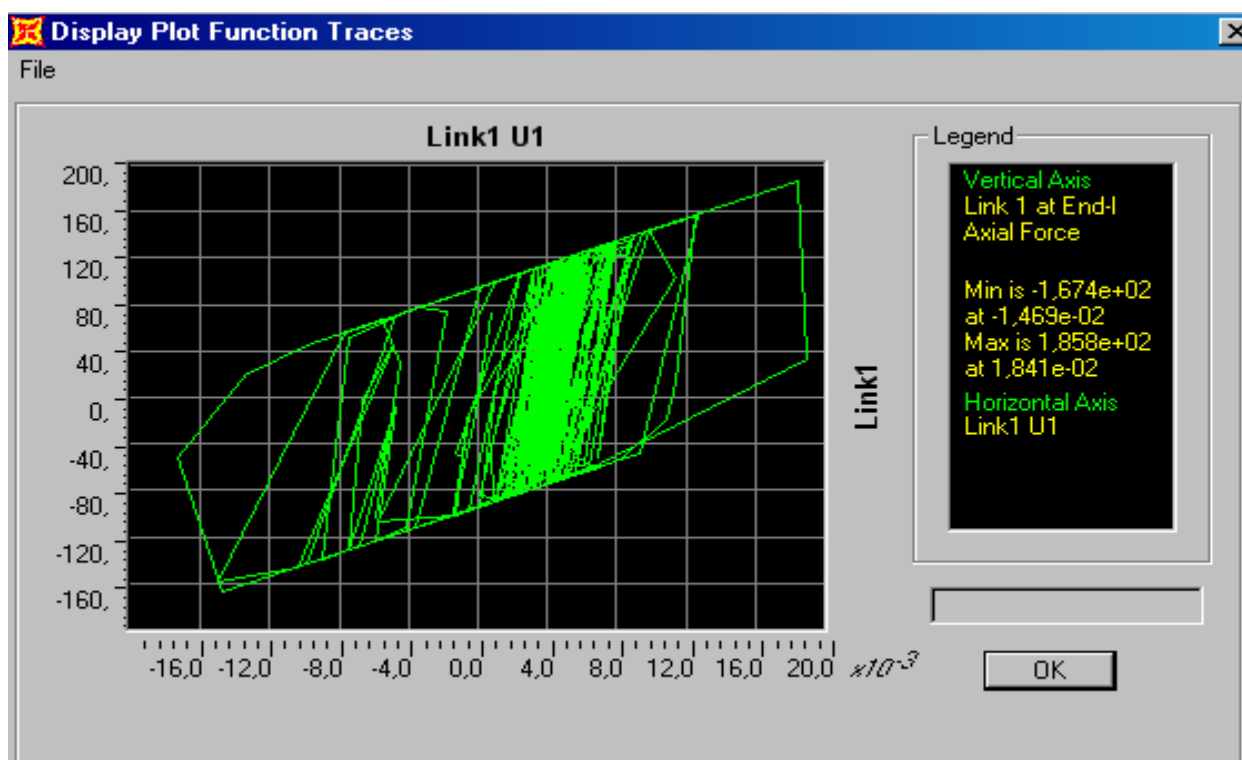
slika I.7e



slika I.7f



slika I.7g



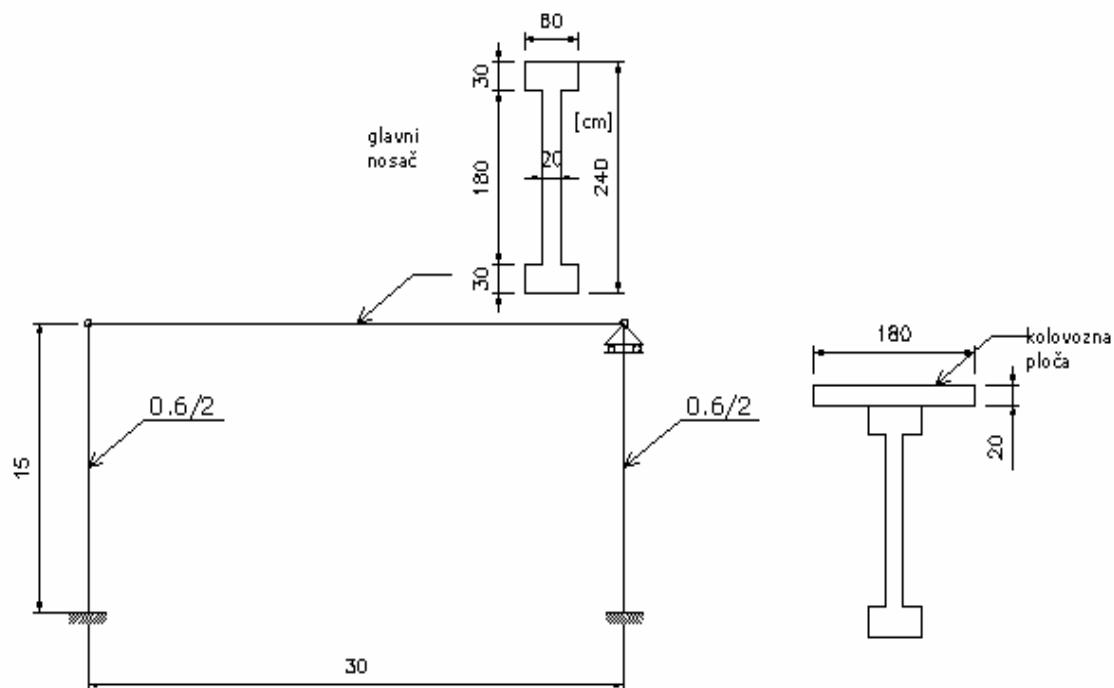
slika I.7h

Iz priloženih rezultata vidimo da se

- **maxN** smanjio sa 225kN na 209kN
- **maxM** smanjio sa 87kNm na 52kNm
- **maxU** smanjio sa 4.65cm na 2.68cm

PRIMER II

Kao 2. primer uradićemo dinamičku nelinearnu analizu u realnom vremenu jedne mostovske konstrukcije koju predstavlja jedan betonski ram statičkog sistema i raspona kao na slici



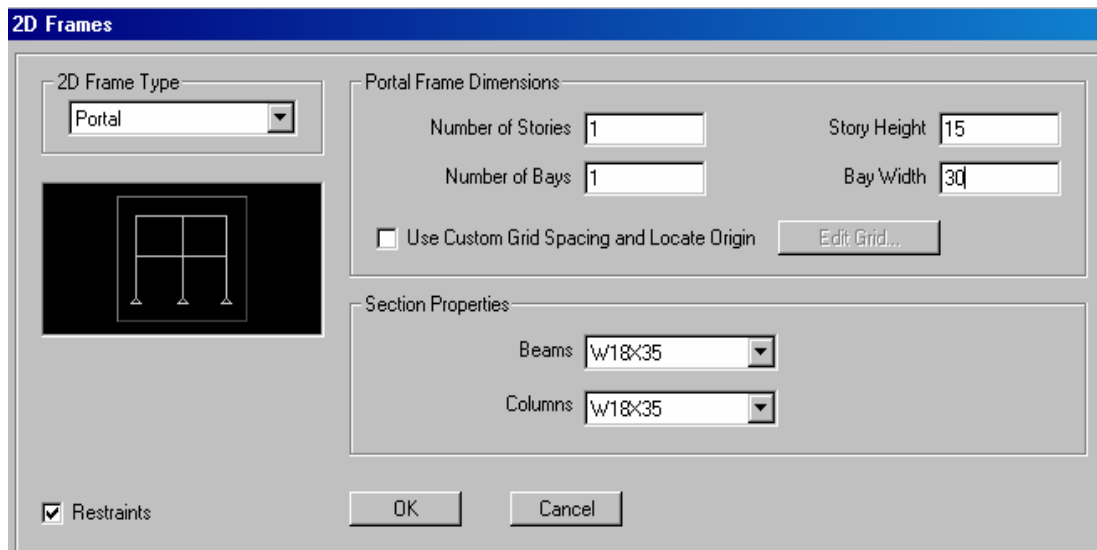
Odgovarajući model za analizu je isti ram koji ima kratki pendel stub na mestu pokretnog oslonca i takav element simulira pokretljivost u horizontalnom pravcu vrha stuba 2.



Opterećenje koje se uzima u obzir u ovom primeru je pored sopstvene težine konstrukcije i težine kolovozne ploče, zemljotresno opterećenje koje se unosi kroz zapis zemljotresa El Centro iz Kalifornije 1940.god.

Koristićemo kombinaciju jedinica kN,m,C.

1) Opcijom **File/New model** i izborom *2D Frames* dolazimo do polja za definisanje geometrije modela



sl II.1a

Zatim definišemo oslonce kao ukleštene selektovanjem odgovarajućih čvorova i preko opcije **Assign / Joints / Restraints**.

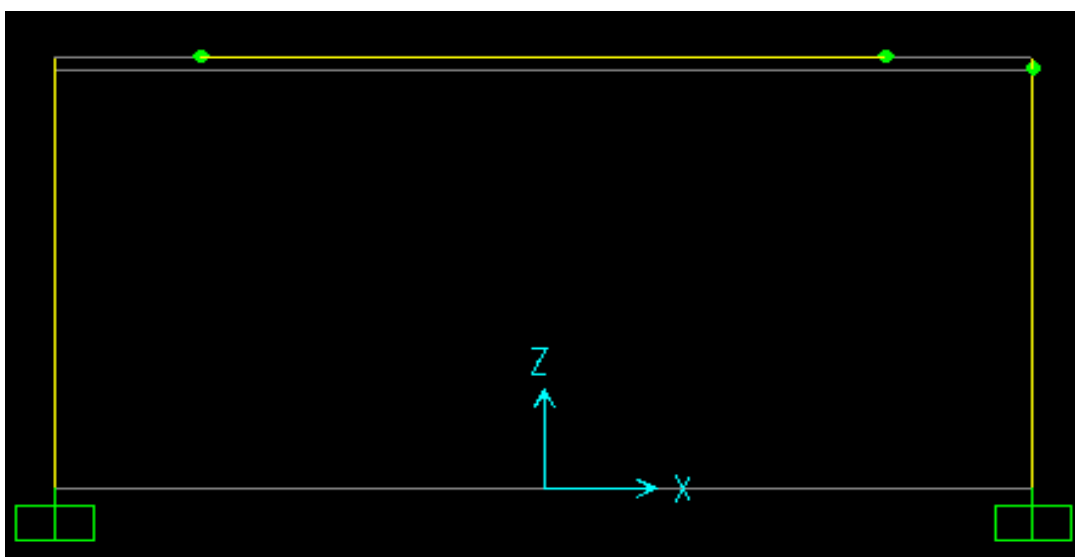
Da bi što lakše zadali nove elemente koristimo opciju **Edit Grid Data / Modify/Show System**

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	z1	0,	Primary	Show	Right	
2		14,5	Primary	Show	Right	
3	z2	15,	Primary	Show	Right	
4						
5						
6						
7						
8						

Sada smo u mogućnosti da definišemo obostrano zglobno oslonjen stub koji simulira pokretni oslonac ponovnim ucrtavanjem desnog stuba iz dva dela – STUB 2 koji će sada biti 14.5m, i pendela koji će biti 0.5m.

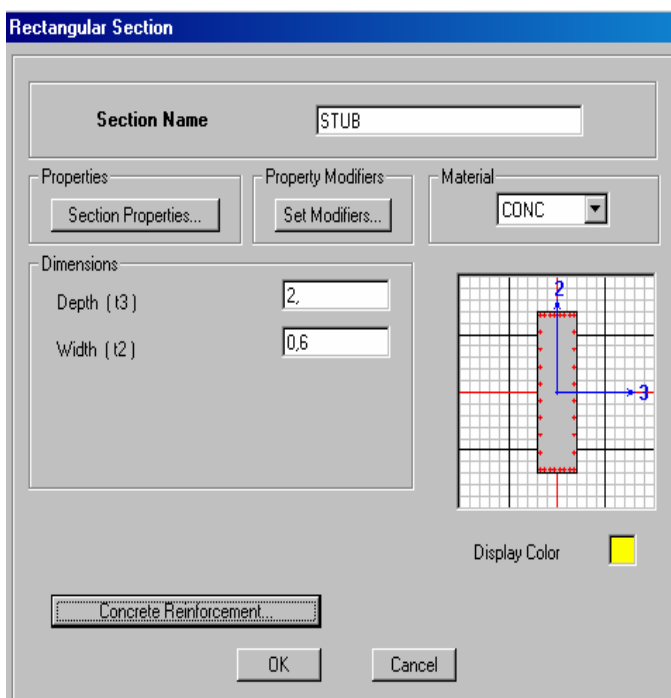
sl II.1b

Selektovanjem odgovarajućih stubova ili greda i preko opcije **Assign / Frame/Cable/Tendon / Releases/Partial Fixity** oslobađamo odgovarajuće krajeve stubova uticaja M33 i tako definišemo zglobove.

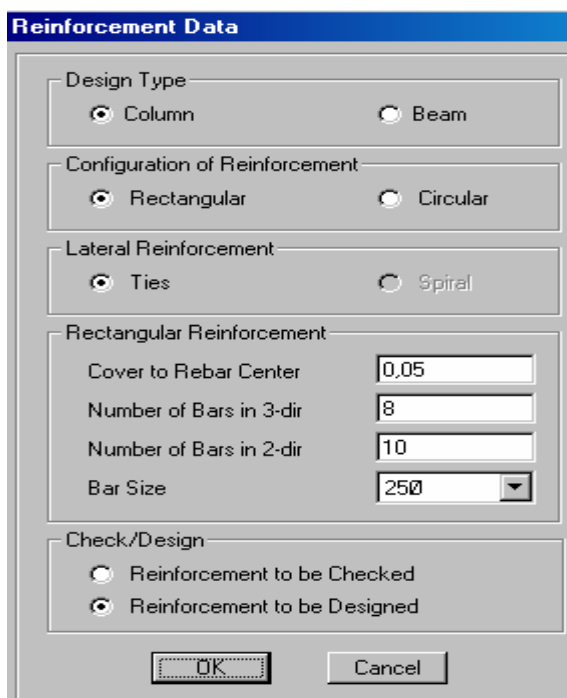


sl II.1c

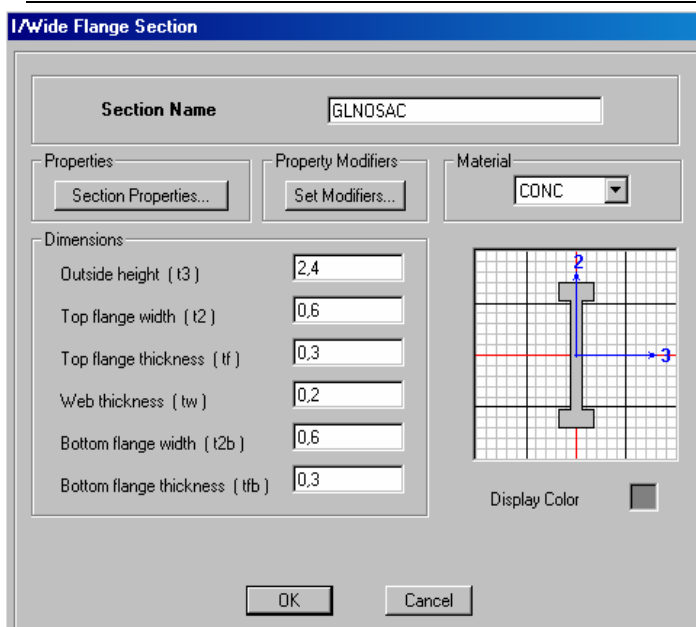
2) Kada je zadana geometrija modela, prelazimo na definisanje poprečnih preseka :
Define/ Frame Section/Add Rectangular – Add new property gde zadajemo sledeće karakteristike :



sl II.2a

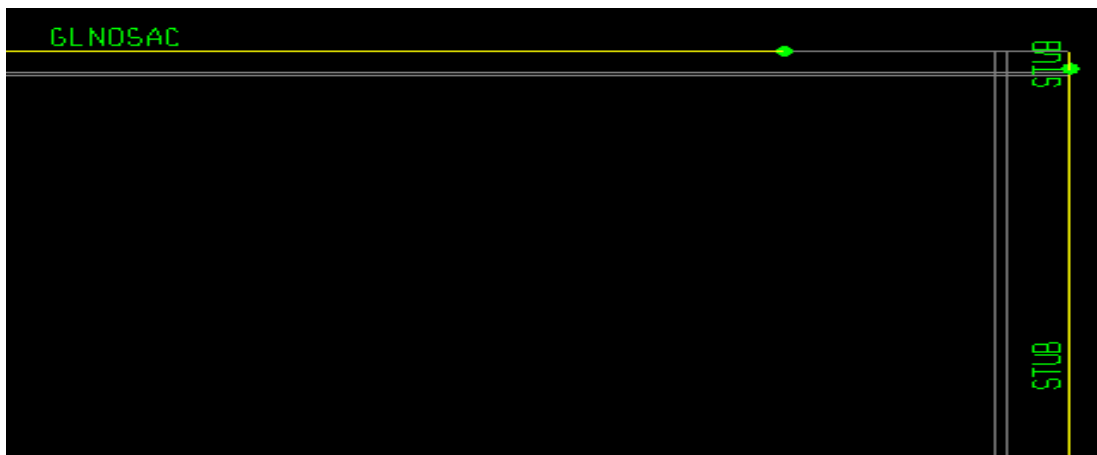


sl II.2b



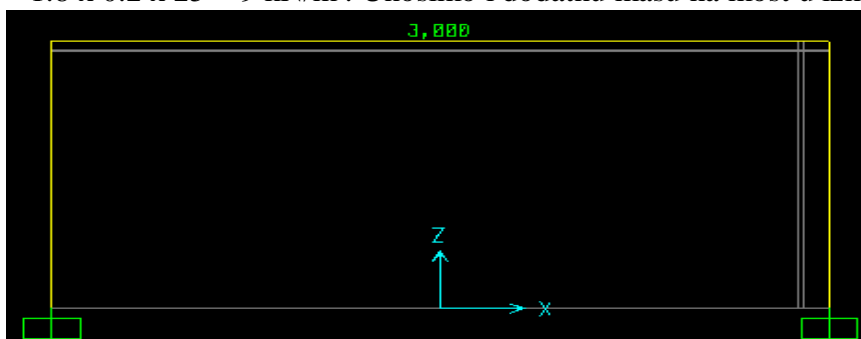
sl II.2c

3) Poprečne preseke dodeljujemo selektovanjem odgovarajućih delova rama i opcijom **Assign / Frame/Cable/Tendon / Frame Sections** i selektovanjem STUB odnosno GLNDSAC sa liste.



sl II.3a

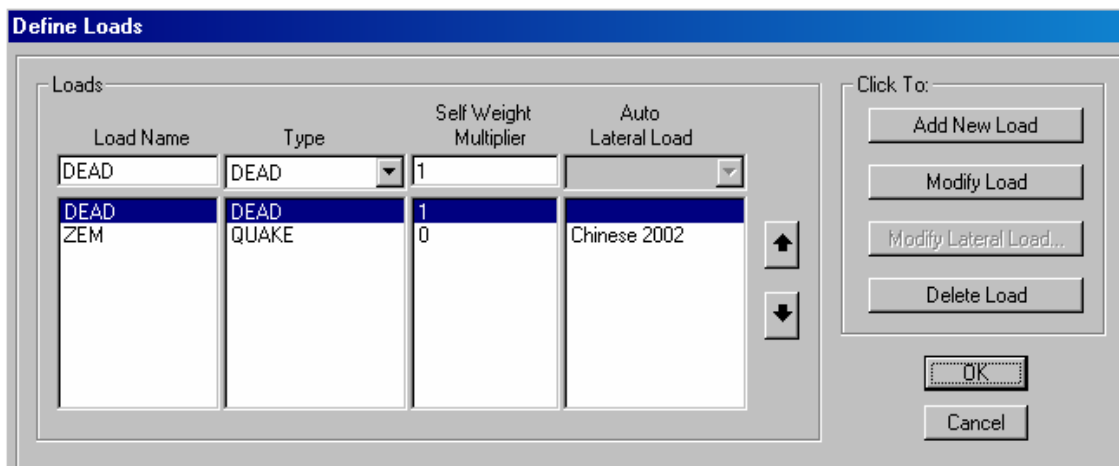
U nivou glavnog nosača zadajemo masu kolovozne ploče kao linijsko podeljenu selekcijom glavnog nosača i opcijom **Assign / Frame/Cable/Tendon / Line Mass**. $1.8 \times 0.2 \times 25 = 9 \text{ kN/m}$. Unosimo i dodatnu masu na most u izmosu od 20 kN/m .



U polju **Line Mass/Length** unosimo $3(3 \times 9.81 = 29 \text{ kN})$, tako da je ukupna masa $3 \times 30 = 90 \text{ t} = 870 \text{ kN}$

sl II.3b

4) Optrerećenja definišemo preko **Define / Load Cases** gde pored već postojećeg stalnog(DEAD) dodajemo zemljotresno (ZEM) opterećenje definisanjem tipa QUAKE i Auto Lateral Load - Chinese 2002 i klikom na **Add New Load**.



slika II.4a

Sada treba da definišemo određenu funkciju zemljotresa koja će predstavljati zadato zemljotresno opterećenje i to radimo na isti način kao u primeru 1 :

Define / Functions / Time history

Choose Function Type to Add

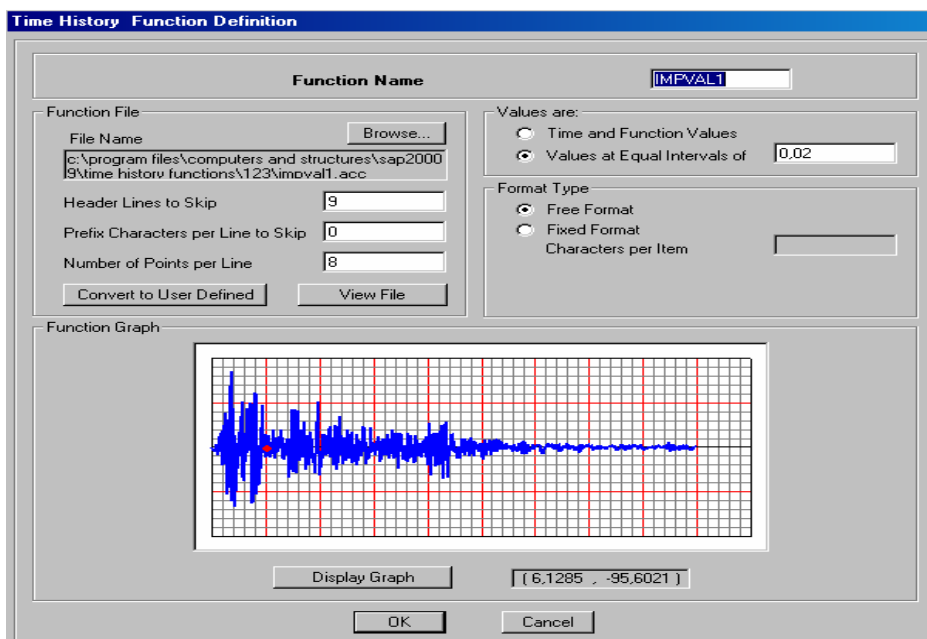
Function From File i Add New Function.

Preko polja biramo zapis zemljotresa El Centro koji se nalazi u fajlu IMPVAL1.acc , koji treba da modifikujemo u zapis koji SAP ispravno učitava ,ukoliko to već nije učinjeno kao u primeru 1.

Headers Line to Skip - 9

Number of Points per Line - 8 .

Values at Equal Intervals of 0.02



slika II.4b

Opcijom **Define / Analyses Cases** treba da definišemo nelinearnu analizu zemljotresnog dejstva – selektujemo ZEM i **Modify/Show Property** :

- Slučaj opterećenja **Analyses Case Type**- Time History
- **Analyses Type** - Nonlinear
- Vrsta opterećenja **Load Type** – Accel
- **Load Name** – U1
- **Function** – IMPVAL1
- **Scale Factor** – 0.001 (jer je unos u mm)

Output Time Step Size -400

Number of Output Time Steps – 0.1

Analysis Case Data - Nonlinear Modal History (FNA)

Analysis Case Name ZEM

Analysis Case Type Time History

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Modal History

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Analysis Case

Use Modes from Case MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	IMPVAL1	1,000E-03
Accel	U1	IMPVAL1	1,000E-03

Show Advanced Load Parameters

Time Step Data

Number of Output Time Steps

Output Time Step Size

Other Parameters

Modal Damping

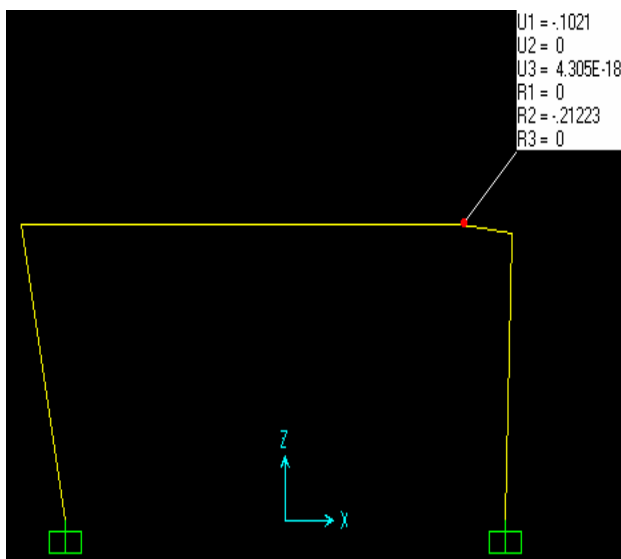
Nonlinear Parameters

slika II.4c

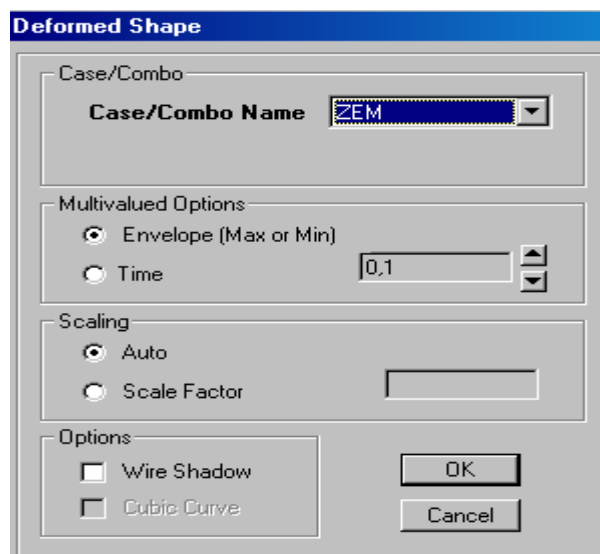
5) Pre samog proračuna treba definisati dozvoljene deformacije **Analyze / Set Analysis Options** i izabrati polje za XZ ravan , i onda možemo pustiti u proračun naš model **Analyze / Set Analysis Cases To Run / Run Now** .

6) Prikaz rezultata :

a) **Display / Show Deformed Shape** – biramo slučaj opterećenja (Case/Combo Name) i u zavisnosti od toga određeno vreme ili anvelopu odnosno ton oscilovanja za modalnu analizu itd. Desnim klikom na čvorove dobijamo vrednosti pomeranja a opcijom **Start Animation** u donjem desnom uglu način oscilovanja u zavisnosti od podešenih uslova.

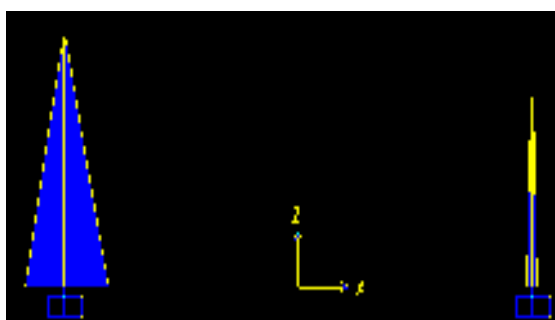


slika II.6a



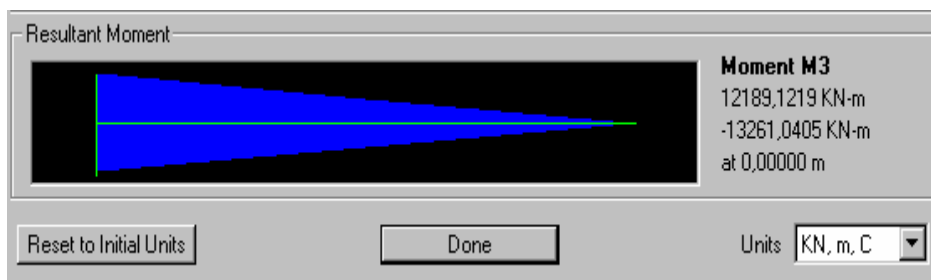
slika II.6b

- b) **Display / Show Forces/Stresses** – dolazimo do presečnih sila na modelu. Nas zanimaju momenti na stubovima 1 i 2
- **Frames/Cables** - Moment 3-3.



Desnim klikom dolazimo do detaljnijih prikaza momenata po dužini stuba i naravno maksimuma

slika II.6c



slika II.6d

- **Display / Show Plot Functions** Prvo treba da definišemo funkcije koje nas zanimaju – **Define Plot Functions** , iz menija **Choose Function Type to Add** biramo **Add Joint Disps/Forces** .

Za funkciju pomeranja čvorova : **Add Joint Disps/Forces** , **Add Plot Function** , **Joint Element ID** – 2 , **Vector Type** – Displacement , **Component** – U_x , **Plot Function Name** – Joint 2 –za vrh stuba 1 , a za vrh stuba 2 istim komandama Joint 4

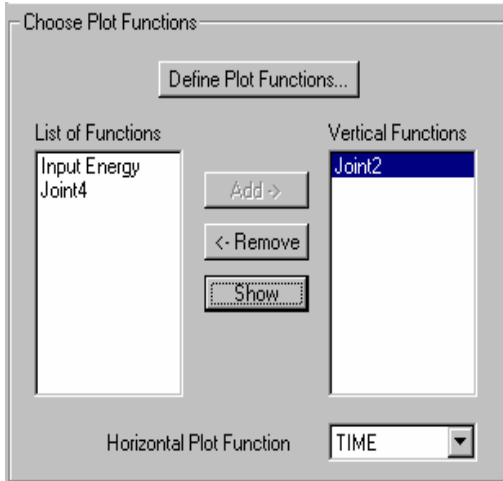
Za prikaz tih funkcija dovoljno ih je definisati u poljima **Vertical Functions** i **Horizontal Plot Functions** pomoću opcija **Add** i **Remove** sa odgovarajuće liste.

-Display

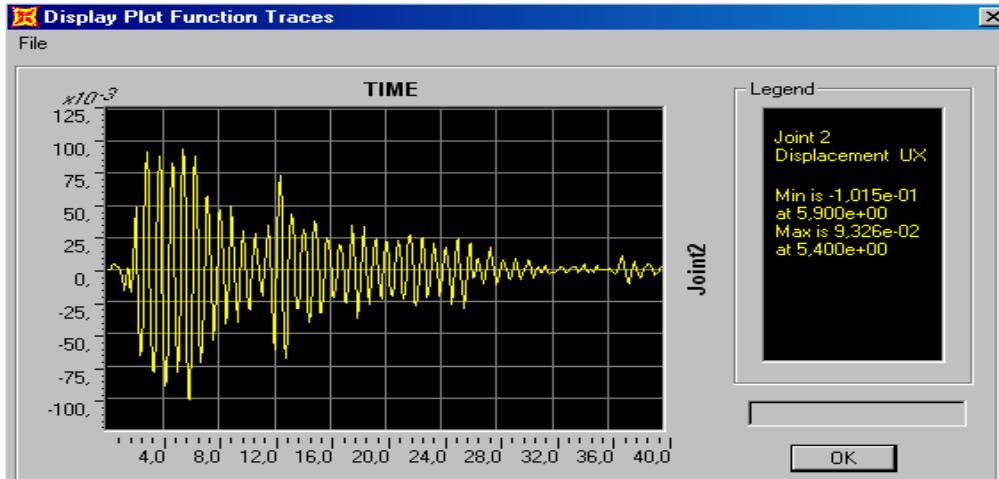
Prikažaćemo dva grafika . Prvi daje zavisnost pomeranja čvora 2 na spoju prvog stuba i glavnog nosača funkciji vremena , a drugi daje zavisnost pomeranja čvora 4 na spoju drugog stuba i glavnog nosača funkciji vremena .

Iz prikazanih rezultata vidimo da je:

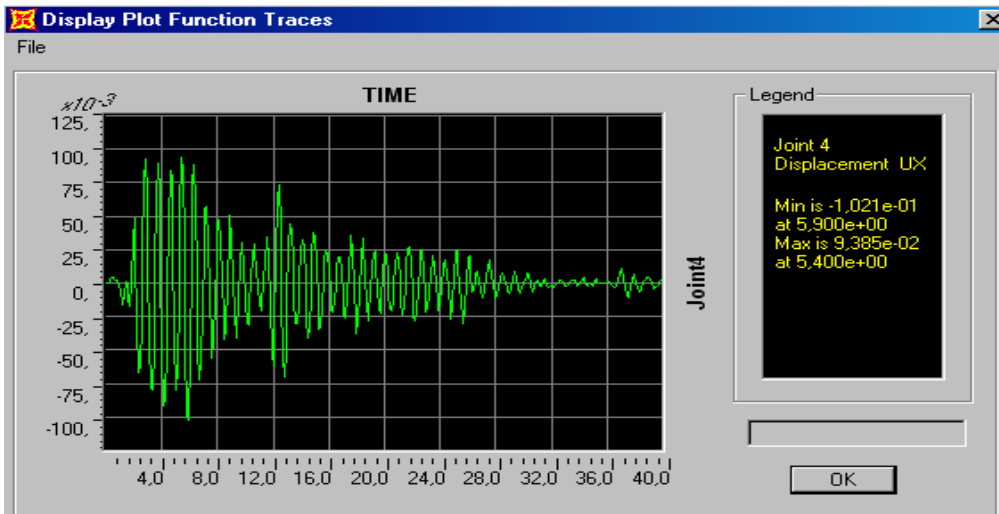
MAX U[cm]		MAX M[kNm]	
STUB1	STUB2	STUB1	STUB2
10,15	10,21	13271	2158



slika II.6e



slika II.6f

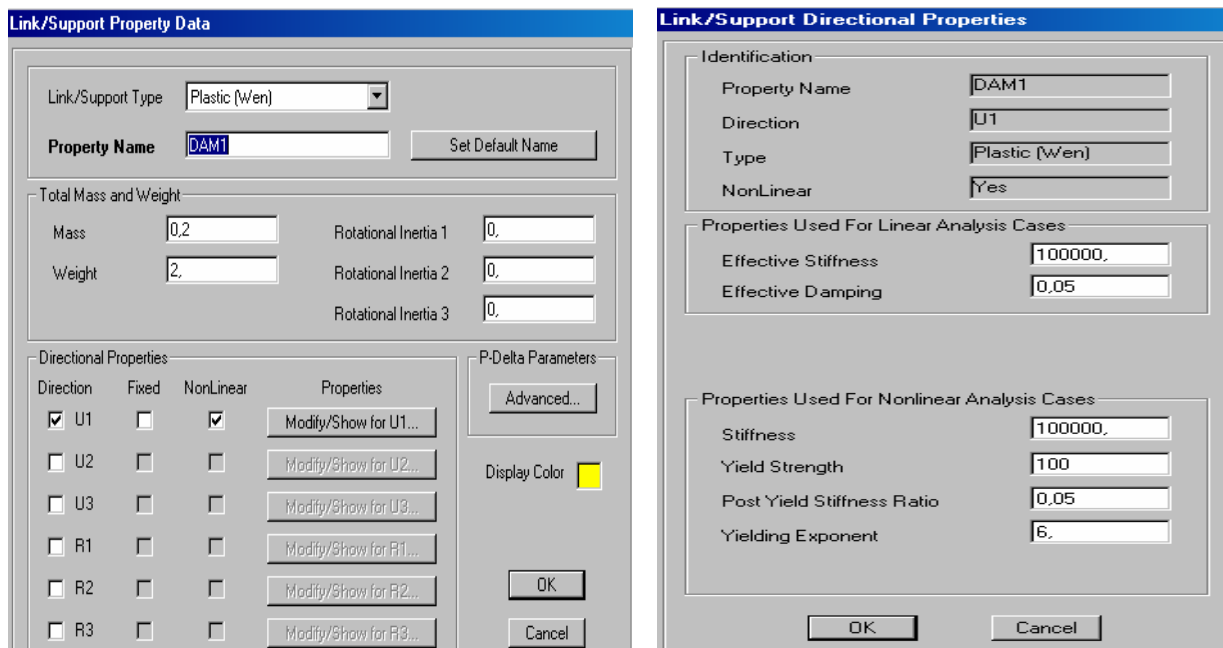


slika II.6g

7) Sada ćemo posmatrati ponašanje ovog modela ojačanog damperima prilikom dejstva zemljotresa.

Preko opcije **Lock/Unlock Model** vraćamo se u stanje za unošenje i promenu podataka.

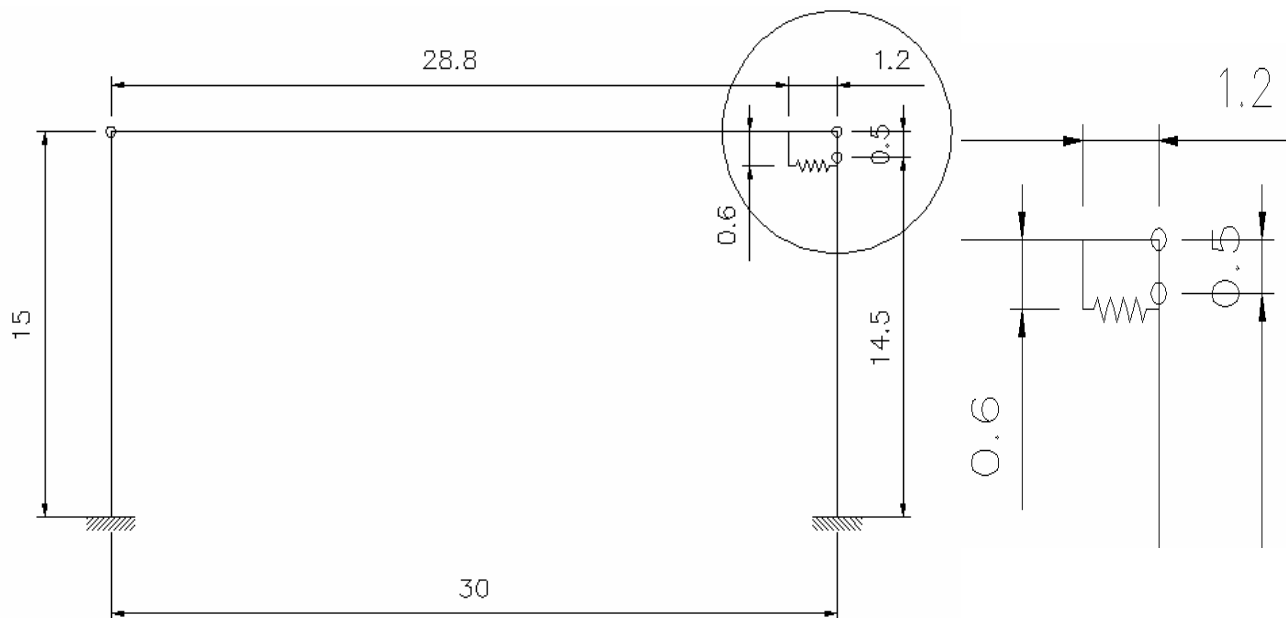
Define / Link/Support Properties , Add New Property definišemo link sa karakteristikama dampera :



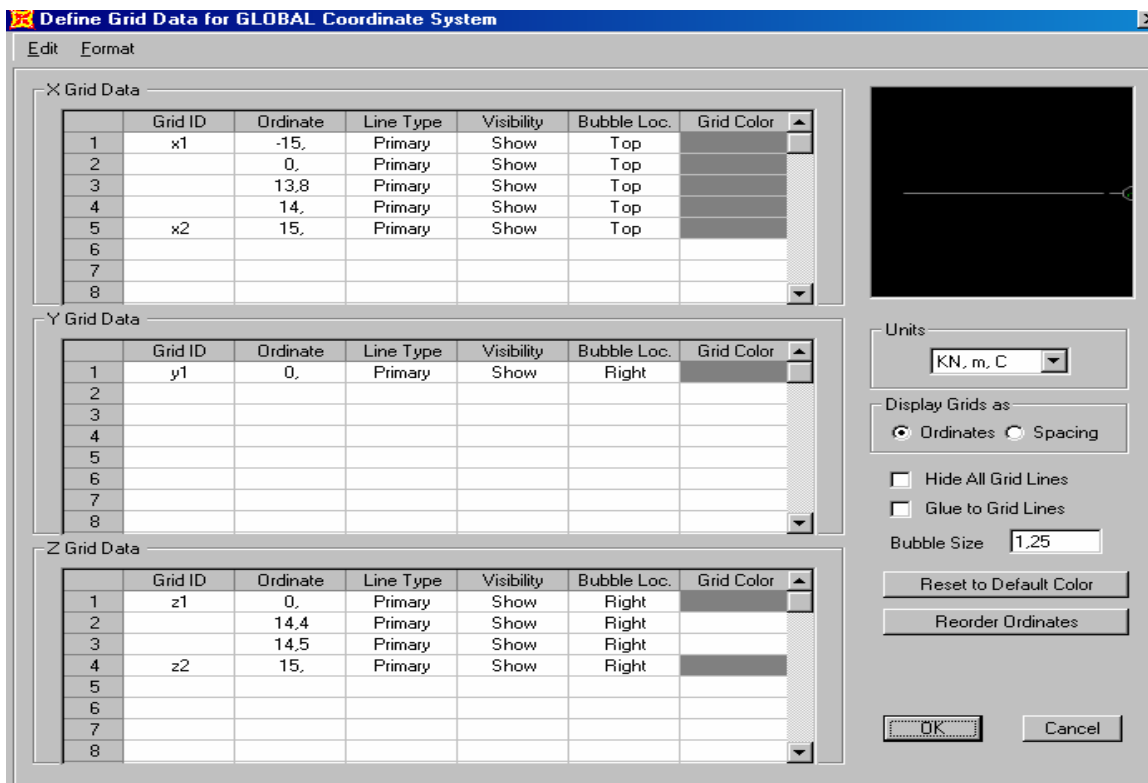
slika II.7a

slika II.7b

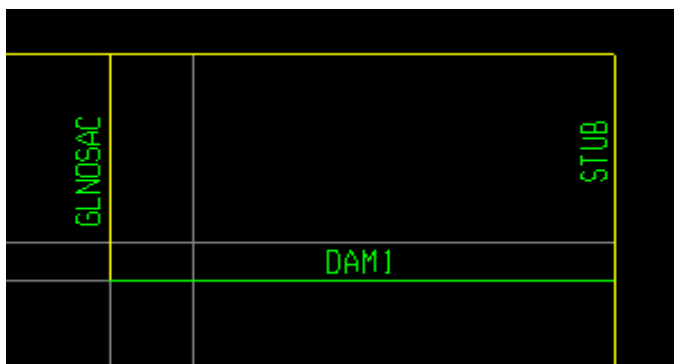
Link na konstrukciji ucrtavamo na isti način preko opcije **Draw / Draw 2 Joint Link** i izborom DAM1 sa ponuđene liste linkova.



Da bi što lakše zadali nove elemente – link i vezu linka za glavni nosač koristimo opciju **Edit Grid Data / Modify/Show System**

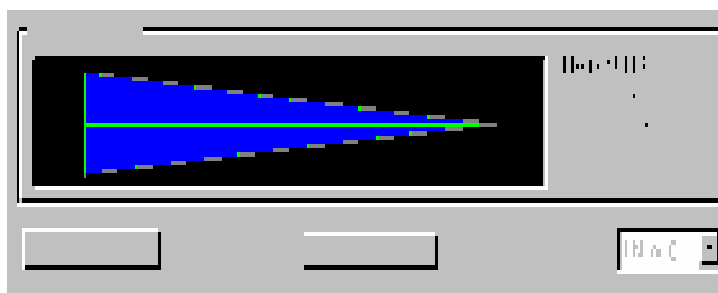


slika II.7c



Veza linka za glavni nosač mora biti dovoljne krutosti da bi njegovo dejstvo došlo do izražaja.

slika II.7d

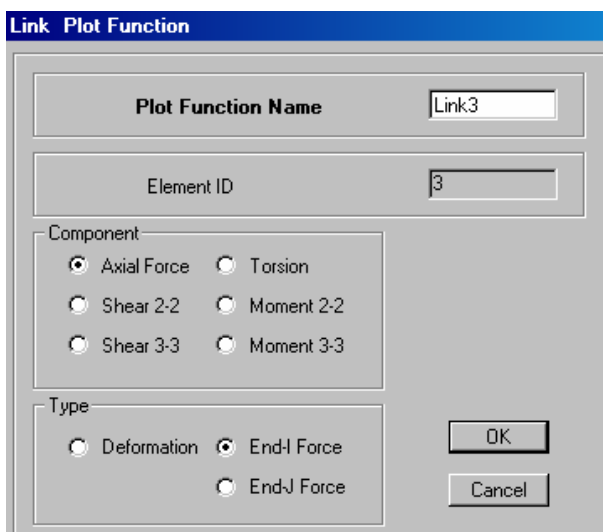


Analyze / Set Analysis Cases To Run / Run Now puštamo u proračun izmenjen model. **Display / Show Forces/Stresses / Frames/Cables** i desnim klikom na prvi opterećeniji stub dobijamo prikaz novih vrednosti sila .
slika II.7e

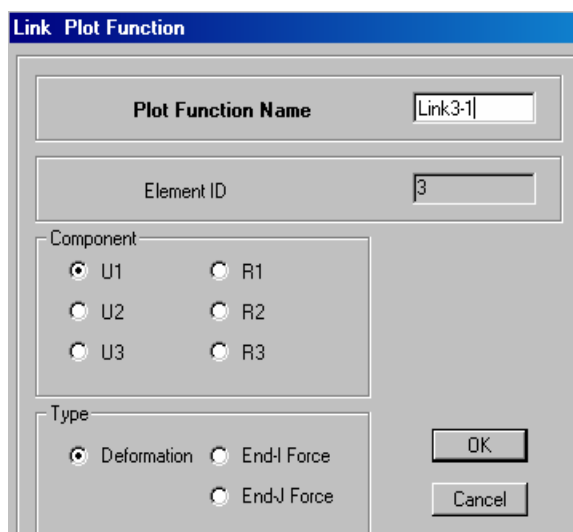
Display / Show Plot Functions

Define Plot Functions , Choose Function Type to Add , Add Link

Forces/Deformations za linkove. Sada je potrebno pored funkcije za vrednosti sila u linku LINK3 da definišemo i funkciju pomeranja u pravcu linka LINK3-1.

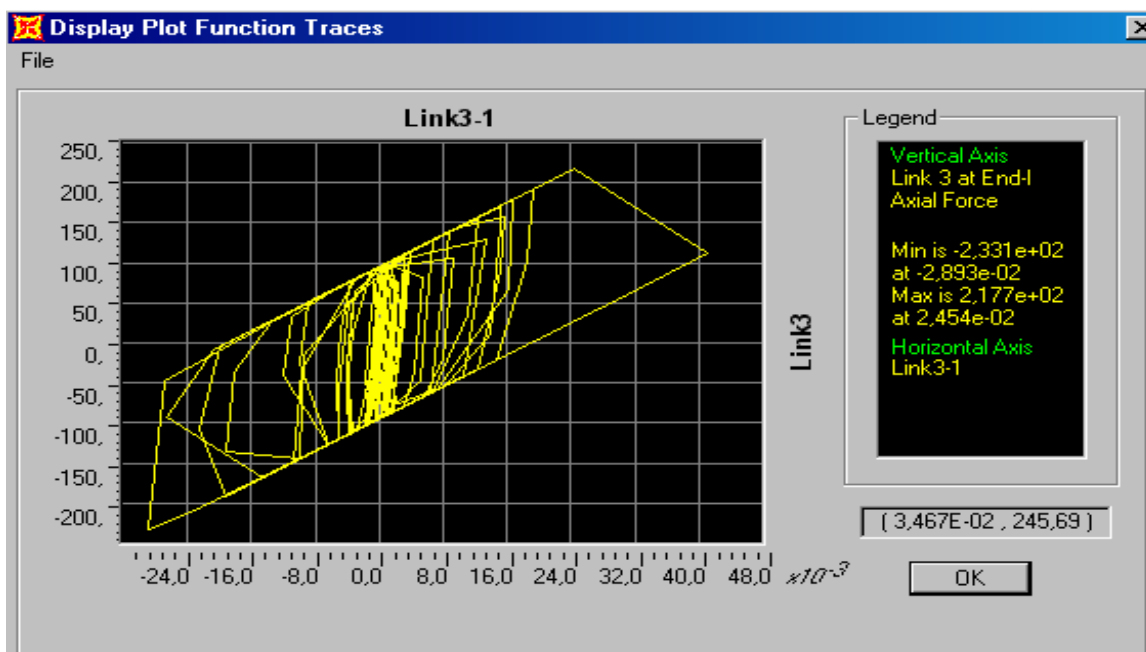


slika II.7f



slika II.7g

Sada možemo ponovo prikazati grafike koji su nam od značaja .kao što je zavisnost sile u damperu LINK3 i pomeranje u pravcu linka LINK3-1.



slika II.7g

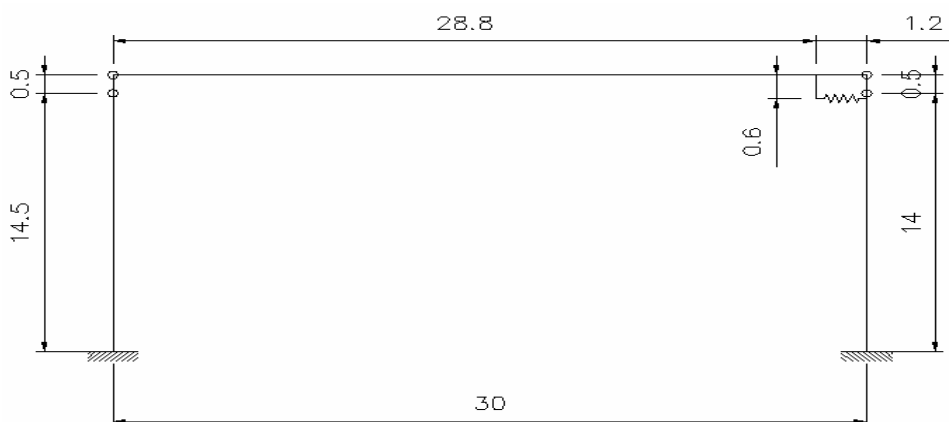
Variranjem sile u linku , za krutost od 50 000 kN/m , 100 000 kN/m i 200 000 kN/m i očitavanjem odgovarajućih sila i pomeranja u stubovima dobijamo sledeću tabelu:

Zavisnost pomeranja i momenata u stubovima od karakteristika dampera		$m_{\text{dodatno}}=600\text{kN}$		$m_{\text{kolovozne ploče}}=270\text{kN}$	
		MAX U[cm]		MAX M[kNm]	
K=50000kN/m		STUB1	STUB2	STUB1	STUB2
bez DAMPERA		10,15	10,21	13261	2156
S[kN]	50	6,92	6,95	9042	3218
	100	6,5	6,53	8501	4148
	200	6,58	6,59	8601	6778

Zavisnost pomeranja i momenata u stubovima od karakteristika dampera		$m_{\text{dodatno}}=600\text{kN}$		$m_{\text{kolovozne ploče}}=270\text{kN}$	
		MAX U[cm]		MAX M[kNm]	
K=100000kN/m		STUB1	STUB2	STUB1	STUB2
bez DAMPERA		10,15	10,21	13261	2156
S[kN]	100	6,48	6,51	8467	4368
	200	6,49	6,52	8487	6597
	300	6,96	6,98	9102	8634

Zavisnost pomeranja i momenata u stubovima od karakteristika dampera		$m_{\text{dodatno}}=600\text{kN}$		$m_{\text{kolovozne ploče}}=270\text{kN}$	
		MAX U[cm]		MAX M[kNm]	
K=200000kN/m		STUB1	STUB2	STUB1	STUB2
bez DAMPERA		10,15	10,21	13261	2156
S[kN]	100	6,56	6,6	8578	5757
	200	6,65	6,66	8693	7122
	300	7,06	7,07	9226	8819

8) I za statički sistem mosta sa dva pokretna oslonca ukrućena linkom kao na slici urađena je analiza zavisnosti pomeranja i momenata u funkciji karakteristika dampera.



Na isti način kao u prethodnom slučaju definišemo pokretni oslonac kao kratki pendel .

Zavisnost pomeranja i momenata u stubovima od karakteristika dampera (2 pokretna oslonca + damper)		$m_{\text{dodatno}}=600\text{kN}$		$m_{\text{kolovozne ploče}}=270\text{kN}$	
K=50000kN/m		MAX U[cm]		MAX M[kNm]	
		STUB1	STUB2	STUB1	STUB2
bez DAMPERA					
S[kN]	50	6,68	6,67	2165	2849
	100	5,5	5,49	2165	3339
	200	6,08	6,06	2165	4431

Zavisnost pomeranja i momenata u stubovima od karakteristika dampera (2 pokretna oslonca + damper)		$m_{\text{dodatno}}=600\text{kN}$		$m_{\text{kolovozne ploče}}=270\text{kN}$	
K=100000kN/m		MAX U[cm]		MAX M[kNm]	
		STUB1	STUB2	STUB1	STUB2
bez DAMPERA					
S[kN]	100	6,55	6,53	2165	4336
	200	5,98	5,96	2165	5114
	300	6,75	6,72	2165	6384

Zavisnost pomeranja i momenata u stubovima od karakteristika dampera (2 pokretna oslonca + damper)		$m_{\text{dodatno}}=600\text{kN}$		$m_{\text{kolovozne ploče}}=270\text{kN}$	
		MAX U[cm]		MAX M[kNm]	
K=200000kN/m		STUB1	STUB2	STUB1	STUB2
bez DAMPERA					
S[kN]	100	7,74	7,71	2165	6501
	200	6,93	6,9	2165	6590
	300	7,01	6,97	2165	7214

Očigledno je da primenom dampera dolazi do ravnomernije raspodele momenata u stubovima, kao i smanjenja maksimalnih pomeranja na vrhu stuba .

1) U prvom slučaju kod sistema koji je krući , sa jednim pokretnim osloncem i damperom , primećujemo da variranje krutosti za određene vrdnosti sili u linku (100kN ,200kN) utiče manje na rezultate nego u drugom slučaju .

Za vrednost od $K=50\ 000\ \text{kN/m}$ i $S=50\text{kN}$ još uvek postoje neravnomernosti u rasporedu momenata , za vrednost od 100kN dobijaju se minimalna pomeranja , a za veće vrednosti sile sistem je krući , navlači veće momente a damper radi slabije .

Za vrednost od $K=100\ 000\ \text{kN/m}$ i $S=100\text{kN}$ se dobijaju se minimalne vrednosti pomeranja i momenata a za $K=200\ 000\ \text{kN/m}$ sistem je krući i dobijaju se veće vrednosti momenata i pomeranja.

Primećujemo da povećanjem sile u linku , momenat u prvom stubu prati promenu pomeranja , dok momenat u drugom stubu samo raste u dosta većem priraštaju.

2) Za 2. sistem koji je labilniji očigledno je da je su momenti dosta manji ,a momenat u 1. stubu je konstantan i iznosi oko 25% momenta u 1. slučaju . Sada su pomeranja nešto veća u 1. nego u drugom stubu . Ovde se dobija povoljnije rešenje sa manjom krutošću ali za određenu vrednost sile u linku .

Kručem sistemu potrebna veća krutost linka za povoljnije ponašanje pri dinamičkom opterećenju ali sila u linku treba da se poveća do određene granice . Ovo ponašanje je karakteristično za sisteme gde je masa koja učestvuje u radu konstrukcije prilikom zemljotresa u nivou linka značajna u odnosu na masu cele konstrukcije (u našem primeru masa jednog stuba oko 400 kN ,a masa glavnog nosača 500 kN i pridodata masa od 870kN).

U slučaju kule masa i krutost same konstrukcije je velika pa je potrebna mala krutost linka da bi masa ,koja je oko 5% mase same k-je ,dodata pri vhu i vezana sa damperom imala efekta na smanjenje momenata i pomeranja.

