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) Definisanje geometrije modela

Model se definiše na počeku 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 dijalog prozoru *New model* (sl 2.1) biramo jedinice u kojima cemo 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 moze 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.

Dinamična nelinearna analiza konstrukcija SISTEMA DC90 u realnom vremenu

K SAP2000 - (Untitled)	_ & ×
Elle Edit View Define Bridge Dpaw Select Assign Agalyze Display Design Options Help	
□ ● 目後 ハロ / 当 ・ 戸戸戸の2 四林 31 0 0 0 0 0 0 4 + 12回 2 - 11 - 回・	*
	nh\.
k 🗮	_ 🗆 ×
*	
2D Frames	
X C2D Farms Tame Control Farms Dimensione	
Forts Number of Stoker, 7 Story Height, 144	
Number of Bars 2 Bar Width 233	
Use Dution Bild Spacing and Looste Origin Ed: Cord.	
Sector Properties	
Beans W19/05	
Column W18435	
N 4	
H Redaints OK Cancel	
ir .	
×	
4	
Part.	
	Kp.in.f -
📲 Start 🕅 🖄 🍘 🎽 🧸 S. 📑 2. KUPCI 💭 1. RUDIS 🛛 💭 2. IRAN	‴] 🚉 « 🎲 16:21

sl 2.2 Definisanje geometrije ramova sa ponuđenim geometrijskim karakteristikama materijala

Grid Da	ia						_
	Grid ID	Specing	Line Type	Vinibility	Bubble Loc	Grid Color 🔺	
1	at .	6	Primary	Show	Tap		
2	=2	6	Primary	Show	Tap		
3	a3	6	Primary	Show	Tap		
4	=4	6	Primary	Show	Tap		
5	-6	0	Primary	Show	Tap		
6							
7							
8						*	
Réd Da	4						
							- Units
	Grid1D	Spacing	Line Type	Vinibility	Bubble Loc.	Grid Color 🔺	KN m C
1	J1	û	Primary	Show	Right		hout of a local
2							- Director Gride as
3							Copyright and the
4							C Ordinates (# Spacin
5							-
6							Hide All Grid Lines
7							Blue to Grid Lines
8						*	
End Da	ta						Bubble Size 1.25
	GridID	Specing	Line Type	Vinibility	Bubble Loc.	Grid Color 🔺	Beret to Delault Colo
1	:1	3	Primary	Show	Right		
2	#2	3	Primary	Show	Fight		Fleorder Dirchnoles
3	z3	0	Primary	Show	Fight		
4							Locale System Origin.
5							
6							
7							OK Eano

sl 2.3 Define Grid Data prozor za unos proizvoljnog rastera ramova

3) Definisanje poprečnih preseka

Poprečni preseci 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 *Assigh/Frame/Frame Sections* kad se otvara prozor na slici 2.4. Mogu se definisati proizvoljni poprečni preseci kao i proizvoljni materijali i njihove osobine koje se mogu korigovati u zavisnosti od slučaja (čelični profili, armirano betonski poprečni preseci...). Opcijom *import* se unose već definisani poprečni preseci dok opcijom *add* unosimo proizvoljni preseci. 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 dijalog 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 zeljeni 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 trazličitim pravcima.

≆ ⊒ 59 n ∩ 1 ∰	• ### #	PR	9 11 3d	юнан - Стар Ф	♦ Ri I N .	I • = -]n77+2+
3-D View				. ioixi 📕 x-z Pl	ane @ Y=0		
	Link/Su	oport	Proper	rty Data			
	chine, ou	e persona	er rope				
	Live/Sup	out Type	Plantic (w)	en 💽			
	Property	Name	Danpe	Plaite	Set Default Name		
	TetalMatt	and Weig	Hook				
	Mani	1	0 Pubber Iso Friction Iso	latot Islor	in .		
	Weight	1	0 T/C Fricks	numerillinetis 2	<u>l</u> u		
	<u>_</u>			Rotational Inertia 3	Ki la		
1	Disational	Pequeter	Tractoricity	ancost:	PDella Parameters		
	L UT	17	T	-LWORPETHERE OF TH	Advanced		
1	r uz	-	1	mpHattipackyT15	Develop Codes		
	F U3	100	10	Winter Street March 1		245	100
V/	TE RI	10	100	Voto town with			
	F RZ	E	E.	- work there every	DE		
X	(T R3	-	1	ange grappe by the	Cancel		
	-			1001			

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

Link/Support Di	rectional Prope
- Identification	
Property Name	LSP1
Direction	U1
Туре	Plastic (Wen)
NonLinear	Yes
Properties Used For Linear.	Analysis Cases
Effective Stiffness	0
Effective Damping	0,
Properties Used For Nonline	ear Analysis Cases
Stiffness	U,
Yield Strength	0,
Post Yield Stiffness Ratio	0,
Yielding Exponent	2,
OK	Cancel

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 definsane linkove oni se jednostavno docrtaju na model koji se nalazi u jednom od dva ponudjena pogleda bilo da je ravanski ili prostorni pogled prikazano na slici 2.9. Docrtavaju se opcijom *Draw 2 Joint Link* iz menija *Draw* i odabirom alatki za selektovanje od čvora do čvora (Points and Grid Interesections)



sl 2.9 Postupak crtanja linkova na definisanom modelu

	oints and Grid Intersection	s
- •	Properties of Obje	ect 🔀
	Property	damper
	XY Plane Offset Norma	l 0,
	Drawing Control Type	None <space bar=""></space>
•		
~~~	Plana @Y=0	

sl 2.10 Podešavanje alatki za selktovanje pri crtanju linkova

Link/Support	Properties
Properties damper LIN1 LSP1	Click to: Add New Property Modify/Show Property Delete Property OK Cancel

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 slucajeva 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 difoltu 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 perid oscilovanja u opciji *Ecc.Ratio* (Tip zemljotresa u oblasti  $\Delta$ T=0.05s).

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

# Dinamična nelinearna analiza konstrukcija SISTEMA DC90 u realnom vremenu

🕱 SAP2000 - (Untitled)	_  &  ×
Elle Edit View Define Bridge Draw Select Assign Analyze Dis	play Design Options Help
🚺 🖬 🗑 🎗 ကေက 🖊 🍈 ၊ 🖉 🖉 🖗 🖓 🕅 🕅 3d ဟု ကားအု	* * (* 6* 6 4 18 10 名。 王・国・、
	「口江道・」・
🙀 📕 3-D View	X-Z Plane @ Y=0
<u>x</u>	
·	
X Define Loads	
E last	. Tisk Ta
Self Weight	Auto Add New Load
Coolinatie Type Product	Chirese 2002  Modify Load
DEAD DEAD 1     dima302     DUW3E     U	Chinese 2002
A	Data Lord
NR FOR THE REAL PROPERTY OF TH	OK
	Lancel 21 ZA
*	
* &	
*	
XZ Plane @ Y=0	
	2 184N ************************************

sl 4.3 Define Loads prozor za unos zemljotresnog opterećenja

Chinese 2002 Seismic Loadir         Load Direction and Diaphragm Eccentricity             Global X Direction             Global Y Direction             Global Z Direction             Colobal Z Direction             Colobal Z Direction             Colobal Z Direction             Cock Ratio (All Diaphragms)             Override Diaph. Eccentricities             Direction             Time Period             Oregram Calc             User Defined             Direction Range             Max Z         Se,             Min Z	Seismic Coefficients Max Influence Factor, AlphaMax Seismic Intensity, SI Damping Ratio Characteristic Ground Period, Tg Period Time Discount Factor, PTDF Enhancement Factor OK Cancel	0.05 0.4 1.
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

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

Analysis Case Name ACASE1 Set Def Name	Analysis Case Type	
nitial Conditions C Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State C Continue from State at End of Modal History Important Note: Loads from this previous case are included in the current case	Analysis Type C Linear Nonlinear Time History Motion	Time History Type Modal Direct Integration Type
Modal Analysis Case Use Modes from Case MDDAL	C Periodic	U static
Load China2002 FUNC1 1	Add Modify Delete	
Show Advanced Load Parameters		
Show Advanced Load Parameters      Ime Step Data     Number of Output Time Steps     Output Time Step Size     O.1		

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 opterećejne 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 slucaj 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 izvšiti 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 Ux,Uz i Ry, a zatim *Set Analysis Cases to Run*. Tada se otvara prozor prikazan na slici 5.1 gde označimo slučajeve opterećenja koje želimo da nanesemo 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 deformosanu 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 kakv 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 premi slici 5.3. Takođe postoji i opcija *Define Plot Function* gde u padajućem meniju *Choose Functin 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 difoltu 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

# Dinamična nelinearna analiza konstrukcija SISTEMA DC90 u realnom vremenu

8 SAP2000 - predlog		_ @ ×
Elle Edit View Define Dow Select Assign Applyze Disp	over, e e 24 m v • I + m • • In	<b>лн</b> .,
Plot Function Trace Display Defin	MX-Z Plane @ Y=Ω nition	X
Analysis Case (Multi-strapp	Tare Flange From 0 Peset Debudy To 90 Ass: Flange Overside Hosportal Vestical Variant	
Selected Plot Function Line Options	GridOvelay     SaveNared Set     Display     Dise	
Pope Clair on any perifer deplacement value:	Stat Annuation 💌 💌	» 🔤 « 14:00

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)

	Joint Plot Function
Plot Functions	Plot Function Name
Plot Functions Choose Function Type to Add	Joint ID 3
Add Load Functions Add Load Functions (Add Base Functions Add Base Functions Add Joint Disps/Forces Add Fine Forces Modify/Show Plot Function	Vector Type Displ     C Abs Displ     C Vel     C Abs Vel     C Accel     C Spring Force C Reaction
Delete Plot Function	Component O UX C RX O UY C RY C UZ C RZ Cancel

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 pojaviće 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 Tabels to/Excel*.

As Noted Joint Text 1 2 3 4 5 6 6 7 8 9 10 11 12	U1 KN-s22m ,07824 ,31 ,23 ,07824 ,47 ,39 ,07824 ,47 ,39 ,07824 ,47 ,39 ,07824 ,47 ,39 ,07824 ,47 ,39	U2 KN-s2/m .07824 .31 .23 .07824 .47 .39 .07824 .47 .39 .07824 .47 .39 .07824 .47 .39 .07824 .47 .39 .07824 .39	U3 KN-s2/m .07824 .31 .23 .07824 .47 .39 .07824 .47 .39 .07824 .47 .39 .07824 .47 .39 .07824 .39	F KN-m-	Assemble Assemble Base Re Element Uomt Dis Joint Re- Modal Lo Modal P. 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	ed Joint Masses ed Joint Masses Forces - Frames Joint Forces - Fra actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions actions act	Ratios Ratios 0 0 0 0 0 0 0 0 0		•
13	,07824	,07824	,07824		0	0	0		
15	.23	.23	23		U	0			

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 dijagramo 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 koristićemo kombinaciju kN,m,C.

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

📕 SAP2000 - (Unitled)	. 0 ×
Ele Ede Yess Detres Bartys Davis Select Analysis Display Design Dations Help	
●@ ■愛 ロロ / 白 / 身身身身身 臣非 回りススロウボ キチ 院園 谷・  エイ属・・  に行動へ	
	LO X
20 Fames	
20 Fiane Type Potal Frane Dimensions	
Pana Number of Stoles 1 Stoley Height 3.	
Nunber of Bays 3 Bay Width 3	
Line Durters Bill Spacing and Locate Divin 500 DV	
Section Properties	
Bears W18/35	
Column Jurgers	
Restaints     DK     Cancel	
P	
9	
Peady >>0.00 Y0.00 20.00 CLOB4L 2	KN, n, C 🛛 💌
🖉 Start 🛛 🐨 🔣 👙 👃 🥪 👋 🦉 SAP2000 🧏 CoreDRA. 🔛 D.N.R.RAZ 🔛 F.N.PREVODI 🕑 pixonk SA 🖻 Document I 🛛 2 KUPCI 🎽 🖪 🗞 🤨	S 🚯 15.47
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

Design Type	
Column	🔿 Beam
Configuration of Reinforceme	nt
Rectangular	C Circular
_ateral Reinforcement	
<ul> <li>Ties</li> </ul>	O Spiral
Rectangular Reinforcement-	
Cover to Rebar Center	0,05
Number of Bars in 3-dir	3
Number of Bars in 2-dir	3
Bar Size	100 💌
Check/Design	
C Reinforcement to be C	hecked
Reinforcement to be D	esigned
TIK TIK	Cancel

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.



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:

karakteristike materijala - G = 230000  $\frac{kN}{m^2}$ , E = 2300000  $\frac{kN}{m^2}$ ,  $\left(\frac{G}{E} = 0.1\right)$ geometrijske karakteristike - d_z = 0.25m, b = 3m, h = 3m, F = b · d_z = 0.75m²  $\delta = \frac{h}{G \cdot F} \cdot \left(1.2 + \frac{G}{E} \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2\right) = 2.2608 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ , krutost - K =  $\frac{1}{\delta} = 44230.77 \frac{kN}{m}$ karakteristike linka - Llink=4.24m,  $\alpha = 45^\circ$ , Klink =  $\frac{K}{\cos^2 \alpha} = 88461.54 \frac{kN}{m}$  $H_u = \frac{G \cdot \varepsilon \cdot F}{h} = \frac{230000 \cdot 3.3 \cdot 10^{-3} \cdot 0.75}{3} = 189.75 \text{ kN}$ , S_u = H_u · cos  $\alpha$  = 268.34kN Weight = 0.25 · 3 · 3 · 10 = 22.5 \text{ kN} Mass =  $\frac{22.5}{9.81} = 2.29$ 

Sada ove karakteristike unosimo opcijom **Define / Link/Support Properties** Add New Property

Link/Support Property Data

Link/Supp	ort Type	Plastic (Wer	n] 💌	
Property	Name	ZID	S	et Default Name
Total Mass	and Weigl	ht		
Mass	[	2,29	Rotational Inertia 1	0
Weight	[	22,5	Rotational Inertia 2	0
			Rotational Inertia 3	0
Directional f	Properties			P-Delta Parameters
Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Advanced
🔽 U1			Modify/Show for U1	
🗖 U2	Г		Modify/Show for U2	Display Color
🗖 U3			Modify/Show for U3	
🗖 B1			Modify/Show for R1	
🗖 R2			Modify/Show for R2	OK
<b>— D</b> 2		_	Marilla Jelani (n. 199	Consel



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

#### Dinamična nelinearna analiza konstrukcija SISTEMA DC90 u realnom vremenu

Link/Support Directional Pr	operties	
Identification Property Name Direction	ZID U1	Sada izračunate kara unosimo u polje za l karakteristike:
Type NonLinear	Plastic (Wen) Yes	Klink=88461 kN/m Stiffness odnosno S
Effective Stiffness Effective Damping	88461.	Granicu tečenja Su= Yield Strength.
Properties Used For Nonline Stiffness Yield Strength	ar Analysis Cases 88461, 268,34	Odnos krutosti u ela zoni usvajamo 0 i un Effective Damping o Stiffness Ratio.
Post Yield Stiffness Ratio Yielding Exponent	0, 6,	Za eksponent kojim dijagram histerezisn usvajamo 6 i unosim Exponent.
ОК	Cancel	

slika I.2d

akteristike linka inearne i nelinearne

u polja Effective tiffness.

268.34 kN u polje

stičnoj i plastičnoj nosimo u polja odnosno Post Yield

se aproksimira og ponašanja zida no u polje Yield

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





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 koncetrisane 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  $150 \ge 4 = 600t = 5886$ kN.

Dinamična nelinearna analiza konstrukcija SISTEMA DC90 u realnom vremenu

Joint Masses	
Mass Direction	Za proveri
Coordinate System Joint Local 💌	Display / S
Masses in Local Directions	Link ,)
Direction 1 150	elementa i
Direction 2 0,	× 150.00
Direction 3 0,	
Mom. of Inertia in Local Directions	
Rotation about 1 0,	
Rotation about 2 0,	$\sim$
Rotation about 3 0,	
Options	<u></u>
Add to Existing Masses	
Replace Existing Masses	
O Delete Existing Masses	
OK Cancel	

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



## slika I.3d

**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.** 

Define Loads					
Loads Load Name	Туре	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load		Click To: Add New Load
DEAD	DEAD	1			Modify Load
ZEM	QUAKE	0	Chinese 2002	<b></b>	Modify Lateral Load
				•	Delete Load
					ŪK
					Cancel

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 , vrednosi brzine i pomeranja u u određenim vremenskim intervalima 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 ubrzajna u jednom redu – u našem slučaju 8 .

Dinamična nelinearna analiza konstrukcija SISTEMA DC90 u realnom vremenu

M MILLER OF FRIEND MARKALI		
NI MICIOSOIC EXCEL-IMPVALI	VAL1	Microsoft Excel - IMPVAL1

	<u>F</u> ile <u>E</u> dit	<u>V</u> iew <u>I</u> ns	ert F <u>o</u> rma	at <u>T</u> ools	<u>D</u> ata	ı <u>W</u> indov	v <u>H</u> elp	p Ado	<u>b</u> e PDF		
	) 🖻 🔒 🔒	3 🔁 🖨	🗟 💞	X 🖻	<b>a</b> •	ダ   ю	+ Ci +		Σ • <mark>Å</mark> ↓	Z   🛍 🧍	<b>]</b> 100%
Aria	al	<b>•</b> 10	• B	ΙU	E I		9	%,	+.0 .00 0.+ 00.		- 👌 -
	M19	•	fx	_			.   -	-		· ·   -	
	A	В	C	D		E	F		G	Н	
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	3 -140		
344		-121	-96	-74	-46	-34	-42	-45	-55		
345		-63	-72	-80	-73	-52	-37	-26	-14		
346	\$	1344 POIN	ITS OF V	ELOC D	ATA E	QUALLY	SPAC	ED AT	0.04 SE	C. (UNITS:	CM/SEC)
347	\$	-4.664	-4.996	-5.370	-5.84	18 -6.35	57 -6	.724	-7.247 -	-7.973	
348	\$	-8.532	-8.846	-9.150	-9.85	57 -10.1	53 -9	.890	-10.339	-11.149	
349	\$	-12.365	-13.213	-13.900	) -14.	173 -13	.612 ·	-12.535	5 -10.780	) -9.092	
350	\$	-7.956	-6.630	-4.520	-1.76	6 0.48	35 1	.747	-0.007 ·	-2.485	
351	\$	-3.529	-3.012	-0.996	2.92	2 8.64	18 13	342	16.987	20.493	
352	\$	24.588	24.977	17.380	9.5	505 2.4	486 -	4.577	-10.988	-15.291	
353	\$	-16.948	-15.460	-10.750	-2.8	319 8.0	387 2	20.939	32.323	29.878	
354	\$	22.360	17.552	16.568	5 18.	640 23	.663	23.941	16.487	7 12.156	
355	\$	11.381	5.108	-1.385	-6.3	31 -9.3	57 -10	J.465	-10.228	-12.026	
366	\$	-15.482	-17.730	-18.098	5 -16.	400 -16	.293	-16.734	-15.470	J -12.009	
357	\$	-7.935	-6.552	-3.174	2.88	1.76	50 -1.	.477	-1.206 ·	-4.153	
358	\$	-8.945	-12.191	-13.306	-15.1	103 -16.	210 -	15.985	-14.102	-13.082	

Sam fail IMPVAL1.acc modifikujemo tako što ubacujemo novu prvu kolonu i upisujemo znak \$ ispred svakog reda koji ne želimo da SAP učita 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/s² - 8 tačaka

> 2688 0.02 8 MM 1344 0.04 8 CM

538 0.10 8 CM

slika I.4c

#### po jednom redu)

Time History Function Definition



slika I.4d

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 IMVAL1
- Scale Factor 0.001 (jer je unos u mm)

Treba izračunati vreme trajanja zemljotresa, u našem slučaju 2688 x 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 Name ZEM Set Def Name	Analysis Case Type Time History
Initial Conditions	Analysis Type Time History Type
Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State	🔿 Linear 💿 Modal
C Continue from State at End of Modal History	] 💿 Nonlinear 🔹 🔿 Direct Integratio
Important Note: Loads from this previous case are included in the	Time History Motion Type
current case	Transient     C Static
Modal Analysis Case	
Use Modes from Case MODAL 💌	
Loads Applied	
Accel U1 IMPVAL1 1,000E-03	Add Modify Delete
Accel     U1     IMPVAL1     1,000E-03       Accel     U1     IMPVAL1     1,000E-03       Show Advanced Load Parameters     Show Advanced Load Parameters	Add Modify Delete
Accel     U1     IMPVAL1     1,000E-03       Accel     U1     IMPVAL1     1,000E-03       Show Advanced Load Parameters     Time Step Data     Time Step Data	Add Modify Delete
Accel       U1       IMPVAL1       1,000E-03         Accel       U1       IMPVAL1       1,000E-03         Show Advanced Load Parameters       Show Advanced Load Parameters       400	Add Modify Delete
Load Type     Load Name     Punction     Scale Pactor       Accel     U1     IMPVAL1     1,000E-03       Accel     U1     IMPVAL1     1,000E-03       Show Advanced Load Parameters     Impound     1       Time Step Data     Mumber of Output Time Steps     400       Output Time Step Size     0,1	Add Modify Delete
Load Type       Load Name       Function       Scale Factor         Accel       U1       IMPVAL1       1,000E-03         Accel       U1       IMPVAL1       1,000E-03         Show Advanced Load Parameters       Impound       1         Time Step Data       400         Output Time Step Size       0,1         Other Parameters       0,1	Add Modify Delete
Load Type       Load Name       Function       Scale Pactor         Accel       U1       IMPVAL1       1,000E-03         Accel       U1       IMPVAL1       1,000E-03         Show Advanced Load Parameters       Import Step Data       400         Number of Output Time Steps       0.1         Other Parameters       0.1         Other Parameters       Modal Damping	Add Modify Delete

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.



Display/ShowUndeformedShape-uaktivnom prozour vraćamo senanedeformisanoblikmodela-

slika I.6a

- 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.

Member Force Diagram for Frames	
Case/Combo Case/Combo Name ZEM	
Multivalued Options C Envelope (Range) Time	slika I.6c
Component C Axial Force C Torsion C Shear 2-2 C Moment 2-2	Desnim klikon na elmente rama dobijamo deteljniji prikaz presečnih sila po dužini
Shear 3-3     Moment 3-3     Scaling     O Auto     Scale Factor	Design of the second distribution     End Largeh Officer (Location)       Come     ZEM       barrs     [social (P and T)]       Num/Min Env     [social (P and T)]       About the 2       0000000 n       (Location)       (Location)
Uptions       OK         Image: Fill Diagram       OK         Image: Show Values on Diagram       Cancel         Image: Show Deformed Shape       Cancel	Fiscalant Asial Focus 200,479KN a QUDRA m Fiscalant Toebor Toebox
slika I.6b	Reset to I nikel Units Done Units (NJ, m, C )



slika I.6d

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.

Plot Functions		Link Plot Function	
Plot Functions	Choose Function Type to Add	Plot Function Name	Link4
Link4 Input Energy	Add Load Functions	Element ID	4
	Add Energy Functions Add Joint Disps/Forces Add Frame Forces Add Link Forces/Deformations Modify Multiple Plot Functions	Component C Axial Force C Torsion C Shear 2-2 C Moment 2-2 C Shear 3-3 C Moment 3-3	
	Delete Plot Function OK Cancel	Type C Deformation © End-I Force © End-J Force	OK Cancel

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.



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

Iz prikazanih rezultata vidimo da je:

maksimalna sila u stubu - maxN = 225kN;maksimalni momenat u stubu maxM = 87kNm maksimalno pomeranje vrha stuba maxU = 4.65cm

7) Sada ćemo posmatrati ponašajne 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 definisemo link sa karakteristikama dampera :

Link/Support F	property	Data			Link/Support Direction	nal Properties
					Identification	
Link/Supp	ort Type	Plastic (Wer	1) 🔽		Property Name	DAMPERMIONICA
Propertu	Namo	DAMPERMI		et Default Name	Direction	U1
riopenty	name	Jerson er om			Туре	Plastic (Wen)
Total Mass a	and Weigh -	nt	_		NonLinear	Yes
Mass	ļ	0,1	Rotational Inertia 1	0,	Properties Used For L	inear Analysis Cases
Weight	Γ	1,	Rotational Inertia 2	0,	Effective Stiffness	99418,
			Rotational Inertia 3	0,	Effective Damping	0,05
Directional P	roperties			P-Delta Parameters		
Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Advanced		
🔽 U1			Modify/Show for U1		- Properties Used For N	Jonlinear Analusis Cases
🗖 U2	Γ	Г	Modify/Show for U2	Display Color	Chillines	99418.
<b>□</b> U3	Г	Г	Modifu/Show for U.S.,		Sumess Vield Chevreth	99.3
		_	Modify/Onormal Coll.			0.05
		_	Modity/Show for HT		Post Yield Stiffness	: Hatio 10,05
□ R2		F	Modify/Show for R2	UK	Yielding Exponent	Б,
🗖 R3			Modify/Show for R3	Cancel		
						Cancel

slika I.7b

slika I.7a

i desnim

novih

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

Diagrams for Frame Object 1 (STUB)	End Length Offset (Loc I-End: Jt: 1 0,00000 m (0,00000 m) J-End: Jt: 2 0,00000 m (3,00000 m)	ation) Display Options © Scroll for Values © Show Max Location [0.00000] m	Display / Show Forces/Stresses / Frames/Cables i d klikom na prvi najopterećeniji stub
Resultant Axial Force		Axial 209,918 KN -206,852 KN at 0,00000 m	dobijamo prikaz nov vrednosti sila .
Resultant Torsion		Torsion 0,0000 KN-m 0,0000 KN-m at 0,00000 m	
Reset to Initial Units	Done	Units 🔣 KN, m, C 💌	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

ink Plot Function		
Plot Fu	nction Name	Link1 U1
Elemen	t ID	1
Component		
O U1	O R1	
O U2	O R2	
O U3	O R3	
<b></b>		
Гуре		
<ul> <li>Deformation</li> </ul>	C End-I Force	UK
	○ End-J Force	Cancel

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.





#### Dinamična nelinearna analiza konstrukcija SISTEMA DC90 u realnom vremenu



slika I.7g





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

2D Frames		
2D Frame Type Portal	Portal Frame Dimensions         Number of Stories         Number of Bays         Use Custom Grid Spacing and Locate Origin         Edit         Section Properties         Beams         W18×35         Columns         W18×35	ory Height 15 Ray Width 30 Grid
Restraints	OK Cancel	

sl II.1a

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

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

Z Grid Da	ta					
	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						Ē

Sada smo u mogućnosti da definšemo 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.



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.





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

Rectangular Section	Reinforcement Data
Section Name     STUB       Properties     Property Modifiers       Section Properties     Set Modifiers       Dimensions     Depth (13)       Umain of the section of the sec	Reinforcement Data         Design Type         © Column       © Beam         Configuration of Reinforcement         @ Rectangular       © Circular         Lateral Reinforcement         @ Ties       © Spiral         Rectangular Reinforcement         Cover to Rebar Center       0,05         Number of Bars in 3-dir       8         Number of Bars in 2-dir       10
	Bar Size 250
Display Color Display Color	Check/Design C Reinforcement to be Checked Reinforcement to be Designed Cancel
sl II.2a	sl II.2b

Dinamična nelinearna analiza konstrukcija SISTEMA DC90 u realnom vremenu

Section Name	GLNOSAC	
Properties Section Properties	Property Modifiers Set Modifiers	Material CONC
Dimensions Outside height (t3)	2,4	2
Top flange width (t2)	0,6	
Top flange thickness(tf)	0,3	
Web thickness(tw)	0,2	
Bottom flange width (t2b)	0.3	
Dottom hange thickness ( trD )		Display Color
	OK Car	ncel



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

GLNOSAC	
	5
	9
	L IS

sl II.3a

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



U polju Line Mass/Length unosimo 3(3x9.81 = 29kN ),tako da je ukupna masa 3 x 30 = 90t =870kN **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

Function	n Name	IMPVAL1	
Function File File Name C:\program files\computers and structure 9\time history functions\123\impval1.acc Header Lines to Skip Prefix Characters per Line to Skip	Browse	es are: Time and Function Values Values at Equal Intervals of nat Type Free Format Fixed Format	0,02
Number of Points per Line 8 Convert to User Defined Vie Function Graph	ew File	Characters per Item	-
Display	Graph	6,1285 , -95,6021 )	

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** IMVAL1
- 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 Set Def Name	Analysis Case Type Time History	
Initial Conditions	Analysis Type	Time History Type
Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State	C Linear	Modal
C Continue from State at End of Modal History	Nonlinear	C Direct Integration
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case	- Time History Motion	Туре
	Transient	C Static
Modal Analysis Case Use Modes from Case MODAL	C Periodic	
Show Advanced Load Parameters  Time Step Data	 Delete	
Number of Output Time Steps 400		
Output Time Step Size		
Other Parameters		
Modal Damping Constant at 0,05 Modify	/Show	<u> </u>
Nonlinear Parameters Default Modify	//Show	Cancel

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.

	U1 = .1021 U2 = 0 U3 = 4.305E-18 R1 = 0 R2 = .21223 R3 = 0	Deformed Shape Case/Combo Case/Combo Name
		- Multivalued Options
	<b>4</b>	Envelope (Max or Min)
		© Time 0,1 ▼
		Scaling
		Auto
		Scale Factor
Z		Options
1		🗖 Wire Shadow 🛛 🛛 🗰
L→ X		Cubic Curve Cancel
slika II.6a	1	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

- Resultant Moment		Moment M3	
		12189,1219 KN-m -13261,0405 KN-m at 0,00000 m	
Reset to Initial Units	Done	Units KN, m, C 💌	5

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 – Ux, 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

Prikazaćemo 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	
12,15	19,21	13281	2158	





7) Sada ćemo posmatrati ponašajne 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 :

Link/Support	Property	Data			Link/Support Directional Properties
					Identification
Link/Supp	ort Type	Plastic (Wer	1		Property Name DAM1
					Direction U1
Property	Name	DAM1		Set Default Name	Type Plastic (Wen)
- Total Mass	and Weigl	nt			NonLinear Yes
Mass	Γ	0,2		0,	Properties Used For Linear Analysis Cases
Weight	[	2.	 Botational Inertia 2	0.	Effective Stiffness 100000,
weight		-,	Devision Herica 2		Effective Damping 0,05
			Rotational Inertia 3	J0,	
Directional F	Properties			P-Delta Parameters	
Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Advanced	Properties Used For Nonlinear Analysis Cases
V1 🔽			Modify/Show for U1		Stiffness 100000,
🗖 U2		Γ	Modify/Show for U2	Display Color	Yield Strength 100
🗖 U3	Г	Г	Modify/Show for U3		Post Yield Stiffness Ratio 0,05
🗖 R1	Г	Г	Modify/Show for R1		Yielding Exponent 6,
E B2	Г	Г	Modifiu/Rhow for P2	ОК	
		_	אטאטאיזעראין אטאיזעראין אטאיזעראין איזעראין איזעראין איזעראין איזעראין איזעראין איזעראין איזעראין איזעראין איז		
E R3		Ľ	Modify/Show for R3	Cancel	UK Cancel
					slika IL.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

Eorr	nat							
Grid D	ata							
	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color	<b>_</b>	
1	×1	-15,	Primary	Show	Тор			
2		0,	Primary	Show	Тор			
3		13,8	Primary	Show	Тор			
4		14,	Primary	Show	Top			
5	×2	15,	Primary	Show	Тор			
6								
7								
8							<b>-</b>     <b></b>	
Grid D	lata							
							Units=	
	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color	<b>▲</b>     Γ	(NmC 💌
1	y1	0,	Primary	Show	Right			
2							– Displar	Gride as
3	_						Dispidy	
4							• Ur	dinates 🔘 Spac
5								
6	_						— — н	ide All Grid Lines
7							G	lue to Grid Lines
8							•	
Grid D	ata						Bubble	e Size  1,25
	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color	A Be	set to Default Co
1	z1	0,	Primary	Show	Right			
2		14,4	Primary	Show	Right			Reorder Ordinate
3		14,5	Primary	Show	Right			
4	z2	15,	Primary	Show	Right			
5			-		_			
6								
7							10	Car
8							<b>-</b> 1	

slika II.7c



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





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.

ink Plot Function		Link Plot Function
Plot Function Name	Link3	Plot Function Name Link3-1
Element ID	3	Element ID 3
Component C Axial Force C Torsion C Shear 2-2 C Moment 2-2 C Shear 3-3 C Moment 3-3		Component © U1 O R1 O U2 O R2 O U3 O R3
O Deformation I End-I Force C End-J Force	OK Cancel	Type © Deformation © End-I Force © End-J Force Cancel
111 77 80		

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:

Zavis stubo	snost p vima o	oomeranja i n od karakterist	m _{dodatno} =600kN	m _{kolovozne ploče} =270kN	
K=50000kN/m		MAX	U[cm]	MAX M[kNm]	
		STUB1	STUB2	STUB1	STUB2
bez DA	MPERA	10,15	10,21	13261	2156
	50	6,92	6,95	9042	3218
S[kN]	100	6,5	6,53	8501	4148
	200	6,58	6,59	8601	6778

Zavis stubo	snost p vima o	oomeranja i n d karakterist	m _{dodatno} =600kN	m _{kolovozne ploče} =270kN	
K=100000kN/m		MAX	U[cm]	MAX M[kNm]	
		STUB1	STUB2	STUB1	STUB2
bez DAMPERA		10,15	10,21	13261	2156
	100	6,48	6,51	8467	4368
S[kN]	200	6,49	6,52	8487	6597
	300	6,96	6,98	9102	8634

Zavis stubo	snost p vima o	oomeranja i n od karakterist	m _{dodatno} =600kN	m _{kolovozne ploče} ≕270kN	
K=200000kN/m		MAX	U[cm]	MAX M[kNm]	
		STUB1	STUB2	STUB1	STUB2
bez DAMPERA		10,15	10,21	13261	2156
100		6,56	6,6	8578	5757
S[kN]	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 .

Zavis	snost p	oomeranja i n	m., -600kN	m.,		
stubo (2	pokret	tna oslonca +	IIIdodatno=000KN	TTikolovozne ploče Z7 OKIN		
		MAX	U[cm]	MAX M[kNm]		
N-300		STUB1	STUB1 STUB2		STUB2	
bez DAMPERA						
	50	6,68	6,67	2165	2849	
S[kN]	100	5,5	5,49	2165	3339	
	200	6,08	6,06	2165	4431	
Zavis stubo (2	snost p vima o pokret	oomeranja i n od karakterist tna oslonca <del>i</del>	nomenata u ika dampera · damper)	m _{dodatno} =600kN	m _{kolovozne ploče} =270kN	
Zavis stubo (2	snost p vima o pokret	oomeranja i n od karakterist tna oslonca + MAX	nomenata u ika dampera • damper) U[cm]	m _{dodatno} =600kN MAX N	m _{kolovozne ploče} =270kN <b>/[kNm]</b>	
Zavis stubo (2 ^{K=1000}	snost p vima o pokret ^{00kN/m}	oomeranja i n od karakterist tna oslonca + MAX stuB1	nomenata u ika dampera - damper) U[cm] stuB2	m _{dodatno} =600kN MAX N STUB1	m _{kolovozne ploče} =270kN <b>/[kNm]</b> STUB2	
Zavis stubo ( 2 K=1000 bez DA	snost p vima o pokret ^{00kN/m}	oomeranja i n od karakterist t <u>na oslonca +</u> MAX _{STUB1}	nomenata u ika dampera - damper) U[cm] stub2	m _{dodatno} =600kN MAX N STUB1	m _{kolovozne ploče} =270kN <b>/[kNm]</b> STUB2	
Zavis stubo (2 K=1000 bez DA	snost p vima o pokret ^{00kN/m} MPERA 100	oomeranja i m od karakterist tna oslonca + MAX stuB1 6,55	nomenata u ika dampera - damper) U[cm] stub2 6,53	m _{dodatno} =600kN MAX N STUB1 2165	m _{kolovozne ploče} =270kN <b>/[kNm]</b> STUB2 4336	
Zavis stubo (2 K=1000 bez DA	snost p vima o pokret 00kN/m MPERA 100 200	oomeranja i m od karakterist tna oslonca + MAX STUB1 6,55 5,98	nomenata u ika dampera - damper) U[cm] stub2 6,53 5,96	m _{dodatno} =600kN MAX N STUB1 2165 2165	m _{kolovozne ploče} =270kN <b>/[kNm]</b> 57082 4336 5114	

Zavis stubo (2	snost p vima o pokret	oomeranja i n od karakterist tna oslonca +	m _{dodatno} =600kN	m _{kolovozne ploče} =270kN	
K=200000kN/m		MAX	U[cm]	MAX M[kNm]	
		STUB1	STUB2	STUB1	STUB2
bez DA	MPERA				
100		7,74	7,71	2165	6501
S[kN]	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 kN/m i S=50kN 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 kN/m i S=100kN se dobijaju se minimalne vrednosti pomeranja i momenata a za K=200 000 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 .

Krućem 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.