



Metoda e spektrit të kapaciteteve¹ (CSM)

Msc. Eng Bledar Shatri

Abstract

The Capacity Spectrum Method is a nonlinear static analysis procedure to estimate the maximum expected displacement in a structure for the effect of a seismic event (action).

The CSM provides a graphical representation of the seismic performance of the SDOF-equivalent system subject to a given earthquake identified by the interruption of the spectrum of capacity with the response spectrum represented by the earthquake action.

The coordinates of this point of interruption or otherwise referred to as the Performance Point (PP) of the structure determine the maximum acceleration and maximum displacements of the SDOF system.

Generally, the identification of PP requires a recurrent procedure that revolves around the efficient dissolution of the SDOF-equivalent system and is needed because the capacity of the structure and the action of a given earthquake are not independent through them.

In CSM (ATC-40) bilinear representation is relative to a supposed PP system point and is based on the criterion of equal energies.

Key words: CSM, SDOF, performance point

Abstrakt

Metoda e spektrit të kapaciteteve (Capacity Spectrum Method) është një procedurë e analizës statike jolineare për të vlerësuar zhvendosjen maksimale të pritur në një strukturë për efekt të një ngjarjeje (veprimi) sizmik.

CSM-ja na jep një paraqitje grafike të performancës sizmike të sistemit **SDOF¹-ekuivalent**, subjekt i një tërmeti të dhënë që identifikohet nga ndërprerja e spektrit të kapacitetit me spektrin e reagimit të përfaqësuar nga veprimi i tërmetit.

Koordinatat e kësaj pike të ndërprerjes ose sic quhet ndryshe pikë performance (Performance Point-PP) të strukturës percaktojnë nxitimin dhe zhvendosjet maksimale të pritura të sistemit SDOF.

Në përgjithësi identifikimi i PP kërkon një procedurë

¹ SDOF,eng (system degree of freedom)

¹ CSM, Capacity Spectrum Method

përsëritëse që sillet rreth shuarjes efikase të sistemit **SDOF-ekuivalent** dhe që bëhet e nevojshme sepse kapaciteti i strukturës dhe veprimi i një tërmeti të dhënë nuk janë të pavarur nëpërmjet tyre.

Ne CSM (ATC-40) përfaqësimi bilinear është relativ në një pikë të supozuar PP të sistemit dhe bazohet në kriterin e energjive të barabarta.

Key words: CSM, SDOF, pikë performance

Metoda e spektrit të kapaciteteve, CSM Përshkrim i metodës CSM

Metoda e spektrit të kapaciteteve (Capacity Spectrum Method) e propozuar fillimisht nga Freeman 1975,1978 është një procedurë e analizës statike jolineare për të vlerësuar zhvendosjen maksimale të pritur në një strukturë për efekt të një eventit sizmik.Veprimi sizmik përcaktohet përmes një spektri reagimi elastik ndërsa sjellja e strukturës përfaqësohet nga një kurbë forcë-zhvendosje (kurbë kapaciteti) që përcakton sjelljen e sistemit SDOF-ekuivalent të vetë strukturës. Zhvendosja e pritur përcaktohet duke identifikuar në kurbën e kapacitetit zhvendosjet të pajtueshme me veprimin sizmik.

Identifikimi i kësaj zhvendosjeje ndiqet duke punuar në hapësirën ADRS (Acceleration Displacement Response Spectrum) pra duke përshkruar kurbën e kapacitetit dhe spektrin e reagimit në terma të nxitimit dhe zhvendosjes spektrale. Në hapësirën ADRS spektri i reagimit dhe kurba e kapacitetit marrin përkatësisht ecurine e spektrit të kërkesës (Demand Spectrum-DS) dhe të spektrit të kapacitetit (Capacity Spectrum-CS). Falë këtij transformimi të koordinatave, CSM-ja na jep një paraqitje grafike të performancës sizmike të sistemit SDOF-ekuivalent subjekt i një tërmeti të dhënë që identifikohet nga ndërprerja e spektrit të kapacitetit me spektrin e reagimit të përfaqësuar nga veprimi i tërmetit.Koordinatat e kësaj pike të ndërprerjes ose sic quhet ndryshe pikë performance (Performance Point-PP) të strukturës percaktojnë nxitimin dhe zhvendosjet maksimale të pritura të sistemit SDOF.

Në përgjithësi identifikimi i PP kërkon një procedurë përsëritëse që sillet rreth shuarjes efikase të sistemit

SDOF-ekuivalent dhe që bëhet e nevojshme sepse kapaciteti i strukturës dhe veprimi i një tërmeti të dhënë nuk janë të pavarur nëpërmjet tyre, përkundrazi:

- kur një strukturë kalon në fazën plastike për efekt të zhvendosjeve nga tërmeti, ngurtësia e saj zvogëlohet dhe perioda e saj rritet
- kur një strukturë kalon në fazën plastike, reagimi i veprimit sizmik harxhon sasi të energjisë për shuarjen hysteretike (në madhësi më të vogla apo të mëdha në varësi të faktit nëse ciklet hysteretike janë të mëdha e të qëndrueshëm sepse energjia e shpërndarë nuk imagjinohet nga struktura dhe shuarja prodhon një reduktim të zhvendosjeve).

Në CSM (ATC-40) përfaqesimi bilinear është relativ në një pikë të supozuar PP të sistemit dhe bazohet në kriterin e energjive të barabarta. Pjesa e parë e kurbës bilineare është një vijë që kalon nga origjina me pjerrësi sa ngurtësia fillestare e sistemit dhe pjesa e dytë është një vijë që kalon nga PP me një pjerrësi të tillë që sipërfaqja e kufizuar nga kjo të jetë e barabartë me sipërfaqen e kufizuar nga kurba e kapacitetit ($A_1 = A_2$) fig.1

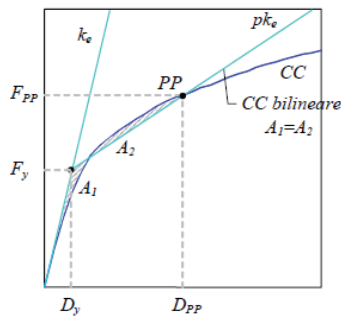


Fig.1 Perfaqesimi bilinear i kurbës së kapacitetit (CSM)

Kurba e kapacitetit bilinear për një zhvendosje të caktuar 'D' varet nga tre faktorë:

- 1) Ngurtësia elastike fillestare ' k_e ' është proporcionale me tangenten në origjinën e kurbës së kapacitetit.
- 2) Forca në fazën e rrjedhshmërisë ' F_y '
- 3) Faktori forcë që është i barabartë me raportin e ngurtësisë elastike me atë post-elastike përmes lidhjes së mëposhtme:

$$F = k_e D \quad \text{nqs } D \leq D_y$$

$$F = F_y + pk_e(D - D_y) = F_y(1 + p\mu - p) \quad \text{nqs } D > D_y$$

(1)

Principi i energjive dhe zhvendosjeve të barabarta

Analizat jolineare "time-history" të kryera në struktura të thjeshta me rezistencë të reduktuar sipas faktorit 'R', në krahasim me atë korresponduese të një reagimi elastik dhe me sjellje hysteretike elasto-plastike, kanë treguar një sjellje të varur nga perioda vetjake e sistemit {Gulkan and Sozen 1997}. Në veçanti shihet që për struktura me perioda vetjake më të mëdha se ato që i korrespondojnë

'pikut' të spektrit të reagimit elastik të tërmetit ' T_g ', zhvendosjet maksimale të arritura nga sistemi joelastik 'D' janë shumë të ngjashme me ato të marra për një sistem elastik ' D_e ' me ngurtësi të barabartë me atë elastike fillestare të sistemit joelastik ($D \approx D_e$).

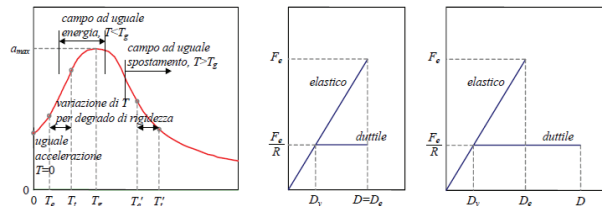


Fig.2. a) Influenca e periodës në reduktimin e forcave sizmike b) zhvendosje të barabarta c) energji të barabarta

Konsideratat gjeometrike në fig.b lënë të kuptosh që duktiliteti $\mu = D/D_y$ i arritur në sistemin joelastik është

barabartë me faktorin e reduktimit të forcave:

$$\mu = R \quad (2)$$

Ky konkluzion tregohet zakonisht si **Principi i Zhvendosjeve të Barabarta (ED)** edhe pse nuk gëzon një bazë teorike apo një zbatueshmeri të përgjithshme do të vlejë titulli i principit.

Për strukturat me periodë më të vogël se perioda e 'pikut' të spektrit të reagimit fig.2 nuk është konservative, pra duktiliteti në zhvendosjen e kërkuar është më i madh se faktori i reduktimit të forcave. Në veçanti për shumë sisteme të këtij tipi arrihet në një vlerësim të arsyeshëm të vlerës së 'pikut' të duktilitetit në zhvendosje duke e barazuar sipërfaqen poshtë kurbës së kapacitetit të sistemit joelastik me atë poshtë kurbës së kapacitetit të sistemit elastik me ngurtësi fillestare të barabartë fig.c. Sepse këto sipërfaqe përfaqesojnë energjinë totale të përfutur nga dy sisteme që i nënshtrohen një goditjeje monotone deri në zhvendosjen maksimale, kjo jepet si **Principi i Energjive të Barabarta (EE)** (edhe pse edhe në këtë rast statusi i principit nuk është plotësisht i saktë). Në figure tregohet varësia e mëposhtme nëpërmjet duktilitetit në zhvendosje dhe faktorit të reduktimit të forcave:

$$\mu = \frac{R^2 + 1}{2} \quad (3)$$

➤ Për strukturat me periodë shumë të ulët ($T_e < 0.2s$) formula e mësipërme nuk është konservative. Kjo pamjaftueshmëri e Principit të Energjive të Barabarta vjen nga tendenca e periodës vetjake ' T_e ' për tu rritur drejt pjesëve me nxitim spektral të lartë ' T_t ' sipas degradimit të ngurtësisë së strukturës në pjesët plastike si në fig.a

➤ Për strukturat me periodë mesatare, rritja e periodës

e prodhuar nga veprimet joelastike sjell një largim nga pjesët me reagim maksimal. Sipas kushtit limit $T=0$, madje në faktorë të vegjël të reduktimit të forcave i korrespondojnë duktilitete të larta sepse deformimet e strukturës bëhen të parëndësishme në krahasim me deformimet e terrenit prej të cilave struktura eksperimenton nxitime efektive të terrenit pavarësisht zhvendosjeve relative për atë duktilitet. Nëqoftëse struktura nuk është në gjendje të duroje 'pikut' e nxitimeve të terrenit (kolapsin), vijon se struktura me perioda shumë të vogla nuk duhet të projektohen për veprime më të vogla se ato që i korrespondojnë 'pikut' të nxitimeve të terrenit, kjo sjellje quhet Principi i Nxitimeve të Barabarta. Në realitet elementet strukturor beton arme japin cikle histeretike shumë të ndryshme nga ato elasto-plastike ideale të adoptuar për analizat jolineare.

- Për strukturat me perioda të medha, niveli i duktilitetit vlerësohet me përafrimin e zhvendosjeve të barabarta të pandikuar nga forma e ciklit histeretik.
- Për strukturat me $T < (T_e < T_g)$ për të cilat përafrimi i energjive të barabarta është më real, reduktimi i energjisë së shpërndarë, e lidhur me cikle histeretike nënkupton një rritje të duktilitetit prandaj spektra joelastikë të formës * rezultojnë jokonservative.

Për sistemet SDOF bilineare, lidhja konstruktive është e përcaktuar nga tre parametra:

1. Perioda vetjake ' T_e '
2. Raporti ' α_y '-raporti i nxitimit në fazë rrjedhshmërie me atë në fazë elastike maksimale
3. Raporti ' p '-raporti i ngurtësisë post-elastike me atë elastike fillestare

Prandaj mund të jetë e nevojshme të shprehim lidhjet e përmendura mësipër në varësi të këtyre madhësive.

Në veçanti duke parë që α_y është inversi i faktorit të reduktimit ' R ', zhvendosja maksimale e sistemit jolinear ' D ' merret nga ajo e një sistemi elastik ' D_e ' me të njejtën ngurtësi fillestare përmes shprehjeve të mëposhtme:

- Principi EE ($T_e \leq T_g$)

$$D = \frac{1 + \alpha_y^2}{2\alpha_y} D_e \quad \text{per } p = 0$$

$$D = \frac{1}{p} [\sqrt{(1-p)\alpha_y^2 + p} - (1-p)\alpha_y] D_e \quad \text{per } p \neq 0 \quad (4)$$

- Principi ED ($T_e > T_g$)

$$D = D_e \quad (5)$$

Procedura

Identifikimi i pikës së performancës kërkon një procedurë përsëritëse që përmbledhet me këto hapa:

1. Përcaktimi i veprimit sizmik

Përcaktohet spektri i reagimit elastik me 5% shuarje që përfaqësohet nga veprimi sizmik i dhënë:

$$S_a = S_a(T, 5\%, \alpha_g) \quad (6)$$

ku: α_g -nxitimi i plotë

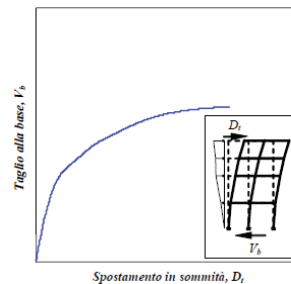


Fig.3. Përcaktimi i veprimit sizmik me spektrin i tij elastik të reagimit ($\xi=5\%$)

2. Përcaktimi i kurbës së kapacitetit

Ndërtohet kurba forcë-zhvendosje (V_b - D_b) që përcakton kapacitetin e sistemit nëpërmjet analizës Pushover fig.4

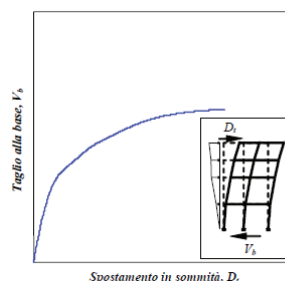


Fig.4. Ndërtimi i kurbës së kapacitetit nëpërmjet analizës Pushover

3. Kthimi i kurbës së kapacitetit dhe kurbës së veprimit (kerkesës) në fushë spektrale

Transformohet spektri elastik i reagimit dhe i kurbës së kapacitetit në formatin ADRS dhe ndërtohen në të njëjtin grafik fig.5

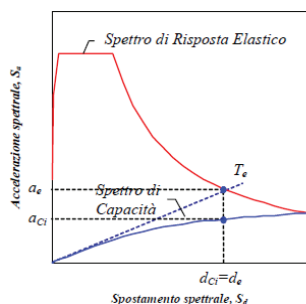


Fig.5. Kthimi në format spektral dhe zgjedhja e një zhvendosjeje tentative ' d_{ci} '

Ekuacionet për të marrë spektrin e kërkesës dhe të kapacitetit janë:

$$a_D = S_a(T, v, \alpha_g) \quad (7)$$



$$d_D = \left(\frac{T}{2\pi}\right) S_a(T, v, a_g)^2 \quad (8)$$

$$a_c = \frac{v_b}{m\alpha_1} \quad (9)$$

$$d_c = \frac{D_t}{\Gamma_1 \Phi_{1t}} \quad (10)$$

$$\Gamma_1 = \frac{\Phi_1^T M I}{\Phi_1^T M \Phi_1} \quad (11)$$

$$\alpha_1 = \frac{\Phi_1^T M I}{M} \quad (12)$$

ku: M-masa sizmike lokale e sistemit
 Γ_1 -faktori i pjesemarrjes së modit të parë
 α_1 -koeficienti i masës modale të modit të parë
 Φ_1 -forma e modit të parë
 Φ_{1t} -amplituda e modit të parë në majë

4. Përzgjedhja e një zhvendosjeje tentative

Merret një zhvendosje tentative e pikës së performancës (d_{ci}), fillimisht në perputhje me përafrimin e zhvendosjeve të barabarta mund të merret $d_{ci}=d_e$ si në fig.5

5. Përfaqesimi bilinear i spektrit të kapacitetit

Ndërtimi i përafrimit bilinear i kurbës spektrale të kapacitetit fig.4.9 sipas kriterit të energjive të barabarta. Madhësitë që përcaktojnë komplet kurbën janë:

- frekuenca natyrale elastike (ω_e) dhe perioda elastike (T_e)
- shpejtimi në fazën e rrjedhshmërisë (a_y)
- faktori 'p' që është raporti i ngurtisë post-elastike me ngurtësinë elastike sipas kësaj lidhjeje:

$$a_c = \omega_e^2 d_c \quad \text{nqs } d_c \leq d_y$$

$$a_c = a_y + p\omega_e^2(d_c - d_y) \quad \text{nqs } d_c > d_y \quad (13)$$

ku: d_y -zhvendosja në rrjedhshmëri

$$d_y = \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 a_y \quad (14)$$

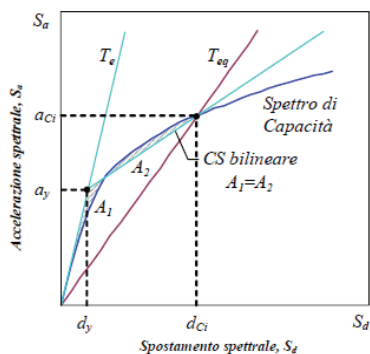


Fig.6. Përfaqesimi bilinear i spektrit të kapacitetit korrespondent me d_{ci}

6. Linearizimi ekuivalent i spektrit të kapacitetit bilinear

Supozojmë se reagimi bilinear (me spektër kapaciteti) në korrespondencë me zhvendosjen e përgjithshme d_c , të jetë ekuivalent me atë të një sistemi linear ekuivalent si në fig.6, i karakterizuar nga një periode lekundjeje dhe nga një shuarje viskoze si mëposhtë në fig.7

$$T_{eq} = \frac{2\pi}{\omega_{eq}} = 2\pi \sqrt{\frac{d_c}{a_c}} \quad (15)$$

$$v_{eq} = v_0 + kv_h = 5\% + k \frac{2}{\pi} \frac{a_y d_c - a_c d_y}{a_c d_c} \quad (16)$$

Ku

(d_y, a_y) -pika e dobësimit në CS bilineare

(d_c, a_c)-pika në CS

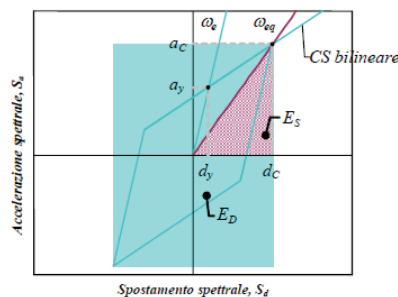


Fig.7. Sistemi bilinear ekuivalent: shuarja viskoze ekuivalente e lidhur me shpërndarjen hysteretike të energjisë

Faktori 'k' varet nga sjellja hysteretike e sistemit, pra kategoria e sjelljes së strukturës që përcaktohet nga cilësia e elementeve që ndertojnë sistemin sizmik rezistent dhe nga kohëzgjatja e veprimit sizmik.

Në ATC-40 ka tre kategori sjelljeje:

- Tipi A-Jep një sjellje hysteretike me cikle hysteretike të qëndrueshme dhe me amplitudë të ngjashme me ato ideale.
- Tipi C-Përfaqëson cikle hysteretike të ngacmuar fuqishëm dhe/ose të degraduar
- Tipi B-Përfaqëson një sjellje hysteretike nëpërmjet tipit A dhe C

Për këto tipe sjelljeje hysteretike jepen disa relacione që japin faktorin 'k' në varësi të shuarjes ekuivalente ' v_h ' si në fig.8

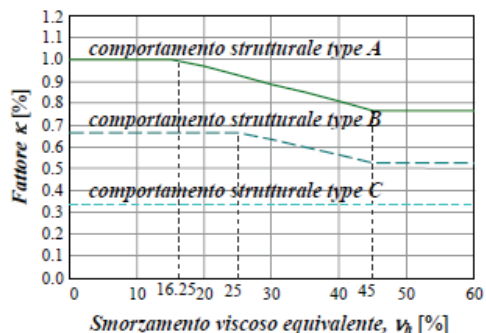


Fig.8. Faktori modifikimit të shuarjes 'k' në funksion të shuarjes viskoze ekuivalente 'v_h' e sjelljes së strukturës

7. Reduktimi i spektrit të reagimit

Përcaktimi i kurbës korresponduese spektrale të veprimit të reduktuar në varësi të energjisë hysteretike të shpërndarjes së sistemit të përfaqësuar nga shuarja v_{eq}, fig.8

Vlerat në formulën janë përdorur për llogaritjen e faktorit të reduktimit spektral 'μ' të cilët kur shumëzohen me spektrin elastik japin spektrin e reduktuar. Sipas EC8 kemi:

$$\mu = \sqrt{\frac{10}{5+v_{eq}}} \geq 0.55 \quad (17)$$

8. Identifikimi i pikës së performancës (PP)

Zhvendosja d_{ci} e pikës së performancës merret si pikë e ndërprerjes së spektrit të kapacitetit me spektrin e veprimit të reduktuar fig.9

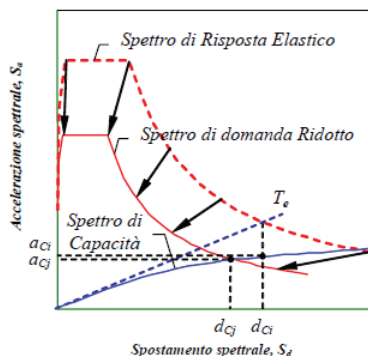


Fig.9. Përcaktimi i zhvendosjes së re të kërkuar d'_{ci}

9. Kontrolli i konvergencës

Nëse zhvendosja 'd'_{ci} përputhet me 'd_{ci}' ose të paktën përafrohet shumë (deri në 5%) atëherë zhvendosja e pikës së performancës (pra zhvendosja maksimale e strukturës nga veprimi sizmik i konsideruar) rezulton d_{pp}=d'_{ci} ose përndryshe merret një zhvendosje e re me tentative dhe përsëritet procedura nga hapi 5.

Referenca bibliografike

- CEN Eurocode 8-Design of structures for earthquake resistance, Part 1
- CEN Eurocode 8-Design of structures for earthquake resistance, Part 1
- FEMA.NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings
- P.Fajfar-Structural analysis in earthquake engineering-A breakthrough of simplified non-linear methods-University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering-Ljubljana, Slovenia

10. Vlerësimi i kërkesës sizmike globale

Kur arrihet konvergjenca, nxirret zhvendosja maksimale në majë të sistemit MDOF:

$$D_t = \Gamma_1 \Phi_{1t} d_c \quad (18)$$

11. Konkluzion

Metoda e spektrit të kapaciteteve (Capacity Spectrum Method) është një procedurë e analizës statike jolineare për të vlerësuar zhvendosjen maksimale të pritur në një strukturë për efekt të një ngjarjeje (veprimi) sizmik.

CSM-ja na jep një paraqitje grafike të performancës sizmike të sistemit SDOF-ekuivalent subjekt i një tërmeti të dhënë që identifikohet nga ndërprerja e spektrit të kapacitetit me spektrin e reagimit të përfaqësuar nga veprimi i tërmetit.

Koordinatat e kësaj pike të ndërprerjes ose sic quhet ndryshe pikë performancë (Performance Point-PP) të strukturës përcaktojnë nxitimin dhe zhvendosjet maksimale të pritura të sistemit SDOF.

Në pergjithësi identifikimi i PP kërkon një procedurë përsëritëse që sillet rreth shuarjes efikase të sistemit SDOF-ekuivalent dhe që bëhet e nevojshme sepse kapaciteti i strukturës dhe veprimi i një tërmeti të dhënë nuk janë të pavarur nëpërmjet tyre, përkundrazi:

- kur një strukturë kalon në fazën plastike për efekt të zhvendosjeve nga tërmeti, ngurtësia e saj zvogëlohet dhe perioda e saj rritet
- kur një strukturë kalon në fazën plastike, reagimi i veprimit sizmik harxhon sasi të energjisë për shuarjen hysteretike (në madhësi më të vogla apo të mëdha në varësi të faktit nëse ciklet hysteretike janë të mëdha e të qëndrueshëm sepse energjia e shpërndarë nuk imagjinohet nga struktura dhe shuarja prodhon një reduktim të zhvendosjeve).

Ne CSM (ATC-40) përfaqësimi bilinear është relativ në një pikë të supozuar PP të sistemit dhe bazohet në kriterin e energjive të barabarta.

- P.Fajfar & M.EERI-A non-linear Analysis method for performance based design
- P.Fajfar & D.Marusic & I.Perus-The extension of the N2 method to asymmetric buildings
- A.Cinitha, P.K.Umesha, N.R.Iyer-Nonlinear static analysis to assess seismic performance and vulnerability of code-conforming RC buildings
- Ioannis.P.Giannopoulos-Seismic assessment of RC building according to FEMA 356 and Eurocode 8