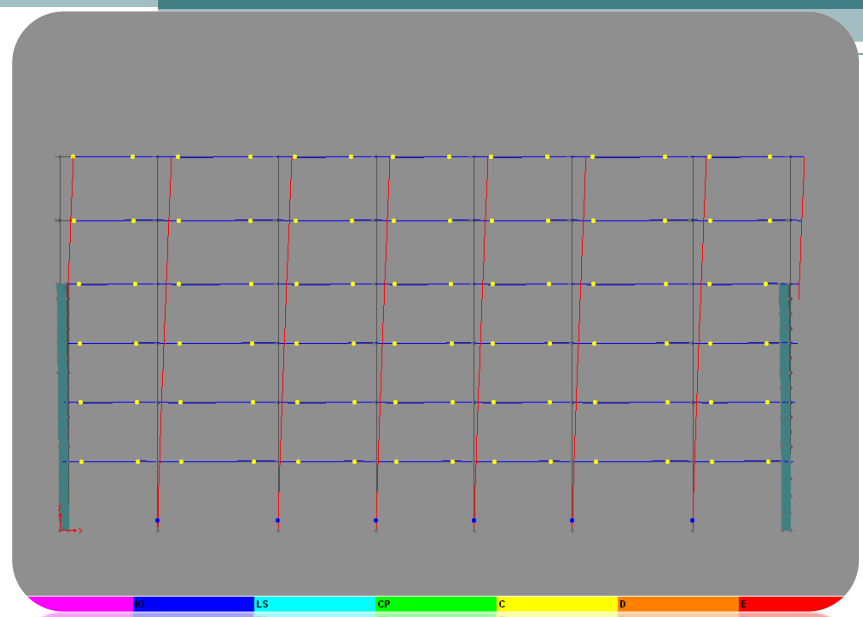
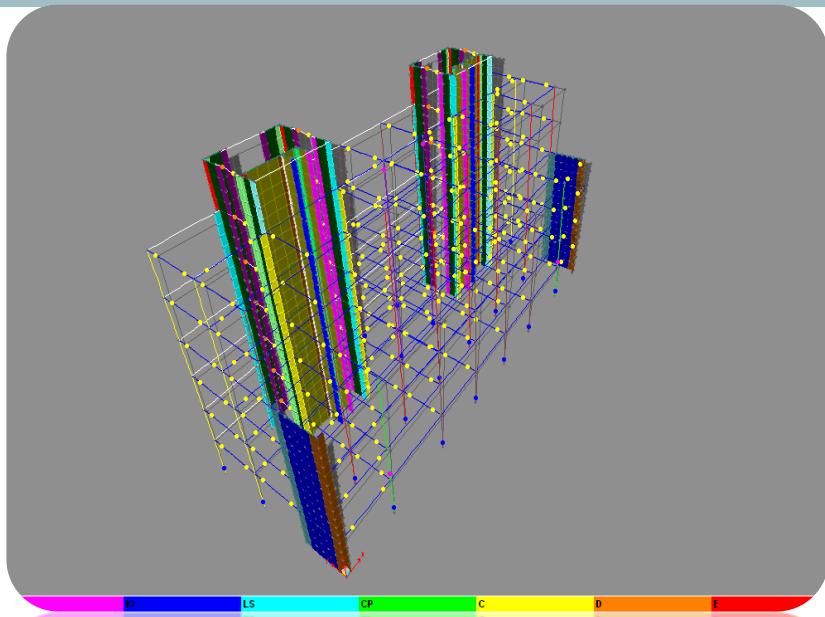
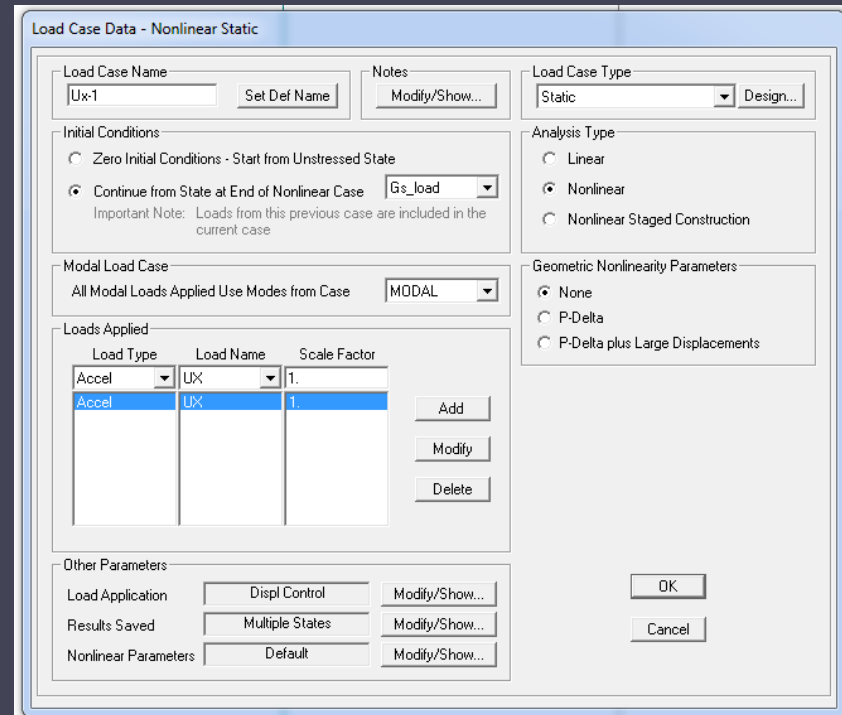
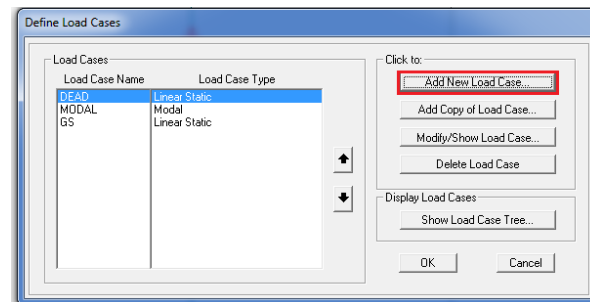
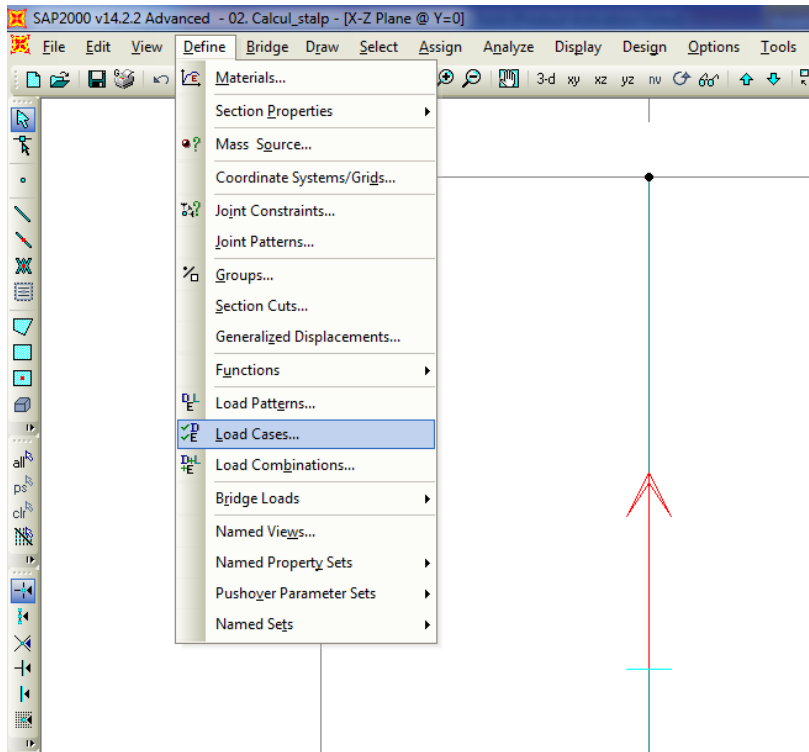


Definirea analizei static neliniară (pushover) în SAP2000



Încărcări gravitaționale

- Pentru a declara o analiză de tip neliniar se va urma: Define → Load Cases → Add New Load Cases



Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: Set Def Name Modify/Show...

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Design...

Initial Conditions: Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case

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

Analysis Type: Linear Nonlinear Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case

Geometric Nonlinearity Parameters: None P-Delta P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
<input type="text" value="Load Pattern"/>	<input type="text" value="GS"/>	<input type="text" value="1"/>
Load Pattern	GS	1

Add Modify Delete

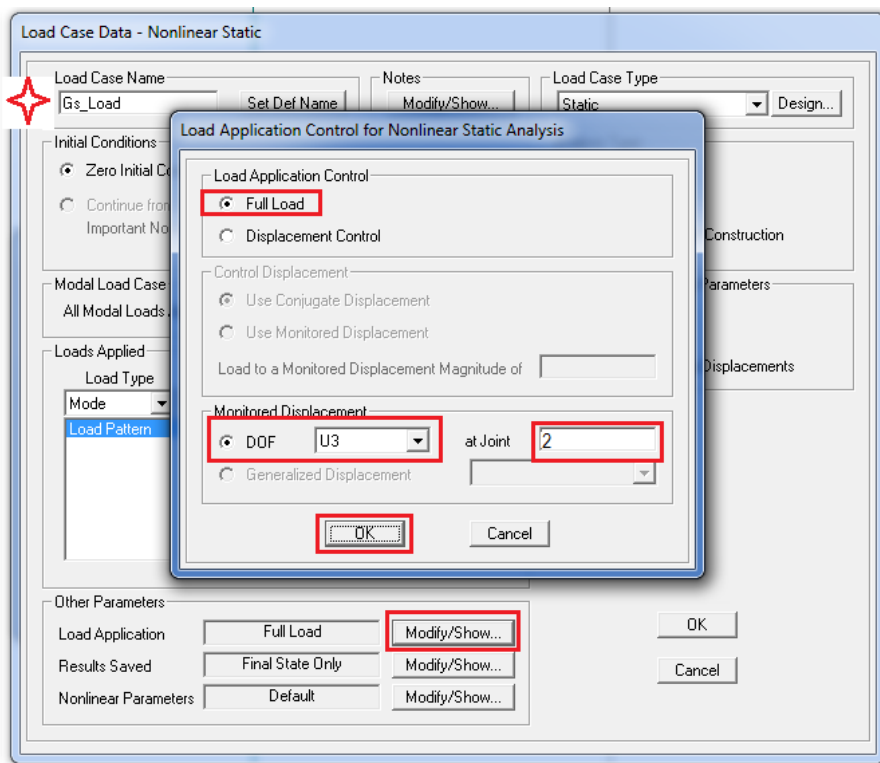
Other Parameters: Load Application Modify/Show... Results Saved Modify/Show... Nonlinear Parameters Modify/Show...

OK Cancel

- Load Case Name → numele analizei
- Load Case Type → tipul analizei
- Initial Conditions (condiții inițiale) pentru încărcările gravitaționale se va alege → Zero Initial Conditions- Start from Unstressed State (la început structura se consideră cu eforturi și deformată nulă). Cea de a doua opțiune Continue from State at End of Nonlinear Case – analiza va începe după ce structura s-a încărcat cu eforturi și deformații de la sfârșitul analizei selectate (se va utiliza pentru încărcări orizontale)
- Analysis Type (tipul de analiză) → Nonlinear
- Geometric Nonlinearity Parameters (se ține seama de efectele de ordin 2 și neliniaritate geometrică) → None
- Modal Load Case implicit Modal
- Loads Applied – se regăsesc 3 opțiuni: Load Pattern, Accel, Mode. Pentru încărcări gravitaționale se va selecta Load Pattern - se cunoaște valoarea maximă a încărcărilor pentru care vreau să văd dacă structura intră în plastic, pentru încărcările gravitaționale se dorește starea de eforturi și deformații la sfârșitul aplicării încărcărilor.

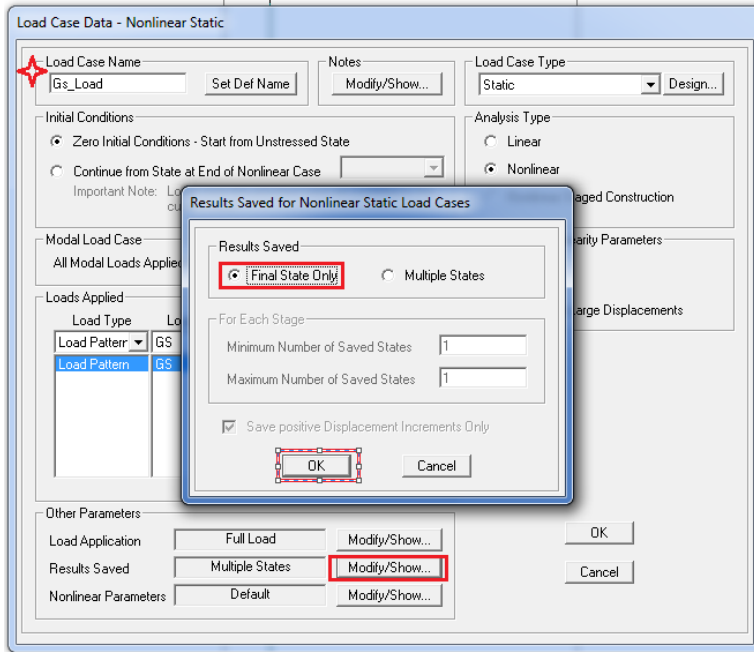
- În analiza pushover se regăesc două opțiuni de aplicare a forțelor laterale unul de tip modal, forțele sunt distribuite după modul fundamental selectat (se utilizează pentru structurile care au ca moduri fundamentale translații) și unul de tip accel forțele sunt distribuite proporțional cu masa de nivel. Distribuția de tip modal va da cel mai mare moment de răsturnare, iar cel de tip accel va da cea mai mare forță tăietoare la bază.

Load Application:



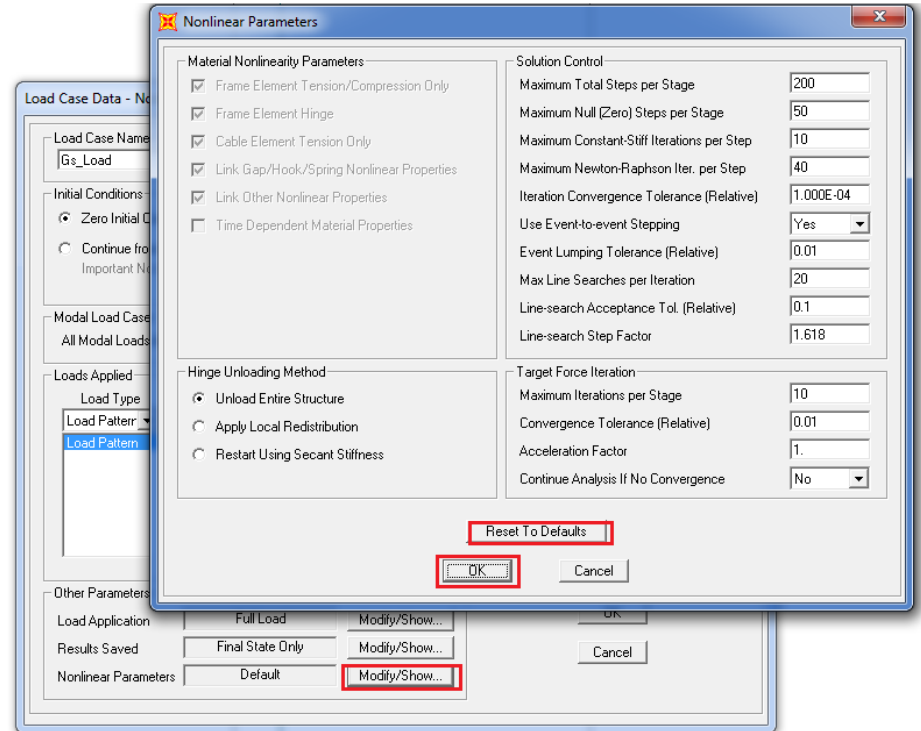
- Load Application Control → Full Load (se alege când se cunosc forțele până la care trebuie crescut patternul forțelor) în cazul încărcărilor gravitaționale.
- Monitored Displacement → DOF U3, Joint 9
DOF – (degree of freedom) reprezintă direcția gradului de libertate în coordonate locale ale nodului, acestea sunt implicit U1=X, U2=Y, U3=Z
Joint 2- se va selecta nodul de monitorizare (de încărcare).

Results Saved:



- Final State Only – se va selecta când se dorește starea finală de eforturi și deformată, nu sunt necesare rezultate intermediare.
- La final se va da click pe Ok.

Nonlinear Parameters:



- Pentru analiza ce cuprinde încărcare gravitațională se va lăsa Default.

Încărcări “seismice”

- Se vor urma aceiași pași ca la încărcarea gravitațională, astfel:

(în general se vor defini două tipuri de analiză unul accel și unul modal, pentru modelul considerat este suficient un singur tip – Accel, s-a ales factorul -1 pentru a împinge structura în direcția pozitivă a axei X, acest lucru este valabil numai la accel)

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: Set Def Name Modify/Show...

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Design...

Initial Conditions:

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case

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

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case:

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Accel	UX	-1.

Add Modify Delete

Geometric Nonlinearity Parameters:

None

P-Delta

P-Delta plus Large Displacements

Other Parameters:

Load Application: Modify/Show...

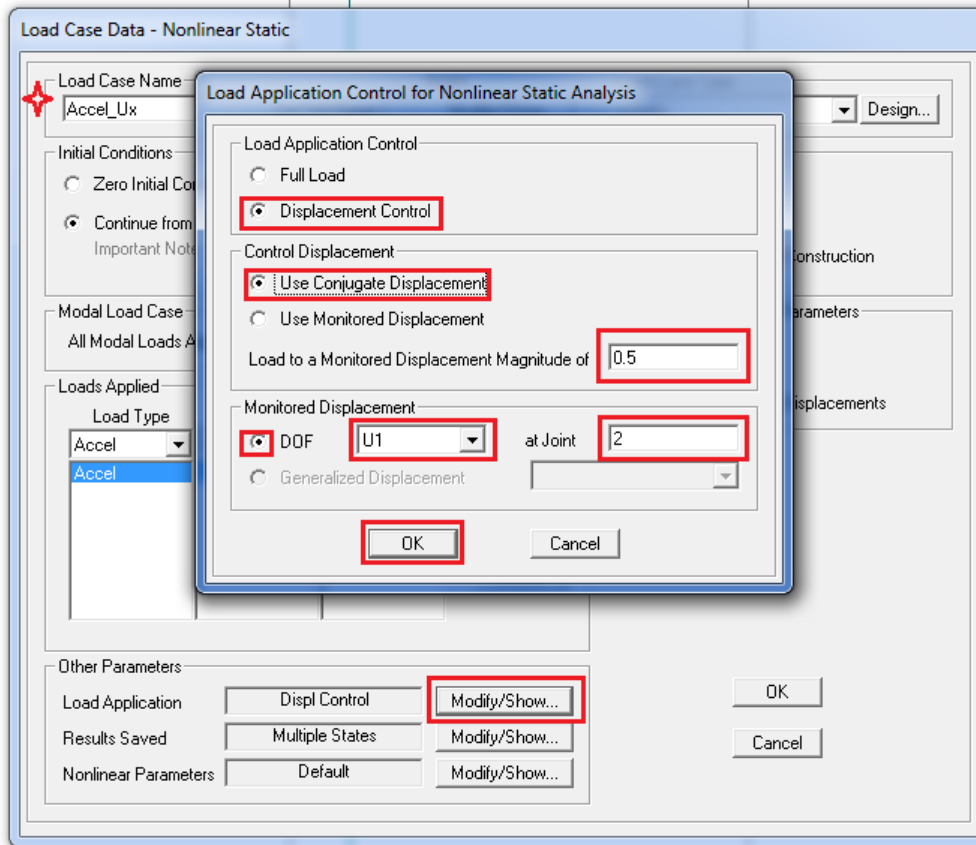
Results Saved: Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Modify/Show...

OK Cancel

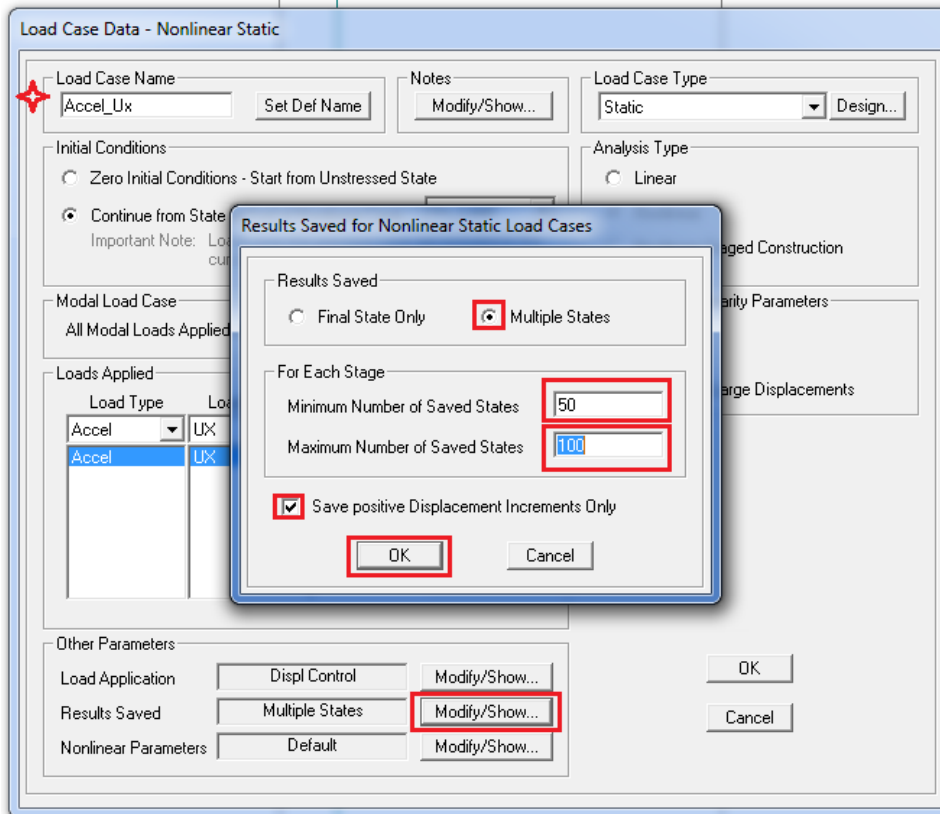
- Initial Conditions → Continue from State at End of Nonlinear Case (se va selecta încărcare gravitațională).

Load Application:



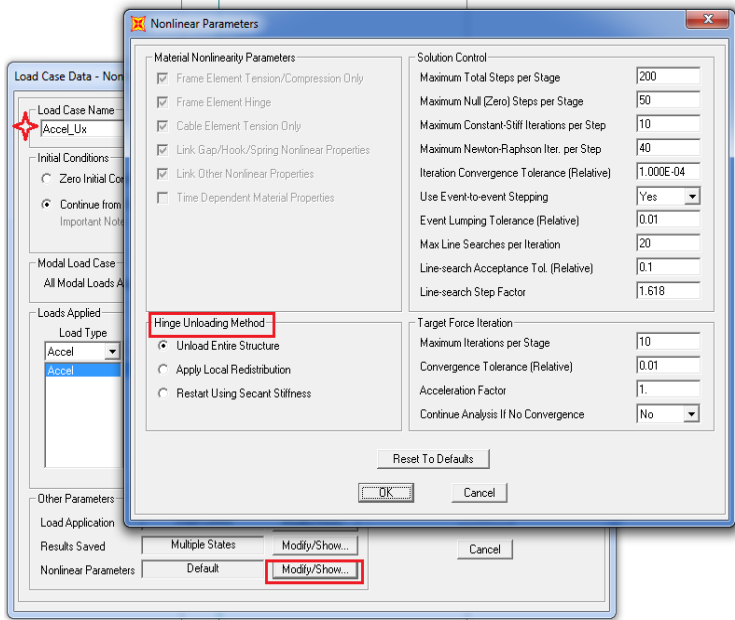
- Spre deosebire de primul tip de încărcare, pentru acest tip de încărcare se va selecta Displacement Control
- Control Displacement → Use Conjugate Displacement (la fiecare nivel de forțe propus se va calcula energia de deformație).
- Load to a Monitored Displacement Magnitude of 0.50m – în acest moment nu se cunoaște cerința așa că sistemul se va împinge 1m, pentru modelul considerat este suficient 50cm. După rularea analizei și obținerea curbei pushover se va determina cerința de deplasare conform P100-1/2013, Anexa D.

Results Saved:

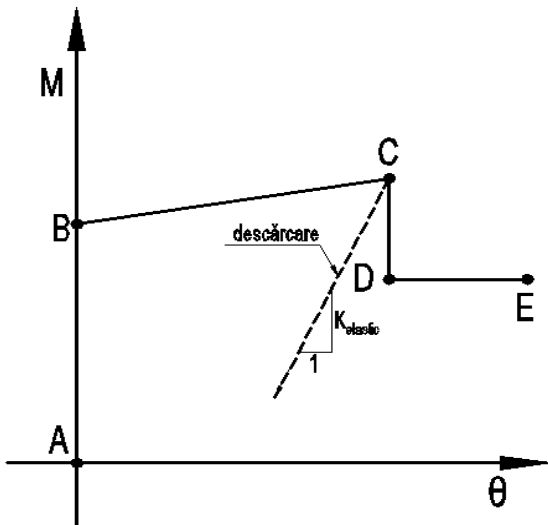


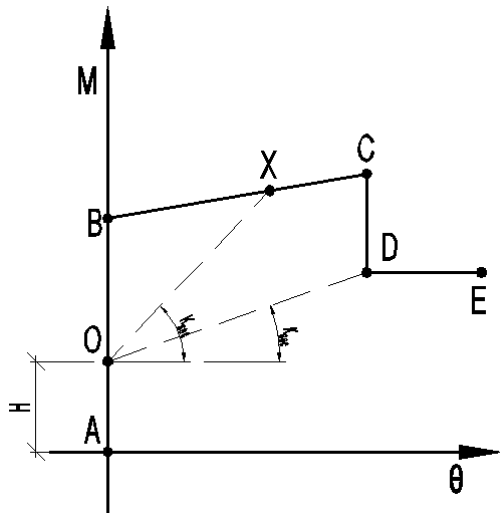
- Minimum Number of Saved States (umărul minim de pași salvați)- se va declara un număr suficient, dar nu mare, pentru a genera o curbă cât mai "reală", fără erori.
- Save positive Displacement Increments Only, pentru articulațiile plastice (hinge-uri) cu cădere de rezistență (Drops to Zero) se poate ca forța să scadă, scăzând deplasările.

Nonlinear Parameters:



- **Hinge Unloading Method** – metoda de descărcare a articulațiilor plastice definite cu descărcare (are influență în convergența calculului și valoarea rezultatelor).
1. **Unload Entire Structure**: Când un hinge ajunge pe o pantă negativă, programul va crește forțele aplicate sistemului. Crescând forțele deteriorările în hinge cresc, se va împinge structura în continuare, dacă nu se va schimba sensul forțelor până când hinge-ul se descarcă de tot, după care se va reveni la sensul original al forțelor. Metoda va eșua dacă un hinge are nevoie de creșterea forței pentru descărcare, în timp ce altul are nevoie de micșorarea forței. Descărcarea fiecărui element se face cu rigiditatea elastică.
 2. **Apply Local Redistribution**: Când un hinge ajunge pe o pantă negativă, acesta se descarcă aplicându-se forțe auto echilibratoare pe element. După descărcare se inversează sensul forțelor, practic hinge-ul se descarcă local în elementele adiacente. Metoda va eșua dacă pentru a se descărca 2 hinge-uri ale aceleași bare necesită semne diferite ale forțelor autoechilibratoare, unul necesită creșterea forței, iar celălalt scăderea acesteia. Problema se poate rezolva împărțind bara în două.
 3. **Restart Using Secan Stiffnes**: Când un hinge ajunge pe o pantă negativă se verifică starea fiecărui hinge. Există 2 tipuri de hinge-uri, unele ce se află pe un palier cu pantă pozitivă în punctul X și unele care se află în apropierea punctului C și necesită descărcare. Dacă analiza pushover este pornită de o altă analiză neliniară (de tip gravitațional) în hinge există un anumit efort H, la sfârșitul acestei analize hinge-ul se află în punctul O.

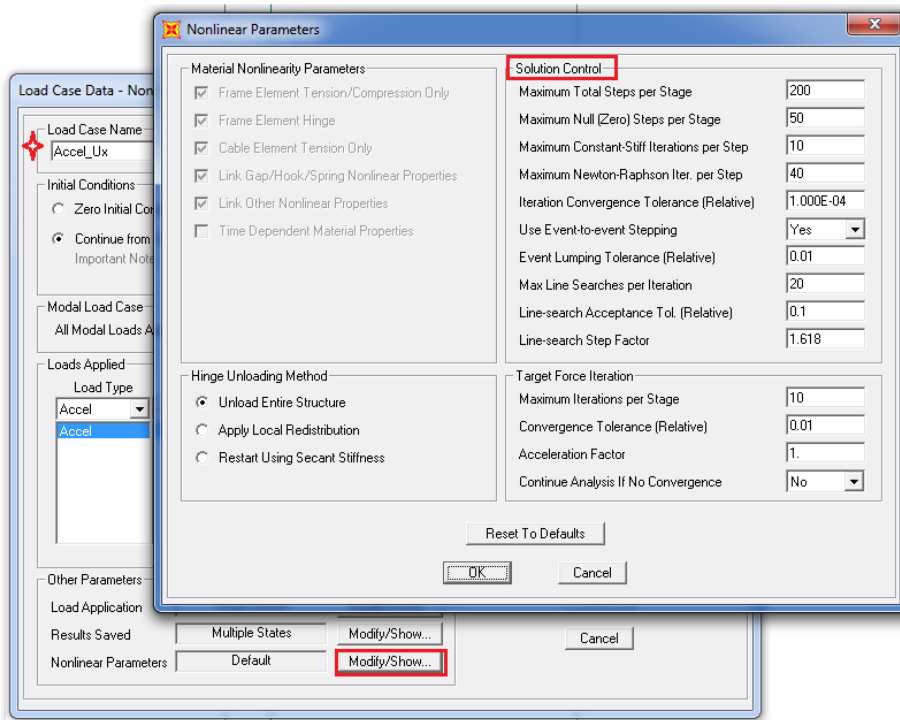




Rigiditatea secantă pentru hinge-ul de pe palier: $K_{sec_X} = \frac{M_X - M_O}{\theta_{pl_X} - \theta_{pl_O}}$

Rigiditatea secantă pentru hinge-ul ce se descarcă: $K_{sec_D} = \frac{M_D - M_O}{\theta_{pl_D} - \theta_{pl_O}}$

Toate hinge-urile se descarcă folosind rigiditatea secantă din punctul O până la punctul X pentru cele aflate pe palier cu rigiditate pozitivă și de la punctul O la punctul de la finalul (D) porțiunii cu rigiditate negativă. Metoda va eșua dacă rigiditatea secantă a unui hinge este negativă. Acest lucru nu se întâmplă dacă încărcările gravitaționale nu sunt mari.



Solution Control: Setări ce pot controla tipul și metoda de analiză predominantă. În urma analizei programul va afișa o serie de date ce țin de calculul efectuat și datele de input.

```

CASE: ACCEL_UK
CONTINUING FROM THE END OF CASE: GS_LOAD
LOAD CONTROL TYPE                = CONJUGATE DISPLACEMENT
NUMBER OF STAGES                  = 0
TYPE OF GEOMETRIC NONLINEARITY   = NONE
INCLUDE ELASTIC MATERIAL NONLINEARITY = YES
INCLUDE INELASTIC MATERIAL NONLINEARITY = YES
METHOD TO USE WHEN HINGES DROP LOAD = UNLOAD ENTIRE STRUCTURE
SAVE POSITIVE INCREMENTS ONLY    = YES
RELATIVE FORCE CONVERGENCE TOLERANCE = 0.000100
RELATIVE EVENT TOLERANCE         = 0.010000


```

Saved Steps	Null Steps	Total Steps	Iteration this Step	Relative Unbalance	Curr Step Size	Curr Sum of Steps	Max Sum of Steps
(100	50	200	10/40	1.000000	0.020000	1.000000	1.000000
52	0	52	Conv 1	1.46E-06	0.014104	1.000000	1.000000

```

TIME FOR INITIALIZING ANALYSIS      = 0.00
TIME FOR CONTROLLING ANALYSIS       = 0.04
TIME FOR FORMING STIFFNESS MATRIX   = 0.01
TIME FOR SOLVING STIFFNESS MATRIX   = 0.68
TIME FOR CALCULATING DISPLACEMENTS = 0.32
TIME FOR DETERMINING EVENTS         = 0.00
TIME FOR UPDATING STATE             = 0.00
TOTAL TIME FOR THIS ANALYSIS        = 1.05

```

Event - semnifică atingerea unui punct de pe curba hinge-ului (punct B, C sau D) unde se schimbă panta curbei.

Step – semnifică un punct al analizei pushover care nu este neapărat salvat, ci este utilizat pentru găsirea convergenței.

Minimum Number of Saved States = 50 și Load to a Monitored Displacement Magnitude of = 0.50m, atunci programul va încerca să împingă structura cu $0,5/50=0,01\text{m}$ (1cm), acesta este un step (pentru sistemele curente se pot defini și pași de 5cm-10cm, la care cerința de deplasare atinge 30-35cm). Se poate întâmpla ca pe parcursul unui step să nu se atingă convergența, atunci step-ul instantaneu va fi împărțit în două. Dacă nici atunci nu se atinge convergența, atunci și acel nou step va fi împărțit la doi. Acești pași (steps) mai mici de cât cel inițial de 1cm sunt și ei considerați ca step.

Maximum Total Steps per Stage – se consideră atât pașii salvați cât și cei nesalvați (intermediari) –contează în timpul de analiză și convergență. Pentru sisteme simple se poate alege 100 (Minimum Number of Saved States este 50).

Maximum Null (Zero) Steps per Stage – declararea numărului maxim de pași nuli, un număr mare de pași nuli indică o sensibilitate numerică a soluției sau că structura poate fi în apropierea colapsului.

Null Steps apare când:

- un element încearcă să se descarce;
- curgerea unui element determină curgerea altor elemente;
- convergența nu se atinge pe parcursul unui step și este nevoie de step-i mai mici.

În fiecare pas de timp convergența este atinsă prin iterații folosind metoda numerică **Newton-Rapson Modificată sau Newton-Rapson**.

Se va încerca inițial găsirea convergenței cu metoda Netwon-Rapson Modificată, apoi cu metoda Newton-Rapson, dacă cele două metode eșuează se va înjumătăți step-ul.

Maxim Constant-Stiff Iteration per Step – numărul maxim de iterații folosind metoda Netwon-Rapson Modificată pe step. Un număr de 10 este suficient pentru cazuri uzuale. Este indicat ca găsirea convergenței să se facă cu metoda N-R-M.

Maxim Neton- Rapson Iteration per Step – numărul maxim de iterații folosind metoda Netwon-Rapson pe step. Un număr de 40 este optim pentru toate situațiile. Dacă se depășesc 20 de iterații, rar se mai găsește convergența pentru probleme cu neliniarități de material și fără neliniarități geometrice, (se va monitoriza în timpul calculului).

Iteration Convergence Tolerance(Relative) –convergența relativă a iterațiilor. În cazul în care nu se ține cont de neliniaritate geometrică poate fi crescut până la 0,01(1%).

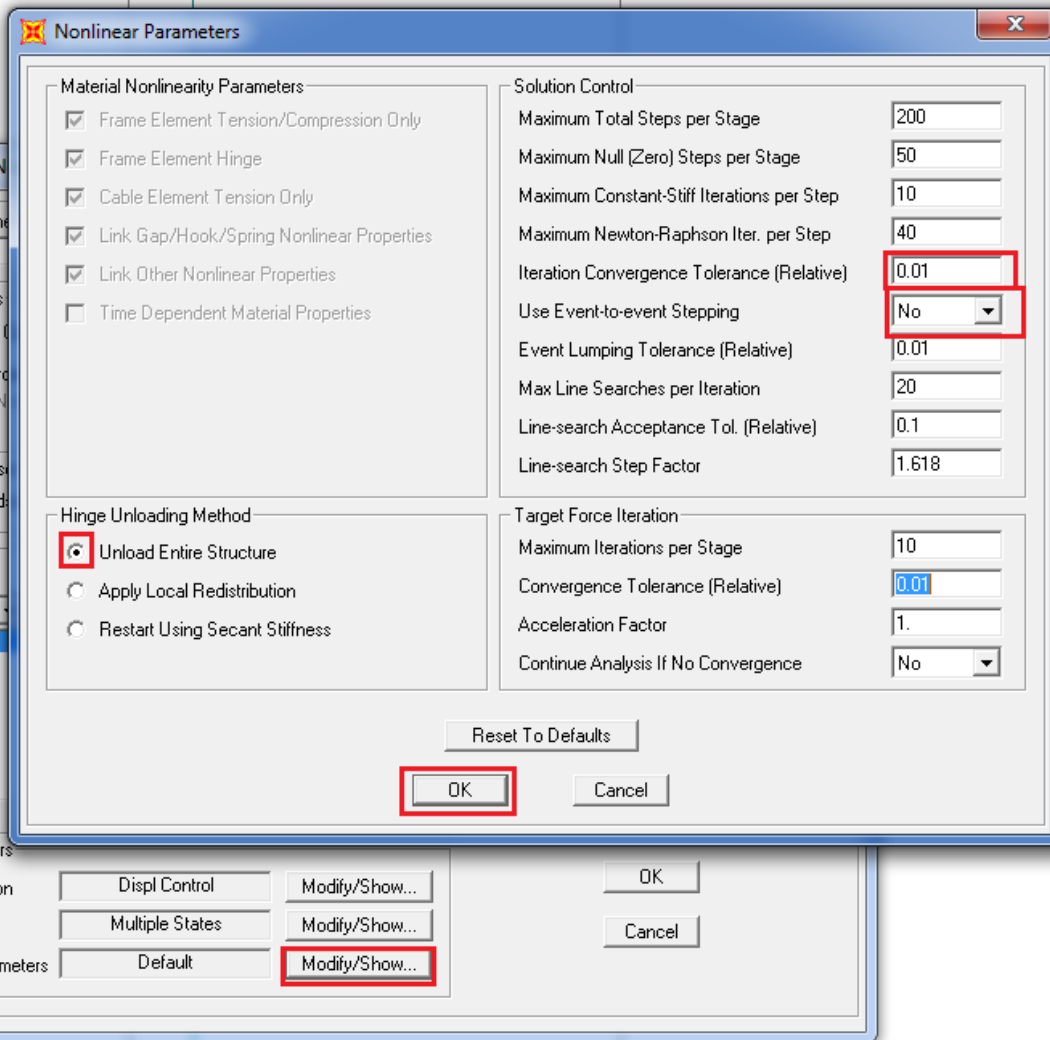
Use Event-to-event Stepping – opțiune de a determina step-ii în funcție de curgerea anumitor elemente. Dacă opțiunea este Yes-calculul va dura mai mult, programul va determina step-ii automat din curgerea elementelor. Avantajul că se obțin curbe pushover mai exacte. Nu este atât de recomandată pentru sisteme cu multe GLD-uri, în general dacă numărul de pași minimi salvați este mare curba va fi îndeajuns de exactă, se va alege No – programul va cerceta dacă curg elemente pe parcursul unui step.

Event Lumping Tolerance (Relative) – toleranța relativă a unui event. Când o articulație plastică este foarte aproape de unul din punctele B, C, D sau E programul va considera ca și cum le-ar fi atins. O valoare mai mare de 0,01 va scădea timpul de calcul, dar și convergența. Această sensibilitate numerică de convergență va face ca soluția să se îndepărteze tot mai mult de soluția reală.

Maxim Line Searches per Iteration – numărul maxim de **line search** – reprezintă un accelerator de convergență ce poate fi combinat cu cele două metode.

Line-search Acceptance Tol.(Relative) – toleranța relativă a iterațiilor de tip **line search**. Această valoare nu trebuie aleasă prea mică, deoarece iterația **line-search** trebuie doar să apropie soluția numerică de cea reală.

Line-search step Factor – factor de scalare în căutare lui $\beta(\tau)$ optim, valoarea de 1.618 este optimă.



În general, pentru analizele curente și cele unidirecționale, elementele de la Nonlinear Parameters se pot lăsa așa cum sunt. Dacă apar probleme de convergență se urmăresc de unde vin acestea și se pot ajusta acești parametrii.

Generarea analizei

De la meniul Analysis se va selecta opțiunile pentru calculul spațial sau plan, după atribuirea maselor. Se va da F5, în Set Load Cases to Run se va selecta Always Show (va afișa lista de calcule, fișierul text .LOG) și apoi se va da Run Now.

