

Izolimi Antisizmik në Bazë i Strukturave Ndërtimore

nga

Luan MURTAJ

Departamenti i Mekanikës së Strukturave

Fakulteti i Inxhinierisë së Ndërtimit, Universiteti Politeknik i Tiranës

Disertacioni i përgatitur sipas kërkesave për gradën

Doktor i Shkencave

në

UNIVERSITETI POLITEKNIK I TIRANËS

Fakulteti i Inxhinierisë së Ndërtimit

Departamenti i Mekanikës së Strukturave

Udhëhequr nga

Prof. Asoc. Dr. Forcim SOFTA

Fakulteti i Inxhinierisë së Ndërtimit, Universiteti Politeknik i Tiranës, Tiranë

Tiranë, Qershor 2016

PËRMBAJTJA

LISTA E FIGURAVE	fq. 3-8
LISTA E TABELAVE	fq. 9-10
PËRMBLEDHJE	fq. 11-12
SUMMARY	fq. 13-14
HYRJE	fq. 15-15
QËLLIMI	fq. 16-16
OBJEKTIVAT	fq. 16-17
I. FILOZOFIA E STRUKTURAVE ME IZOLIM ANTISIZMIK NË BAZË	fq. 18-24
II. BAZAT TEORIKE	fq. 25-40
III. ELEMENTËT JOLINEARË	fq. 41-53
IV. KËRKESAT E IZOLIMIT NË BAZË TË STRUKTURAVE	
SIPAS EC - 8 (prEN 1998-1:2003)	fq. 53-64
V. LLOGARITJET ANALITIKE TË SISTEMEVE PASIVË TË IZOLIMIT	
PËR NDËRTESAT ME IZOLIM NË BAZË	fq. 65-82
VI. ANALIZAT KOMPJUTERIKE TË NDËRTESAVE ME IZOLIM NË BAZË	fq. 83-102
VII. PROJEKTI I një NDËRTEsë SHUMËKATËSHE BANIMI DHE SHËRBIMESH	fq. 103-185
PËRFUNDIME	fq. 186
REFERENCA	fq. 187

Këtë punim ja kushtoj fëmijëve të mi, Orionit dhe Nikolës, që ta kenë si shembull në rrugën e tyre drejt dijes.

Falenderimet i takojnë familjes, kolegëve të Fakultetit të Inxhinierisë të Ndërtimit dhe stafit akademik të Institutit të Inxhinierisë të Tërmeteve dhe Sizmiologjisë – Shkup (IZIIS). Mirënjojje për bashkëpuntorët vendas dhe të huaj për besimin që më kanë dhënë gjatë aktivitetit tim profesional.

Në vecanti falenderoj udhëhëqësin dhe profesorin tim *Forcim SOFTA* për mbështetjen e vazhdueshme.

LISTA E FIGURAVE

Fig. 1.1 Ndërtesa Taj Mahal – Indi.

Fig. 1.2 Sistemi i parë i izolimit në bazë nga J. A. Calantarians.

Fig. 1.3 Izolatorët me fërkim me një kurbëzim.

Fig. 1.4 Izolatorët me fërkim me dy kurbëzim.

Fig. 1.5 Izolatorët me fërkim me dy kurbëzime në shtypje-tërheqje.

Fig. 1.6 Izolatorët me fërkim triplet.

Fig. 1.7 Izolatorët elastomerik.

Fig. 1.8 Izolatorët elastomerik të laminuar.

Fig. 1.9 Lloje të izolatorëve viskozë.

Fig. 2.1 Sistem i izoluar me dy shkallë lirie dinamike.

Fig. 2.2 Sistem i izoluar me shumë shkallë lirie dinamike.

Fig. 3.1 Elementi gjatësor me 12 shkl. jolineare.

Fig. 3.2 Elementi gjatësor me 6 shkl. jolineare.

Fig. 3.3 Kurba karakteristike e elementit të përgjithshëm plastik.

Fig. 3.4 Kurba karakteristike e elementit bilinear me hap-bosh.

Fig. 3.5 Modeli matematik i elementit me shuarje viskoze.

Fig. 3.6 Elementi 3-dimensional me fërkim me hap-bosh.

Fig. 3.7 Modeli matematik i izolatorit elastomerik.

Fig. 3.8 Kurba mbështjellëse histeretike e izolatorit elastomerik.

Fig. 3.9 Modeli matematik i izolatorit me fërkim.

Fig. 3.10 Kurba mbështjellëse histeretike e izolatorit me fërkim.

Fig. 5.1 Plani i kolonave dhe altimetria e strukturës 6-kat me pendula me fërkim.

Fig. 5.2 Spektri elastik për $ag=3m/s^2$ dhe nivele të ndryshme shuarje.

Fig. 5.3 Plani i kolonave për strukturën 6-kat me izolator elastomerik.

Fig. 5.4 Karakteristikat e materialit elastomerik me shuarje të lartë.

Fig. 5.5 Zhvendosja e përgjithshme e sistemit të izolimit.

Fig. 5.6 Kurba mbështjellëse histeretike në zhvendosje ekstremale të sistemit me izolator elastomerik.

Fig. 6.1 Zhvendosja maksimale e sistemit me izolator elastomerik me jashtëqendërsi aksidentale.

Fig. 6.2 Modeli kompjuterik i ndërtesës me izolator elastomerik me jashtëqendërsi aksidentale.

Fig. 6.3 Kurbat kapacitive për izolatorët Grupi-A.

Fig. 6.4 Kurbat kapacitive për izolatorët Grupi-B.

Fig. 6.5 Akselerograma e Tërmetit Santa Monica.

Fig. 6.6 Zhvendosjet e mbistrukturës dhe sistemit të izolimit.

Fig. 6.7 Skema e deformuar e sistemit të izolimit.

Fig. 6.8 Historiku i zhvendosjeve në kohë të sistemit të izolimit në varësi të faktorit të parë të formës.

Fig. 6.9 Kurbat histeretike të izolatorëve në funksion të faktorit të formës.

Fig. 6.10 Plani i kolonave dhe altimetria e ndërtesës 9-kat me izolator elastomerik.

Fig. 6.11 Akselerograma dhe spektri elastik përkatës për shuarje $\zeta=22\%$.

Fig. 6.12 Kurbat kapacitive për izolatorët elastomerikë nën efektin e momentit përbysës.

Fig. 6.13 Modeli kompjuterik për analizën jolineare të ndërtesës 9-kat me izolator elastomerik.

Fig. 6.14 Zhvendosjet e sistemit të izolimit dhe kurbat histeretike për një njësi izolimi.

Fig. 7.1 Pamja e ndërtesës.

Fig. 7.2 Plani i strukturave në katin shërbime.

Fig. 7.3 Spektri i projektimit të reagimit sismik.

Fig. 7.4 Spektri i projektimit KTP-89.

Fig. 7.5 Modeli 3-dimensional me elementë të fundëm për sistemin me bazë fikse.

Fig. 7.6 Tre modët e para për sistemin me bazë fikse.

Fig. 7.7 Forcat prerëse në kate për strukturën me bazë fikse prej DCON3.

Fig. 7.8 Momentet përbysës në kate për strukturën me bazë fikse prej DCON3.

Fig. 7.9 Momenti përdredhës në kate për strukturën me bazë fikse prej DCON3.

Fig. 7.10 Zhvendosjet në kate për strukturën me bazë fikse prej DCON3&DCON4.

Fig. 7.11 Forcat prerëse në kate për strukturën me bazë fikse prej DCON4.

Fig. 7.12 Momentet përbysës në kate për strukturën me bazë fikse prej DCON4.

Fig. 7.13 Momenti përdredhës në kate për strukturën me bazë fikse prej DCON3.

Fig. 7.14 Plani i strukturave për strukturën. Modeli kompjuterik.

Fig. 7.15 Forcat prerëse në kate për bërthamën P1 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.16 Momentet përkulës në kate për bërthamën P1 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.17 Momentet përdredhës në kate për bërthamën P1 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.18 Forca aksiale në kate për bërthamën P1 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.19 Forcat prerëse në kate për bërthamën P1 me bazë fikse prej EQY.

Fig. 7.20 Momentet përkulës në kate për bërthamën P1 me bazë fikse prej EQY.

Fig. 7.21 Momentet përbysës në kate për bërthamën P1 me bazë fikse prej EQY.

Fig. 7.22 Forca aksiale në kate për bërthamën P1 me bazë fikse prej EQY.

Fig. 7.23 Forcat prerëse në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.24 Momentet përkulës në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.25 Momenti përdredhës në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.26 Forca aksiale në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.27 Forcat prerëse në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQY.

Fig. 7.28 Momentet përkulës në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQY.

Fig. 7.29 Momenti përdredhës në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQY.

Fig. 7.30 Forca aksiale në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQY.

Fig. 7.31 Forcat prerëse në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.32 Momentet përkulës në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.33 Momenti përdredhës në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.34 Forca aksiale në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.35 Forcat prerëse në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQY.

Fig. 7.36 Momentet përkulës në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQY.

Fig. 7.37 Momenti përdredhës në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQY.

Fig. 7.38 Forca aksiale në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQY.

Fig. 7.39 Forcat prerëse në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.40 Momentet përkulës në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.41 Momenti përdredhës në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.42 Forca aksiale në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.43 Forcat prerëse në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQY.

Fig. 7.44 Momentet përkulës në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQY.

Fig. 7.45 Momenti përbredhës në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQY.

Fig. 7.46 Forca aksiale në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQX.

Fig. 7.47 Spektri elastik i nxitimeve.

Fig. 7.48 Modelimi i nënstrukturës me MEF.

Fig. 7.49 Modelimi i strukturës të izoluar me MEF.

Fig. 7.50 Modelimi i izolatorit pendul me fërkim me element lidhës jolinear.

Fig. 7.51 Parametrat sipas sh.k.l aktive të izolatorit pendul me fërkim.

Fig. 7.52 Akselerogram me frekuencë të ulët.

Fig. 7.53 Akselerogram me periodë të ulët.

Fig. 7.54 Akselerogram me një goditje.

Fig. 7.55 Modi i parë i lëkundjeve i strukturës të izoluar. Modeli jolinear.

Fig. 7.56 Modi i dytë i lëkundjeve i strukturës të izoluar. Modeli jolinear.

Fig. 7.57 Modi i tretë i lëkundjeve i strukturës të izoluar. Modeli jolinear.

Fig. 7.58 Modi i katërt i lëkundjeve i strukturës të izoluar. Modeli jolinear.

Fig. 7.59 Zhvendosja në kohë Dx prej akselerogramës Lexington.

Fig. 7.60 Zhvendosja në kohë Dx prej akselerogramës Newhall.

Fig. 7.61 Zhvendosja në kohë Dx prej akselerogramës S_Monica.

Fig. 7.62 Forcat aksiale në izolatorët 6; 7 dhe 10 prej Lexington sipas u2.

Fig. 7.63 Kurba histeretike në izolatorin FP-6.

Fig. 7.64 Kurba histeretike në izolatorin FP-7.

Fig. 7.65 Kurba histeretike në izolatorin FP-10.

Fig. 7.66 Kurba histeretike e forcave prerëse në bazë sipas dy drejtimeve.

Fig. 7.67 Bilanci energjitik gjatë tërmetit Lexington.

- Fig. 7.68 Bilanci energjitik gjatë tërmetit Newhall.
- Fig. 7.69 Bilanci energjitik gjatë tërmetit Santa Monica.
- Fig. 7.70 Modelimi i mbistrukturës me MEF për analiza lineare.
- Fig. 7.71 Katër Modët e para të lëkundjeve të lira për mbistrukturën.
- Fig. 7.72 Forcat prerëse në kate për strukturën me bazë fiksë prej DCON3.
- Fig. 7.73 Momenti përdredhës në kate për strukturën me bazë fiksë prej DCON3.
- Fig. 7.74 Zhvendosjet në kate për strukturën me bazë fiksë prej DCON3&DCON4.
- Fig. 7.75 Forcat prerëse në kate për strukturën me bazë fiksë prej DCON4.
- Fig. 7.76 Momentet përmbyshës në kate për strukturën me bazë fiksë prej DCON4.
- Fig. 7.77 Forcat prerëse në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQX.
- Fig. 7.78 Momentet përkulës në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQX.
- Fig. 7.79 Momentet përdredhës në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQX.
- Fig. 7.80 Forca aksiale në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQX.
- Fig. 7.81 Forcat prerëse në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQY.
- Fig. 7.82 Momentet përkulës në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQY.
- Fig. 7.83 Momentet përmbyshës në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQY.
- Fig. 7.84 Forca aksiale në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQY.
- Fig. 7.85 Forcat prerëse në kate për bërthamën P2 me bazë të izoluar prej EQX.
- Fig. 7.86 Momentet përkulës në kate për bërthamën P2 me bazë të izoluar prej EQX.
- Fig. 7.87 Momenti përdredhës në kate për bërthamën P2 me bazë të izoluar prej EQX.
- Fig. 7.88 Forca aksiale në kate për bërthamën P2 me bazë të izoluar prej EQX.
- Fig. 7.89 Forcat prerëse në kate për bërthamën P2 me bazë të izoluar prej EQY.
- Fig. 7.90 Momentet përkulës në kate për bërthamën P2 me bazë të izoluar prej EQY.
- Fig. 7.91 Momenti përdredhës në kate për bërthamën P2 me bazë të izoluar prej EQY.
- Fig. 7.92 Forca aksiale në kate për bërthamën P2 me bazë fiksë të izoluar EQY.
- Fig. 7.93 Forcat prerëse në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQX.
- Fig. 7.94 Momentet përkulës në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQX.
- Fig. 7.95 Momenti përdredhës në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQX.

Fig. 7.96 Forca aksiale në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQX.

Fig. 7.97 Forcat prerëse në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQY.

Fig. 7.98 Momentet përkulës në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQY.

Fig. 7.99 Momenti përdredhës në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQY.

Fig. 7.100 Forca aksiale në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQY.

Fig. 7.101 Forcat prerëse në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQX.

Fig. 7.102 Momentet përkulës në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQX.

Fig. 7.103 Momenti përdredhës në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQX.

Fig. 7.104 Forca aksiale në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQX.

Fig. 7.105 Forcat prerëse në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQY.

Fig. 7.106 Momentet përkulës në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQY.

Fig. 7.107 Momenti përdredhës në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQY.

Fig. 7.108 Forca aksiale në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQX.

Fig. 7.109 Forcat prerëse në kat për strukturën me dhe pa izolim.

Fig. 7.110 Forcat prerëse në kat për P1 me dhe pa izolim.

Fig. 7.111 Forcat prerëse në kat për P3 me dhe pa izolim.

Fig. 7.112 Forcat prerëse në kat për P12 me dhe pa izolim.

Fig. 7.113 Momenti përkulës në ramën aksi-3 pa izolim.

Fig. 7.114 Momenti përkulës në ramën aksi-3 me izolim.

LISTA E TABELAVE

- Tab. 2.1 Algoritmi i integrimit të drejtpërdrejtë sipas Newmark.
- Tab. 3.1 Algoritmi i zgjidhjes numerike të elementit plastik.
- Tab. 3.2 Algoritmi i zgjidhjes numerike të elementit bilinear me hap-bosh.
- Tab. 3.3 Algoritmi i zgjidhjes numerike të elementit me shuarje viskoze.
- Tab. 3.4 Algoritmi i zgjidhjes numerike të elementit 3-dimensional me fërkim dhe hap-bosh.
- Tab. 5.1 Ngurtësitetë horizontale efektive të izolatorëve në zhvendosje maksimale.
- Tab. 6.1 Vlerat e faktorit të parë të formës dhe sforcimet kritike Grupi-A.
- Tab. 6.2 Vlerat e faktorit të parë të formës dhe sforcimet kritike Grupi-B.
- Tab. 6.3 Zhvendosjet maksimale të sistemit të izolimit pa përdredhje.
- Tab. 6.4 Zhvendosjet maksimale të sistemit të izolimit. Variacioni i jashtëqendërsisë.
- Tab. 6.5 Shtangësia efektive horizontale $\gamma = 1.5$ [njësia në kN].
- Tab. 7.1 Kombinimi i ngarkesave për strukturën me bazë fikse.
- Tab. 7.2 Modët e lëkundjeve për strukturën me bazë fikse.
- Tab. 7.3 Zhvendosjet absolute dhe relative në kat prej DCON3 për strukturën me bazë fikse.
- Tab. 7.4 Zhvendosjet absolute dhe relative në kat prej DCON4 për strukturën me bazë fikse.
- Tab. 7.5 Forcat e brendshme në kat prej DCON3 për strukturën me bazë fikse.
- Tab. 7.6 Forcat e brendshme në kat prej DCON4 për strukturën me bazë fikse.
- Tab. 7.7 Forcat e brendshme në bërthamën P1 bazë të izoluar prej EQX.
- Tab. 7.8 Forcat e brendshme në bërthamën P1 bazë të izoluar prej EQY.
- Tab. 7.9 Forcat e brendshme në bërthamën P2 prej EQX. Bazë fikse.
- Tab. 7.10 Forcat e brendshme në bërthamën P2 prej EQY. Bazë fikse.
- Tab. 7.11 Forcat e brendshme në bërthamën P3 prej EQX. Bazë fikse.
- Tab. 7.12 Forcat e brendshme në bërthamën P3 prej EQX. Bazë fikse.
- Tab. 7.13 Forcat e brendshme në bërthamën P12 prej EQX. Bazë fikse.
- Tab. 7.14 Forcat e brendshme në bërthamën P12 prej EQY. Bazë fikse.
- Tab. 7.15 Periodat e katër tonëve të parë për strukturën e izoluar.

Tab. 7.16 Modët e lëkundjeve për mbistrukturën.

Tab. 7.17 Zhvendosjet absolute dhe relative në kat prej DCON3 për mbistrukturën.

Tab. 7.18 Zhvendosjet absolute dhe relative në kat prej DCON4 për mbistrukturën.

Tab. 7.19 Forcat e brendshme në kat prej DCON3 për mbistrukturën.

Tab. 7.20 Forcat e brendshme në kat prej DCON4 për mbistrukturën.

Tab. 7.21 Forcat e brendshme në bërthamën P1 prej EQX. Bazë të izoluar.

Tab. 7.22 Forcat e brendshme në bërthamën P1 prej EQY. Bazë të izoluar.

Tab. 7.23 Forcat e brendshme në bërthamën P2 prej EQX. Bazë të izoluar.

Tab. 7.24 Forcat e brendshme në bërthamën P2 prej EQY. Bazë të izoluar.

Tab. 7.25 Forcat e brendshme në bërthamën P3 prej EQX. Bazë të izoluar.

Tab. 7.26 Forcat e brendshme në bërthamën P3 prej EQY. Bazë të izoluar.

Tab. 7.27 Forcat e brendshme në bërthamën P12 prej EQX. Bazë të izoluar.

Tab. 7.28 Forcat e brendshme në bërthamën P12 prej EQY. Bazë të izoluar.

PËRMBLEDHJE

Disertacioni i studimeve të doktoraturës, "Izolimi antisizmik në bazë i strukturave ndërtimore", fokusohet në llogaritjen dhe projektimin e ndërtesave prej betoni të armuar me shumë kate të izoluara në bazë nga pikëpamja sizmike. Në të janë trajtuar ndërtesat me sisteme pasive të izolimit. Këto sisteme nuk kanë nevojë për energji nga jashtë dhe janë operative gjatë gjithë jetës së strukturës. Në këto sisteme janë marrë në studim të hollësisht sistemet e izolimit të përbërë nga izolatorë pendula me fërkim ose izolatorë elastomerikë (gome) të laminuar me pllaka çeliku.

Materialet që përbëjnë izolatorët e lartpërmendur kanë një jetëgjatësi shumë më të lartë se ajo e vetë strukturës. Megjithatë, këto sisteme izolimi projektohen të tillë që të jetë i mundur zëvendësimi i njësisë izoluese në rast dështimi të tyre.

Punimi shkencor është konceptuar me shtatë kapituj që mbulojnë si anën teorike, ashtu dhe atë praktike të analizimit dhe projektimit të strukturave me izolim në bazë.

Në kapitullin e parë jepet një vështrim historik i izolimit në bazë, nevojat që e sollën atë dhe ecurinë e këtyre ndërtesava në vite. Gjithashtu, jepen dhe llojet e izolatorëve pasivë më të përdorshëm.

Në kapitullin e dytë jepen bazat teorike të llogaritjeve të ndërtesave me izolim në bazë. Fillimisht trajtohet teoria lineare e sistemit me dy shkallë lirie dinamike dhe më pas bëhet përgjithësimi i saj për ndërtesat shumëkatëshe. Më tej vazhdohet me algoritmet e analizave jolineare ku mund të përmendim Integrin e drejtpërdrejtë dhe Analizën e shpejtë jolineare, duke përdorur ekuacionet diferenciale të ekuilibrit dinamik. Ekuacionet diferencialë i përkasin familjes së ekuacioneve të Newmark.

Në kapitullin e tretë trajtohen elementët lidhës jolinearë. Këta janë elementë lidhës që mbartin karakteristikat fiziko-mekanike të izolatorëve në veçanti, por dhe karakteristikat e kateve të mbistukturës. Këta elementë janë me gjashtë shkallë lirie jolineare. Në varësi të elementëve janë dhënë modelet matematike dhe algoritmet numerike përkatëse llogaritëse.

Në kapitullin e katërt jepen kërkesat e Eurocod-8 për ndërtesat me izolim antisizmik në bazë. Jepen përkufizimet dhe shprehitë në terma inxhinierikë, llojet e analizave të domosdoshme, kriteret e projektimit të këtyre ndërtesave dhe sistemeve të izolimit në bazë.

Në kapitullin e pestë jepen në mënyrë të detajuar llogaritjet analitike me dorë të sistemeve të izolimit me izolatorë pendula me fërkim dhe izolatorë elastomerikë. Këto analiza, edhe pse kryhen manualisht, janë iterative dhe jolineare. Mund të përdoren me saktësi të kënaqshme për kontroll manual të strukturave me izolim në bazë.

Në kapitullin e gjashtë tregohen analizat kompjuterike jolineare të ndërtesave me izolim në bazë, si për sistemin e izolimit, ashtu dhe për mbistukturën. Rëndësi e veçantë i është kushtuar

efektit të përdredhjes, momentit përmbyshës dhe llogaritjes në qëndrueshmëri të izolatorëve elastomerikë në përgjithësi.

Në kapitullin e shtatë tregohet procedura dhe hapat që ndiqen për llogaritjen e një ndërtese beton-arme 8-9 kate me dy kate bodrum. Ndërtesa ka funksion banimi dhe shërbimesh. Struktura e saj përbehet nga tre pjesë që janë: nënstruktura që përbëhet nga dy katet podrum, sistemi i izolimit që në këtë rast është i përbër nga izolatorë pendula me fërkim, dhe mbi struktura që janë katet shërbime dhe banim mbi tokë. Kjo strukturë është izoluar në kuotën “zero”.

SUMMARY

The dissertation of doctoral studies entitle “Seismic base isolation of civil structures”, focused in analysis and design of R/C multi storeys buildings with seismic base isolated. There are analysed buildings with passive isolation systems. These systems have no need for external energy and operative during all the life span of the structure. From these systems are taken in detailed studies the isolation systems consist of friction pendulum and elastomeric (rubber) steel laminated units.

The over mentioned isolator's compounds materials normally have a life span greater than the structure its self. Although, these isolation systems are designed in a manner that the substitution of isolation units are possible in case of their failure.

This scientific paper is organized in seven chapters that covered as the theoretical and the practical aspects of analyzing and designing of seismic base isolated buildings.

In the first chapter is given a historical view of base isolation, needs that bring him and the ongoing of these types of buildings through years. Also are given the most frequently used kind of passive isolators units.

In second chapter are given the theoretical background of base isolated building analyses. Firstly the linear theory of a two dynamic degree of freedom is given and therefore the generalization for multi-storey buildings is done. Further it goes with the algorithm of nonlinear analyses where the Direct integration and Fast nonlinear analyses can be mention, using the dynamic differential equation. The differential equation belongs to the Newmark's equation family.

In the third chapter are analyzed the nonlinear link elements. These are elements that specially carrying the mechanical and physical properties of isolators units and that of the storeys as well. These are straight elements with six nonlinear degrees of freedom. Depending on the element types are given the proper mathematical models and numerical calculated algorithms.

In the forth chapter are given the requirements according the Eurocode-8 for seismic base isolated buildings. Are given the definitions, engineering terms and their meanings, the needed analysis case and design criteria for these kinds of buildings with seismic base isolated.

In the fifth chapter are given in detailed manner the analytical manual analysis of the isolation systems consist of friction pendulums and laminated rubber bearings. Although these analyses are carrying out by hand, they are going under nonlinear iterative calculations. They can be used with satisfactory accuracy for handy check of the seismic base isolated structures.

In chapter six are shown the computational nonlinear analyses and design procedure as for the isolation system and the superstructure as well. Special care is shown for the effect of torsion moment, overturning moment and stability design of laminated rubber bearings isolators.

In the last chapter the design procedure of 8-9 story building with two underground parking stories are given. The building serves for living and other activities. Its structure consists from three separated parts: understructure which represents the two parking stories, the isolation system which consists from friction pendulum isolators and superstructure used for living and business purposes. This structure is isolated in the ground level.

HYRJE

Në territorin e Republikës së Shqipërisë ndeshim një shumëllojshmëri të ndërtesave si përsa i përket tipologjosë, materialeve të përdorur, periudhës së ndërtimit, funksionit të tyre, etj. Në këtë territor gjenden struktura ndërtimore të antikitetit, mesjetës, periudhës para çlirimt, të realizmit socialist dhe të tranzicionit (të tashme). Ndërtesat e të shkuarës së largët kanë problematika që lidhen kryesisht me degradimin e materialeve si pasojë e veprimit të faktorëve të ndryshëm mjedisorë. Ndërtesat e sotme apo ato të realizmit socialist, përvèç faktorit kohë, vuajnë në një numër të konsideruar ndërhyrjet e papërgjegjshme të individëve të veçantë në elementët strukturor të tyre. Vendı ynë është i pozicionuar në zonë sizmike me intensitete relativisht të larta. Tërmeti, si ngjarje rastësore, mund të godasë pa paralajmërim dhe të shkaktojë dëme të konsiderueshme si në bazë materiale dhe njerëzore. Ndërkohë, me kapërcimin e tranzicionit ekonomik-social-kulturor, njerëzit po ndëgjegjësohen gjithnjë e më shumë mbi riskun potencial sizmik. Ne, si inxhinierë ndërtimi, duhet të jemi të gatshëm që të ofrojmë zgjidhet më të mira përrarritjen e niveleve të pranueshme të sigurisë së strukturave ndërtimore. Këto zgjidhje duhet të vlejnë si për ndërtimin e ndërtesave të reja dhe për mbrojtjen sizmike të strukturave ekzistuese që paraqesin vlera për kombin tonë.

Një prej zgjidhjeve më të avancuara është dhe izolimi në bazë i strukturave të ndërtimit. Këto metoda janë kryesisht të përhapura në vendet e zhvilluara ku të rejet teknologjike përqafohen më lehtësisht. Në fillimet e tyre, këto sisteme izolimi kishin kosto të lartë si për prodhimin e pajisjeve izoluese, por dhe të realizimit të tyre në objekt. Izolatorët kishin përmasa të mëdha, kosto të lartë, pasi prodhoheshin në numër të kufizuar dhe të vështirë në montim. Megjithë kostot e larta, duke parë reagimin tejet pozitiv të strukturave të izoluara përgjatë ngjarjeve sizmike, prodhimi i sistemeve të izolimit u industrializua në shkallë të gjërë. Ky industrializim solli përmirësimin e izolatorëve duke reduktuar kostot e prodhimit dhe duke përmirësuar mënyrat e montimit. Sot, sistemet e izolimit janë lehtësisht të përdorshëm dhe ekonomikisht të pranueshëm.

Nga sa thamë më sipër, është kryesisht detyra e inxhinierëve civilë që të ndërgjegjësojnë dhe t'i ofrojnë zgjidhjet më të mira bashkësisë për një risk sa më të ulët sizmik. Nisur nga zhvillimi aktual i Shqipërisë, izolimi në bazë i strukturave ndërtimore është i përshtatshëm dhe lehtësisht i zbatueshëm.

QËLLIMI

Ky punin shkencor ka për qëllim të bëjë të njojur teknikat e reja në projektimin e ndërtesave antisizmike me izolim në bazë. Për të patur një panoramë të plotë se si funksionojnë ndërtesat e izoluara, në material do të jepen të detajuara:

1. Bazat teorike për reagimin e strukturave me izolim në bazë.
2. Bazat teorike për llogaritjen e sistemit të izolimit.
3. Bazat teorike të projektimit të izolatorëve pasivë për sistemet e izolimit në bazë, veçanërisht për izolatorë pendula me fërkim dhe ata elastomerikë të laminuar.
4. Shembuj të projektimit analistik të sistemeve të izolimit në bazë dhe njësive izoluese (izolatorëve). Llogaritjet manuale.
5. Shembuj të llogaritjeve kompjuterike të sistemeve të izolimit në bazë.
6. Projektimi i një strukture reale me izolim në bazë, duke përdorur si njësi izolimi izolatorë pendula me fërkim.

Nëpërmjet këtij punimi, përdoruesit do të njihen me anët pozitive të strukturave me izolim në bazë, si dhe me problematikën që i shoqëron.

OBJEKTI

Objekti bazë i punimit të Doktoraturës është zërthimi në detaje i llogaritjes së ndërtesave shumëkatëshe me izolim sizmik pasiv në bazë. Për arritjen e këtij objekti do të kryejmë analizat e mëposhtme:

1. Modelin matematik të izolatorëve pendula me fërkim.
2. Modelin matematik të izolatorëve elastomerikë të laminuar me shtresa çeliku.
3. Projektimin e sistemeve të izolimit në bazë, duke përdorur si njësi izolimi izolatorët e mësipërm.
4. Projektimin e izolatorëve si njësi izolimi.
5. Projektimin e mbistrukturës.
6. Projektimin e nënstrukturës.
7. Analizat tekniko-ekonomike të sistemeve me izolim në bazë.

Gjithashtu, objekt i këtij studimi është njojja dhe kuptimi i parimit të funksionimit të sistemeve të izolimit me pendula me fërkim dhe atyre me izolatorë elastomerikë. Të dy këto sisteme kanë për qëllim zgjedhjen e forcave sizmike në strukturë, por që realizohet nëpërmjet dy filozofive

të ndryshme. Sistemet e izolimit me pendula me fërkim nuk lejojnë tejçimin e forcave sizmike mbi një vlerë të paracaktuar që varet nga koeficientët e fërkimit dhe rrezet e sipërfaqeve sferike. Këto sisteme fillojnë të funksionojnë kur forcat prerëse në bazë tejkalojnë forcat e fërkimit në izolatorë. Sistemet e izolimit me izolatorë elastomerikë bëjnë reduktimin e forcave sizmike në strukturë, duke ndryshuar parametrat dinamikë të strukturës së izoluar në tërësi.

KAPITULLI - I -

FILOZOFIA E STRUKTURAVE ME IZOLIM SIZMIK

1. Historiku

Izolimi në bazë i strukturave është një ide sa e re, po aq dhe e vjetër. Në kohët e lashta, njeriu kuptoi se strukturat kishin nevojë për mbështetje, pra për themele të afta që të kryenin tejçimin e ngarkesave prej tyre në tokë. Në varësi të cilësisë dhe jetëgjatësisë së themelit, varej dhe ecuria e strukturës në tërësi. Sistemet e para të izolimit në bazë ka të ngjarë të mos jenë ndërtuar si të tilla. Nga gërmimet arkeologjike në territoret e civilizimeve të lashta, jo rrallë ështe vërejtur përdorimi i themeleve prej druri. Këto bazamente përbëhen prej trungje pemësh të vendosura në formë rrjete me disa shtresa. Me te drejtë mund të thuhet se këto bazamente mund të jenë përdorur për të rritur apo përmirësuar aftësinë mbajtëse të truallit për ngarkesat vertikale. Por a kanë vepruar këto bazamente vetëm si të tilla?!

Një prej shtatë mrekullive të botës, Taj Mahal, e ndërtuar rreth gjysmës së parë të viteve 1600, ruan dhe sot shkëlqimin e saj. Ky është një nga rastet ku si themel shërben një bazament druri. Struktura e saj përbëhet nga gurë dhe mermer masiv me kupola elegante, me bukuri të rrallë. Këto struktura janë të ndjeshme ndaj tërmeteve si përsa i përket materialit të përdorur, po ashtu dhe konceptimit të kopolës. Është e vështirë të besohet se gjatë këtyre katër shekujve, në këtë rajon të mos ketë patur asnjë veprimtari sizmike. Më 10 Dhjetor 1967 u regjistraua një tërmet me magnitudë 6.0 Rihter në rajonin e Maharashtra (170 km në juglindje të Mubai, Taj Mahal Palace). Kohët e fundit, bazamanti i drunjtë ka shfaqur probleme, por kjo si pasojë e degradimit të materialit.

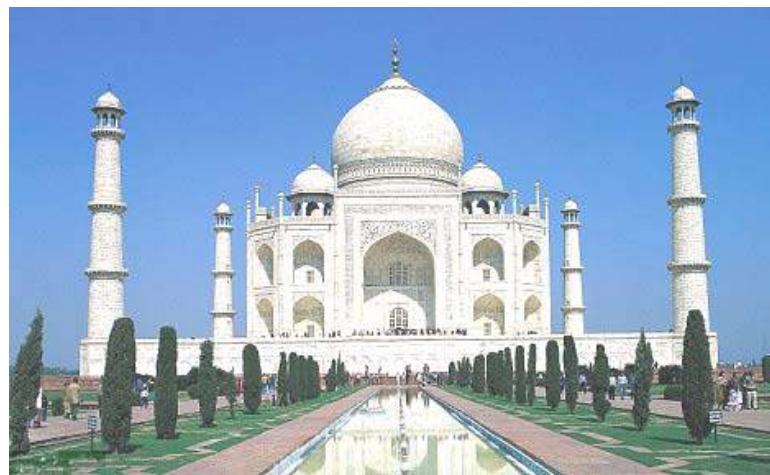


Figura 1.1 Ndërtesa Taj Mahal

Në kohët moderne, patentën e parë për izolimet në bazë, çuditërisht, e mban një mjek anglez. Në 1909, Johannes Avetian Calantariants propozoi izolimin në bazë të strukturave nëpërmjet një sistemi të pastër rrëshqitës. Rrëshqitja realizohet nëpërmjet një shtrese të hollë talku që ndan sipërfaqet e kontaktit të strukturës me themelin. Gjithashtu, ai i dha zgjidhje dhe montimit të linjave ndihmëse si tubat e gazit, shkarkimet, etj. me anë të nyjeve që lejonin zhvendosjet.

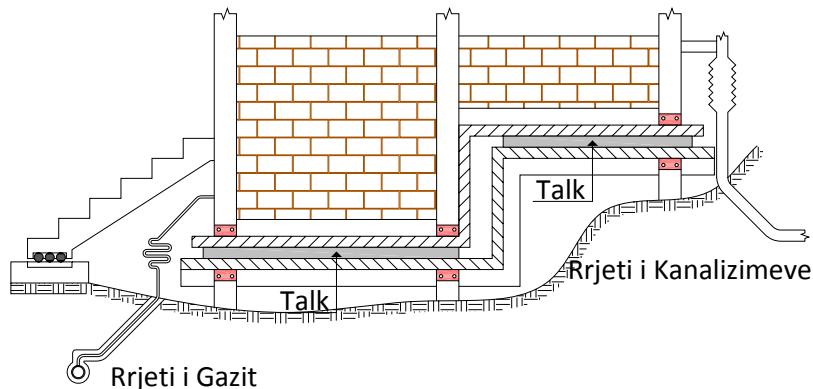


Figura 1.2 Sistemi i parë i izolimit në bazë, patentuar nga J. A. Calantariants

Për herë të parë, izolimi në bazë i strukturave u mendua si strategji e projektimit të ndërtesave antisizmike prej qeverisë Italiane. Tërmeti i Messimo-Reggio në 1908 pasoi me 160,000 viktima, banues në ndërtesa prej tulle të papërforcuara, tipike të kohës për rajonin në fjalë. Komisioni shtetëror propozoi dy mënyra për rindërtimin e zonës, këtë herë duke futur në kode rregullat antisizmike. Mënyra e parë ishte nëpërmjet izolimit në bazë. Sistemi izolues përbëhej prej një shtrese rëre nën mure dhe rula nën kolona. Mënyra e dytë ishte me bazë të fiksuar, kufizime në lartësi dhe element konstruktiv për përballimin e ngarkesave horizontale. Për arsy objektive apo subjektive, u miratua mënyra e dytë. Italia do t'i kthehej idesë në vitet '70 dhe do ta fuste si detyrim në kodin e projektimit pas tërmetit në 6 Prill 2009, Aquila-Itali. Megjithatë, pati tentativa të herëpasherëshme për futjen dhe përdorimin e izolimit në bazë si strategji antisizmike në kodet e projektimit. I tillë qe rasti në Indi pas tërmetit të Dhubai (1930) dhe Bihar (1934). Gjatë këtyre tërmeteve u vërejt se strukturat me murature, në të cilat muret kishin pësuar rrëshqitje kundrejt truallit, kishin shpëtuar, ndërkohë që ndërtesat e fiksuar ishin shkatërruar. I njëjti fenomen u raportua edhe në raste të tjera nëpër botë. Në tërmetin e Tangshan 1976 (Kinë), rrëshqitja e strukturave prej murature me 6 cm kundrejt truallit u përcaktua si vendimtare për mbijetesën e tyre. Nisur nga sa më lart, përpjekje serioze filluan si përsa u përket bazave të llogaritjes, ashtu dhe mbështetjes me anë të laboratorëve, të cilët filluan të testonin objekte në shkallë të vogël apo në shkallë të reale.

Për herë të parë, izolimi sizmik në bazë i ndërtesave u përdor në shkollën fillore Pestalozzi në Shkup të Maqedonisë më 1969 (ish-Jugosllavia). Ndërtesa ka një strukturë betoni të armuar tre

kate dhe si izolatorë shërbejnë bлоqe gome të paarmuar. Për shkak të mungesës së armimit, bлоqet e gomës kanë pësuar deformime anësore dhe degradim. Për këtë arsyе po shikohet dhe mundësia e zëvendësimit të tyre. Ndërtesa u projektua nga një inxhinier zviceran dhe sistemi u emertua Swiss Full Base Isolation-3D.

2. Koncepti i izolimit në bazë

Parimi ku mbështetet izolimi në bazë i strukturave, është reduktimi i transmetimit të energjisë sizmike nga trualli në strukturë. Mënyrat bazë mbështeten kryesisht mbi këto koncepte:

- Mostejçimi i energjisë nga trualli në strukturë mbi një vlerë të paracaktuar. Ky është rasti i sistemeve rrëshqitës. Kur forcat prerëse në bazë të strukturës kalojnë forcën rezistente horizontale të sistemit rrëshqitës, struktura pëson zhvendosje diferenciale në lidhje me truallin. Në këtë rast, struktura llogaritet pér forcë prerëse në bazë sa vlera maksimale e forcës rezistente horizontale e sistemit izolues. Sistemi izolues është pasiv.
- Modifikimi i karakteristikave dinamike të strukturës. Ky është rasti i sistemeve izolues me shtangësi dukshëm më të ulët se ajo e strukturës. Sistemi izolues është pasiv.
- Shuarja e energjisë në sistemin izolues në trajtë viskoze. Në rastin e përgjithshëm, energjia kinetike shndërrrohet në nxehësi. Sistemi izolues është pasiv.
- Modifikimi i kontrolluar i parametrave të sistemit izolues. Në këtë rast kemi të bëjmë me sisteme inteligjente të kontrollit nëpërmjet algoritmeve të ndërlikuara dhe pajisjeve speciale. Sistemi izolues është aktiv.

Sistemet izoluese nuk ndërtohen vetëm të një tipologjie, por zakonisht janë të përzier. Sistemet izoluese mund të mos kenë shuarje në vetvete, por rekomandohen me shuarje pér shëmangien e rezonancës së vetë sistemit.

3. Llojet e izolatorëve në bazë

3.1 Izolatorët me fërkim

Izolatorët me fërkim mund t'i klasifikojmë në disa grupe nisur nga karakteristikat gjemometrike, mënyra e transmetimit të ngarkesës vertikale, materiali, etj. Më poshtë po rendisim disa tipe izolatorësh me fërkim ose siç njihen gjerësisht me emrin “Pendulat me Fërkim”.

a) Pendula me fërkim me një kurbëzim

Në këto pajisje disku mund të rrotullohet rrreth vetes. Nuk janë të përshtatshëm kur kërkohen zhvendosje të mëdha, pasi rezultojnë me kosto relativisht të lartë. Kostot vijnë si rrjedhojë e madhësisë të tyre, ku përveç sasisë së materialit ndikojnë transporti dhe montimi i tyre. Janë të detyrueshëm në qoftë se kërkohet transmetimi i forcës vertikale në bazament pa jashtëqendërsi.

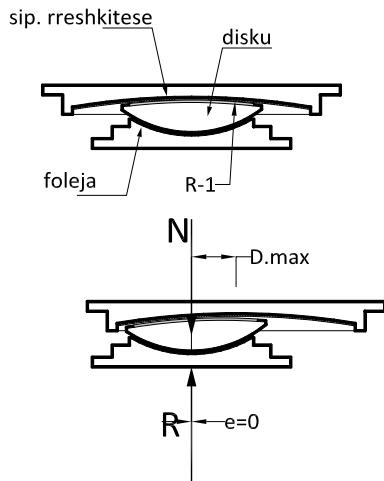


Figura 1.3 Izolator me fërkim me një kurbëzim

b) Pendula me fërkim me dy kurbëzime

Në këtë rast, disku përveç rrotullimit rrreth vetes, rrëshqet dhe kundrejt të dy sipërfaqeve të kurbëzuara. Kjo cilësi e tyre na jep mundësi të përfitojmë zhvendosje të mëdha me kosto të ulët. Këta izolatorë transportohen dhe montohen lehtësisht. Duhet treguar kujdes në marrjen parasysh të jashtëqendërsisë që krijohet në mbështetje.

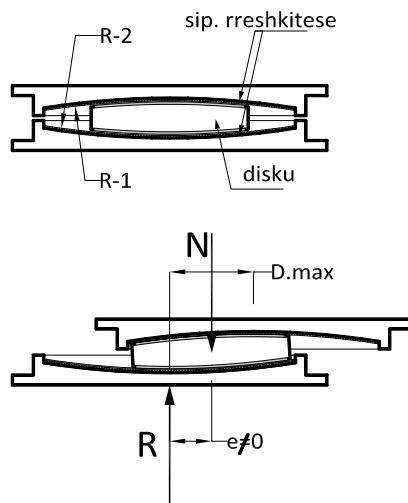


Figura 1.4 Izolator me fërkim me dy kurbëzime

c) Pendula me fërkim që punojnë në tërheqje

Dy tipet e mësipërme të pendulave nuk punojnë në tërheqje. Kjo kërkon që penduli të punojë në shtypje në çdo çast kohe. Në situata reale, ky kusht nuk mund të arrihet gjithmonë, gjë që zgjidhet nëpërmjet pendulave të tipit "c". Në këta pendula, disku qëndron i mbërthyer pas sipërfaqeve rrëshqitëse.

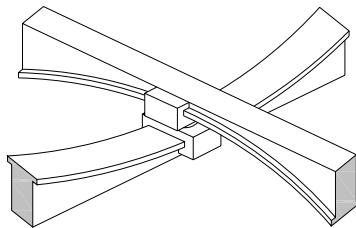


Figura 1.5 Izolator me fërkim me dy kurbëzime që punojnë në tërheqje-shtypje aksiale

d) Pendulat me fërkim triplet

Janë kombinim i pendulit të tipit "a" me atë të tipit "b". Përdoren për të realizuar shuarje të lartë.

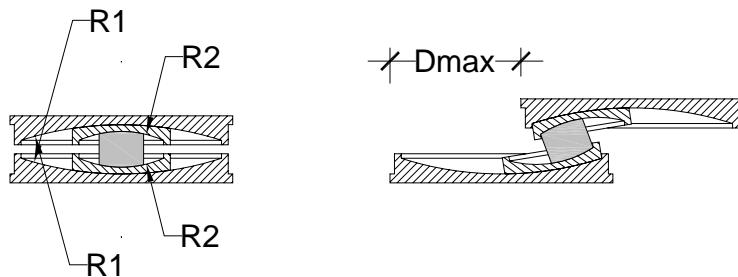


Figura 1.6 Izolator me fërkim triplet

3.2 Izolatorët me elastomerik

a) Izolatorë me gomë

Perbëhen nga masivë gome nëpërmjet procesit të vullkanizimit. Mund të konsiderohen si elementë pa shuarje. Shtangësia vertikale është e ulët. U përdorën në fillimet e izolimit të ndërtesave.



Figura 1.7 Izolator me gomë

b) Izolatorë me gomë të laminuar

Janë izolatorë gome të përforuar me shtresa të holla çeliku. Prania e shtresave të çelikut përmirëson dukshëm shtangësinë vertikale, por shoqërohet me rritje të peshës. Reduktimi i peshës po tentohet të arrihet duke zëvendësuar shtresat e çelikut me fibra karboni. Kanë shuarje të ulët.



Figura 1.8 Izolatorë me gomë të laminuar

c) Izolatorë me gomë të laminuar me shuarje të lartë

Janë të ngjashëm me izolatorët e mësipërm, por në qendër të tyre shtohet një bërthamë me aliazhe të plumbit. Bërrthama prej aliazhi mund të ndjekë deformimet e izolatorit dhe për rrjedhojë shuan një pjesë të energjisë kinetike në nxehësi. Gjithashtu, bërrthama rrit dhe shtangësinë horizontale. Këta izolatorë kanë dhe përdorimin më të gjërë në kategorinë e vet.

3.3 Izolatorët viskozë

Këta izolatorë transformojnë energjinë kinetike në nxehësi në mënyrë viskoze. Ekzistojnë në format nga më të thjeshta tek ato më të ndërlikuara. Përdoren të kombinuara me sisteme izolimi, ku nevojitet rritja e shuarjes së vetë sistemit izolues në tërësi.

3.4 Izolatorët inteliqjentë

Janë pajisje të teknologjisë së lartë. Komandohen nëpërmjet algoritmeve kompjuterike në funksion të ngacmimit të jashtëm. Që të jenë funksional kërkijnë mirëmbajtje të vazhdueshme dhe energji të pandërprerë. Përdorimi i tyre justifikohet vetëm për struktura me kërkesa të rrepta përsa u përket zhvendosjeve dhe nxitimeve ndaj ngacmimeve të jashtme.

KAPITULLI - II -

BAZAT TEORIKE

1. Teoria lineare

Teoria lineare që do të shqyrtojmë u zhvillua nga Kelly, J. M. (1990). Kjo teori trajton sistemin me dy masa, masa m e mbistrukturës dhe m_b e dyshemesë mbi sistemin izolues. Shtangësinë dhe shuarjen e strukturës e shënojmë me k_s, c_s dhe atë të sistemit izolues me k_b, c_b . Gjatë ngjarjes sizmike do të kemi zhvendosjet e truallit, dyshemesë dhe masës së strukturës përkatësisht me simbolet u_g, u_b, u_s . Duke qenë se janë zhvendosjet relative ato që jepin dhe forcat në strukturë dhe sistemin izolues, kalojmë nga zhvendosjet absolute në ato relative:

$$v_b = u_b - u_g \quad v_s = u_s - u_b$$

Nga ana sasiore, ekuacioni dinamik i lëkundjeve për sistemin me dy sh.k.l merr trajtën:

$$\begin{cases} (m + m_b) \ddot{v}_b + m \ddot{v}_s + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b) \ddot{u}_g \\ m \ddot{v}_b + m \ddot{v}_s + c_s \dot{v}_s + k_s v_s = -m \ddot{u}_g \end{cases}$$

Dhe në trajtë matricore do të shkruhej:

$$\begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_b \\ \ddot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_b \\ v_s \end{Bmatrix} = -\begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_g$$

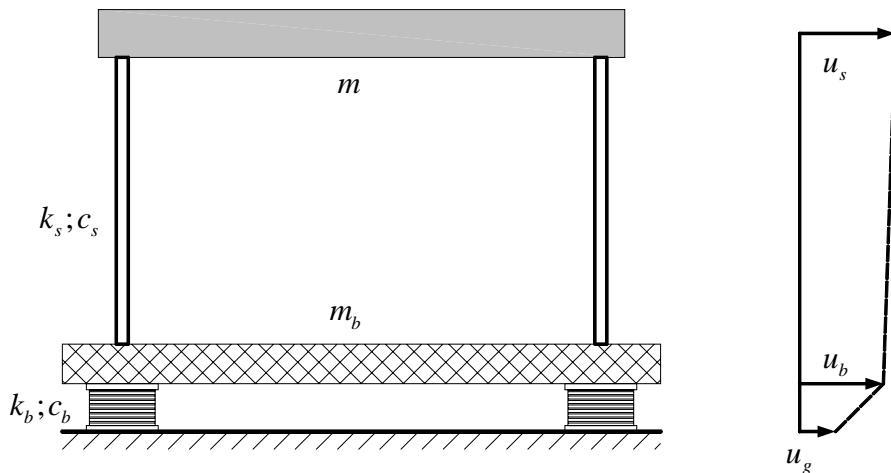


Figura 2.1. Sistemi i izolator me 2 shkl. dinamike

ku $M = m + m_b$. Në trajtë simbolike, ekuacioni matricor merr pamjen:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}\mathbf{u} = -\mathbf{M}\mathbf{r}\ddot{u}_g$$

Përcaktojmë raportin e masave γ me shprehjen

$$\gamma = \frac{m}{m + m_b} = \frac{m}{M}$$

dhe frekuencat rrethore vetjake ω_b dhe ω_s si më poshtë:

$$\omega_b^2 = \frac{k_b}{m + m_b} \quad \omega_s^2 = \frac{k_s}{m}$$

Faktorët e shuarjes β_b dhe β_s jepen nga shprehjet

$$2\omega_b\beta_b = \frac{c_b}{m + m_b} \quad 2\omega_s\beta_s = \frac{c_s}{m}$$

Duke përdorur shprehjet e mësipërme, ekuacioni i lëkundjeve --- merr trajtën

$$\begin{cases} \gamma\ddot{\psi}_s + \ddot{\psi}_b + 2\omega_b\beta_b\dot{\psi}_b + \omega_b^2\psi_b = -\ddot{u}_g \\ \ddot{\psi}_s + \ddot{\psi}_b + 2\omega_s\beta_s\dot{\psi}_s + \omega_s^2\psi_s = -\ddot{u}_g \end{cases}$$

Vektorët modalë klasikë për sistemin me dy sh.k.l. i shënojmë me Φ^1 dhe Φ^2 , ku

$$\Phi^{i^T} = (\phi_b^i, \phi_s^i) \quad i \in 1, 2$$

iu përgjigjen frekuencave ω_1 dhe ω_2 . Ekuacioni karakteristik i frekuencave jepet nga shprehja

$$(1 - \gamma)\omega^4 - (\omega_s^2 + \omega_b^2)\omega^2 + \omega_s^2\omega_b^2 = 0$$

dhe që ka për zgjidhje

$$\begin{cases} \omega_1^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 - \left[(\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \\ \omega_2^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 + \left[(\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \end{cases}$$

Duke i shprehur në funksion të ε

$$\omega_1^2 = \omega_b^2(1 - \gamma\varepsilon) \quad \omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{1 - \gamma}(1 + \gamma\varepsilon) \quad \varepsilon = \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2}$$

dhe vektorët e formave modale me normalizim kundrejt bazës ($\phi_b^i = 1$) $i \in 1, 2$ janë:

$$\Phi^1 = (1, \varepsilon) \quad \Phi^2 = \left\{ 1, -\frac{1}{\gamma} [1 - (1-\gamma)\varepsilon] \right\}$$

Po t'i shprehim zhvendosjet origjinale në koordinata modale do të kemi:

$$v_b = q_1 \phi_b^1 + q_2 \phi_b^2 \quad v_s = q_1 \phi_s^1 + q_2 \phi_s^2$$

ku q_1, q_2 janë parametra modalë me varësi kohore.

Madhësitë modale M_i, L_i që jepen nga ekuacionet

$$M_i = \Phi^{i^T} \mathbf{M} \Phi^i \quad M_i L_i = \Phi^{i^T} \mathbf{M} \mathbf{r}$$

në varësi të ε marrin trajtën:

$$M_1 = M (1 + 2\gamma\varepsilon) \quad M_2 = M \frac{(1-\gamma)[1 - 2(1-\gamma)\varepsilon]}{\gamma}$$

$$L_1 = 1 - \gamma\varepsilon \quad L_2 = \gamma\varepsilon$$

Në ekuacionin e lëkundjeve zëvendësojmë zhvendosjet relative origjnale me ato me koordinata modale dhe ekuacioni--- merr pamjen

$$\begin{cases} \ddot{q}_1 + 2\omega_1\beta_1\dot{q}_1 + \lambda_1\dot{q}_2 + \omega_1^2 q_1 = -L_1 \ddot{u}_g \\ \ddot{q}_2 + \lambda_2\dot{q}_1 + 2\omega_2\beta_2\dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 = -L_2 \ddot{u}_g \end{cases}$$

Termat $2\omega_1\beta_1$ dhe $2\omega_2\beta_2$ llogariten nga shprehja

$$M_i 2\omega_i\beta_i = \Phi^{i^T} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \Phi^i$$

prej të cilës përftojmë

$$\begin{cases} 2\omega_1\beta_1 = 2\omega_b\beta_b(1 - 2\gamma\varepsilon) \\ 2\omega_2\beta_2 = \frac{1}{1-\gamma}(2\omega_s\beta_s + 2\gamma\omega_b\beta_b) \end{cases}$$

dhe

$$\begin{cases} \beta_1 = \beta_b \left(1 - \frac{3}{2}\gamma\varepsilon \right) \\ \beta_2 = \frac{\beta_s + \gamma\beta_b\sqrt{\varepsilon}}{\sqrt{1-\gamma}} \left(1 - \frac{\gamma\varepsilon}{2} \right) \end{cases}$$

Koeficjentët e ndërvarur λ_1 dhe λ_2 llogariten nga shprehjet

$$\begin{cases} \lambda_1 M_1 = \Phi^{1T} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \Phi^2 \\ \lambda_2 M_2 = \Phi^{2T} \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \Phi^1 \end{cases} \Rightarrow \lambda_1 M_1 = \lambda_2 M_2$$

Duke zëvendësuar në shprehjen më sipër $M_1, M_2, \Phi^{(1)}, \Phi^{(2)}$ do të kemi:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{2\omega_b\beta_b M - \varepsilon \left\{ (1/\gamma) [1 - (1-\gamma)\varepsilon] \right\} 2\omega_s\beta_s m}{M(1+2\gamma\varepsilon)} \\ &= 2\omega_b\beta_b (1-2\gamma\varepsilon) - \varepsilon 2\omega_s\beta_s (1-2\gamma\varepsilon) \\ &= 2\omega_b \left[\beta_b (1-2\gamma\varepsilon) - \sqrt{\varepsilon} \beta_s \right] \end{aligned}$$

dhe

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= \frac{2\omega_b\beta_b M - \varepsilon \left\{ (1/\gamma) [1 - (1-\gamma)\varepsilon] \right\} 2\omega_s\beta_s m}{[M(1-\gamma)/\gamma][1-2(1-\gamma)\varepsilon]} \\ &= (2\omega_b\beta_b - \varepsilon 2\omega_s\beta_s) [1+2(1-\gamma)\varepsilon] \frac{\gamma}{1-\gamma} \\ &= 2\omega_b \left\{ \beta_b [1+2(1-2\gamma)\varepsilon] - \sqrt{\varepsilon} \beta_s \right\} \frac{\gamma}{1-\gamma} \end{aligned}$$

Për shumicën e strukturave reale, shuarja është mjaftueshmërisht e vogël dhe elementët jashtë diagonaleve mund të ranohen të barabartë me "zero". Zgjidhja e problemit dinamik thjeshtohet në zgjidhjen e ekuacioneve linearisht të pavarura si më poshtë:

$$\begin{cases} \ddot{q}_1 + \omega_1 \beta_1 \dot{q}_1 + \lambda_1 \dot{q}_2 + \omega_1^2 q_1 = -L_1 \ddot{u}_g \\ \ddot{q}_2 + \lambda_2 \dot{q}_1 + \omega_2 \beta_2 + \omega_2^2 q_2 = -L_2 \ddot{u}_g \end{cases}$$

Në qoftë se kemi regjistrimin e lëkundjeve të tokës $\ddot{u}_g(t)$, parametrat modalë $q_1(t)$ dhe $q_2(t)$ mund të llogariten nga ekuacionet:

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{L_1}{\omega_1} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\omega_1 \beta_1 \tau} \sin(\omega_1 \tau) d\tau \\ q_2 &= \frac{L_2}{\omega_2} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\omega_2 \beta_2 \tau} \sin(\omega_2 \tau) d\tau \end{aligned}$$

me vlerat maksimale të parashikuara nëpërmjet ekuacioneve

$$\begin{cases} |q_1|_{\max} = L_1 S_D(\omega_1, \beta_1) \\ |q_2|_{\max} = L_2 S_D(\omega_2, \beta_2) \end{cases}$$

ku $S_D(\omega, \beta)$ është spektri i zhvendosjeve për lëkundje të truallit $\ddot{u}_s(t)$, për frekuencë ω dhe faktor shuarje β .

Për të vlerësuar përgjigjen nga ana sasiore, nga vlerat maksimale spektrale, kërkohet përdorimi i metodës RKShK (SRSS). Vlerat maksimale të zhvendosjeve relative për sistemin e izolimit dhe të strukturës jepen nga:

$$\begin{aligned} |v_s|_{\max} &= \sqrt{(\phi_1^1 |q_1|_{\max})^2 + (\phi_2^1 |q_2|_{\max})^2} \\ |v_b|_{\max} &= \sqrt{(\phi_1^2 |q_1|_{\max})^2 + (\phi_2^2 |q_2|_{\max})^2} \end{aligned}$$

Duke kaluar nga koordinata modale në ato spektrale, ekuacionet --- marrin trajtën:

$$\begin{aligned} |v_b|_{\max} &= \sqrt{[L_1 S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [L_2 S_D(\omega_2, \beta_2)]^2} \\ &= \sqrt{(1-\gamma\varepsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \varepsilon^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2} \end{aligned}$$

dhe

$$|v_s|_{\max} = \varepsilon \sqrt{(1-2\gamma\varepsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [1-2(1-\gamma)\varepsilon]^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2}$$

Duke patur parasysh që ε ka vlera të vogla, madhësia $\varepsilon^2 S_D(\omega_1, \beta_1)$ mund të neglizohet dhe meqë $S_D(\omega_1, \beta_1) \gg S_D(\omega_2, \beta_2)$, ekuacioni --- thjeshtohet në:

$$|v_b|_{\max} = (1-\gamma\varepsilon) [S_D(\omega_1, \beta_1)]$$

Në ekuacionin --- po të neglizhojmë termat që përbajnë ε^2 , zhvendosjet relative të strukturës do të jepen nga:

$$|v_s|_{\max} = \varepsilon \sqrt{S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + S_D(\omega_2, \beta_2)^2}$$

Si rrjedhojë, koeficienti i forcës prerëse në bazë C_s që jepet me formulën

$$C_s = \left| \frac{k_s v_s}{m} \right|_{\max} = \omega_s^2 |v_s|_{\max}$$

merr pamjen

$$\begin{aligned} C_s &= \omega_s^2 \varepsilon \sqrt{S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + S_D(\omega_2, \beta_2)^2} \\ &= \sqrt{\omega_b^2 S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + \varepsilon^2 \omega_s^4 S_D(\omega_2, \beta_2)^2} \\ &= \sqrt{S_A(\omega_1, \beta_1)^2 + \varepsilon^2 S_A(\omega_2, \beta_2)^2} \end{aligned}$$

Në ekuacionet --- dhe --- pranojmë vetëm termat e parë, do të kemi që:

$$|v_s|_{\max} = \frac{\varepsilon S_v}{\omega_b} = \varepsilon S_D(\omega_b, \beta_b)$$

$$|v_b|_{\max} = \frac{S_v}{\omega_b} = S_D(\omega_b, \beta_b)$$

Kështu që, koeficienti projektues i forcës prerëse në bazë, që jepet nga shprehja

$$C_s = \frac{k_s v_s}{m} = \omega_s^2 v_s$$

merr trajtën

$$C_s = \omega_b S_v \sqrt{1 + \varepsilon^2 \frac{\omega_b^2}{\omega_1^2}} = S_A(\omega_b, \beta_b) \sqrt{1 + \frac{\varepsilon}{1 - \gamma}} = S_A(\omega_b, \beta_b)$$

Për strukturat reale dhe spektër të zakonshëm projektimi, si sistemi i izolimit dhe struktura mund të parallogariten përkatësisht me zhvendosjen relative në bazë sa $S_D(\omega_b, \beta_b)$ dhe koeficienti të forcës prerëse në bazë sa $S_A(\omega_b, \beta_b)$. Koeficienti i reduktimit të forcës prerëse në bazë do të jepej me raportin $S_A(\omega_b, \beta_b)/S_A(\omega_s, \beta_s)$, që mund të përafrohet me raportin ω_b/ω_s ose $\sqrt{\varepsilon}$. Në realitet, forca prerëse në bazë është disi më e madhe, pasi shuarja në sistemin e izolimit është zakonisht më e lartë se ajo e strukturës.

2. Përgjithësimi i teorisë për ndërtesat shumëkatëshe. [F.Naeim & J.M.Kelly-1999]

Teoria lineare për sistemin me dy sh.k.l mund të përshtatet dhe për ndërtesat shumëkatëshe. Sistemin struktural të ndërtesës do ta përfaqësojmë nëpërmjet matricave të masës, shuarjes dhe shtangësisë respektivisht nëpërmjet simbolikës $\mathbf{M}, \mathbf{C}, \mathbf{K}$. Për strukturat tradicionale të zakonshme, ekuacioni i lëkundjeve jepet nëpërmjet ekuacionit:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}\mathbf{u} = -\mathbf{M}\mathbf{r}\ddot{\mathbf{u}}_g$$

\mathbf{u} \mathbf{u} → vektori i zhvendosjeve relative

$\mathbf{r} \rightarrow$ matrica që lidh sh.k.l me nxitimin në bazament

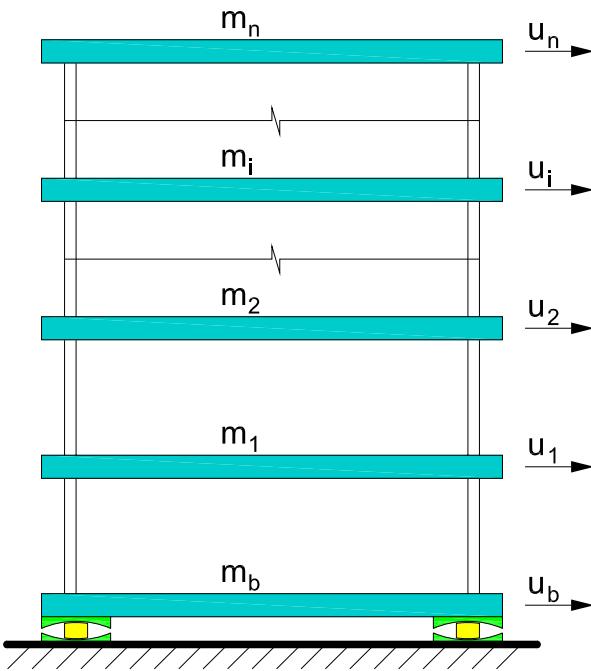


Figura 2.2. Sistemi i izolator me shkallë shkl. dinamike

Kur strukturën e vendosim mbi një sistem izolimi me masë m_b , shtangësi k_b dhe shuarje c_b , ekuacioni merr trajtën:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{v}} + \mathbf{K}\mathbf{v} = -\mathbf{M}\mathbf{r}(\ddot{u}_g + \ddot{v}_b)$$

ku $\mathbf{v} \rightarrow$ vektori i zhvendosjeve relative kundrejt dyshemesë izoluese

$v_b \rightarrow$ vektori i zhvendosjeve relative në sistemin izolues.

N.q.s strukturës i bashkëngjitim dhe sistemin e izolimit, ekuacioni i lëkundjeve merr pamjen:

$$\mathbf{r}^T \mathbf{M} (\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{r} \ddot{v}_b + \mathbf{r} \ddot{u}_g) + m_b (\ddot{v}_b + \ddot{u}_g) + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = 0$$

dhe mund të grupohet në formën

$$\mathbf{r}^T \mathbf{M} \ddot{\mathbf{v}} + (m + m_g) \ddot{v}_b + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_g) \ddot{u}_g$$

Madhësia $\mathbf{r}^T \mathbf{M} \mathbf{r}$ jep masën totale të strukturës, kështu që masa totale që përballohet nga sistemi i izolimit është $m + m_b$. Në trajtë matricore, ekuacioni i lëkundjeve jepet nga:

$$\mathbf{M}^* \ddot{\mathbf{v}}^* + \mathbf{C}^* \dot{\mathbf{v}}^* + \mathbf{K}^* \mathbf{v}^* = -\mathbf{M}^* \mathbf{r}^* (\ddot{u}_g + \ddot{v}_b)$$

me

$$\mathbf{M}^* = \begin{bmatrix} m+m_b & \mathbf{r}^T \mathbf{M} \\ \mathbf{M} \mathbf{r} & \mathbf{M} \end{bmatrix} \quad \mathbf{C}^* = \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & \mathbf{C} \end{bmatrix}$$

dhe

$$\mathbf{K}^* = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & \mathbf{K} \end{bmatrix} \quad \mathbf{r}^* = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{v}^* = \begin{bmatrix} v_b \\ \mathbf{v} \end{bmatrix}$$

Po të analizojmë strukturën me bazë fikse, do të marrin nga rezultatet edhe vektorët e formave modale Φ^i . Në bazë të vektorëve modalë mund të shprehim vektorin e zhvendosjeve relative të strukturës nëpërmjet shprehjes:

$$\mathbf{v} = \sum_{i=1}^N q_i \Phi^i$$

dhe frekuencat rrethore të lëkundjeve natyrore ω_i^2 nga ekuacioni

$$\mathbf{M} \Phi^i \omega_i^2 = K \Phi^i$$

duke pranuar që $\Phi^i \mathbf{C} \Phi^j = 0$ n.q.s $i \neq j$.

Ekuacioni matricor i lëkundjeve reduktohet në një sistem me $N+1$ ekuacione

$$\sum_{i=1}^N \mathbf{r}^T \mathbf{M} \Phi^i \ddot{q}_i + (m+m_g) \ddot{\vartheta}_b + c_b \dot{\vartheta}_b + k_b v_b = -(m+m_g) \ddot{u}_g$$

dhe

$$\ddot{q}_i + 2\omega_i \beta_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = -L_i (\ddot{\vartheta}_b + \ddot{u}_g) \quad i \in 1, \dots, N$$

ku L_i janë faktorët e pjesëmarrjes për modët me bazë të fiksuar dhe jepen nga formula

$$L_i = \frac{\Phi^{i^T} \mathbf{M} \mathbf{r}}{\Phi^{i^T} \mathbf{M} \Phi^i}$$

Masat modale për strukturën me bazë të fiksuar jepen nga

$$M_i = \Phi^{i^T} \mathbf{M} \Phi^i$$

Ekuacionet --- , --- mund të shkruhen në trajtën

$$\sum_{i=1}^N \frac{L_i M_i}{m+m_b} \ddot{q}_i + \ddot{\vartheta}_b + 2\omega_b \beta_b \dot{\vartheta}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g$$

dhe

$$L_i \ddot{\nu}_b + \ddot{q}_i + 2\omega_i \beta_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = -L_i \ddot{u}_g \quad i \in 1, \dots, N$$

Në shumicën e rasteve, moda e parë jep kontributin dërrmues në llogaritjen e sistemit të izolimit dhe të strukturës, prandaj mund të mjaftohemi vetëm me modën e parë.

Ekuacionet --- janë të ngjashëm me sistemin e izoluar me një sh.k.l, ku në vend të $\ddot{\nu}_b$ vendosim $L_1 \ddot{\nu}_b$ dhe në vend të \ddot{u}_b vendosim $L_1 \ddot{u}_b$.

Gjithashtu, raportin e masave

$$\gamma = \frac{m}{m+m_b} = \frac{m}{M}$$

me

$$\gamma_1 = \frac{L_1^2 M_1}{m+m_b}$$

duke na dhënë ekuacionet

$$\frac{L_1^2 M_1}{m+m_b} \ddot{q}_1 + L_1 \ddot{\nu}_b + 2\omega_b \beta_b L_1 \dot{\nu}_b + \omega_b^2 L_1 \nu_b = -L_1 \ddot{u}_g$$

$$L_1 \ddot{\nu}_b + 2\omega_b \beta_b L_1 \ddot{q}_1 = -L_1 \ddot{u}_g$$

Në zgjidhjen e këtyre ekuacioneve, llogaritja e q_1 ndjek atë të ν_s në sistemet me një sh.k.l.

Rezultati kryesor i marrë nga zgjidhja e sistemit me një sh.k.l do të ishte zhvendoja relative

$$|\nu_b|_{\max} = \frac{1}{\omega_b^2} S_A(\omega_b, \beta_b)$$

dhe

$$C_s = \sqrt{S_A(\omega_b^*, \beta_b^*)^2 + \varepsilon^2 (1-\gamma) S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*)}$$

N.q.s bëjmë zëvendësimin me faktorin e pjesëmarrjes

$$|L_1 \nu_b|_{\max} = \frac{1}{\omega_b^2} L_1 S_A(\omega_b, \beta_b)$$

dhe thjeshtojmë L_1 , pasi ndodhet në të dyja krahët, dalim prapë në ekuacionin ---.

Për të gjetur forcën prerëse në bazë, fillimisht llogarisim koordinatën modale

$$|q_1|_{\max} = \sqrt{\frac{\varepsilon_1^2 L_1^2 S_A^2(\omega_b^*, \beta_b^*)}{\omega_b^{*4}} + \frac{\varepsilon_1^2 L_1^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*)}{\omega_s^{*4}}}$$

me $\varepsilon_1 = \omega_b^2 / \omega_1^2$

Vektori i zhvendosjeve relative jepet nga

$$\mathbf{v} = q_1 \Phi^1$$

Po tē neglizhojmë forcën e atëherë forcat pér çdo element jepen nga shprehja

$$\mathbf{F} = \mathbf{K}\mathbf{v} = q_1 \mathbf{K}\Phi^1 = q_1 \mathbf{M}\Phi^1 \omega_1^2$$

dhe forca prerëse totale në strukturë nga

$$\mathbf{r}^T \mathbf{F} = q_1 \omega_1^2 L_1 M_1$$

Në terma të koeficientit të forcës prerëse në bazë, shprehja

$$C_s m = \mathbf{r}^T \mathbf{F}$$

transformohet në

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{L_1 M_1}{m} \sqrt{L_1^2 S_A^2(\omega_b, \beta_b) + (1 - \gamma_1) \varepsilon^2 L_1^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*)} \\ &= \frac{L_1^2 M_1}{m} \sqrt{S_A^2(\omega_b, \beta_b) + (1 - \gamma_1) \varepsilon^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*)} \end{aligned}$$

3. Analiza dinamike me Integrim Numerik të Drejtpërdrejtë. [E.L.Wilson 2002]

Integrimi numerik i drejtpërdrejtë është metoda më e përgjithshme pér zgjidhjen e ekuacioneve të ekuilibrit dinamik. Në këtë metodë kërkon kënaqja e ekuilibrit dinamik pér pikat diskrete në kohë, pasi kemi dhënë më parë zgjidhjen në çastin zero. Në përgjithësi, në pjesën më të madhe të metodave, përdoren intervale të barabarta kohe Δt . Ka një mori teknikash numerike të paraqitura nga kërkues të ndryshëm. Pavarësisht metodikës numerike, ato klasifikohen në dy kategorit, "explicite" (të mirëpërcaktuara) dhe "implicite" (të paravarura).

Metoda explicite nuk kërkon zgjidhjen e një sistemi linear ekuacionesh pér çdo hap Δt . Këto metoda kryesisht përdorin ekuacionin diferencial në kohën "t" pér të parashikuar zgjidhjen në kohën "t+Δt". Për shumicën e strukturave reale që përbajnë elementë të shtangët, kërkon një hap kohe Δt shumë i vogël pér të marrë zgjidhje numerikisht të qëndrueshme.

Kështu që të gjitha metodat explicite janë qëndrueshmërisht të kushtëzuara në varësi të hapit kohor “ Δt ”.

Metoda implicite kërkon që të kënaqë ekuacionin diferencial në çastin “t”, pasi zgjidhja në çastin “t- Δt ” të jetë gjetur. Këto metoda kërkojnë zgjidhjen e sistemeve lineare të ekuacioneve për çdo hap kohor. Megjithatë, mund të përdorim hapa kohorë të mëdhenj. Metodat implicite mund të jenë me qëndrueshmëri numerike të kushtëzuar ose të pakushtëzuar.

Për zgjidhjen e saktë të ekuacioneve diferenciale, metoda shumë-hapa të rendeve të larta janë zhvilluar. Këto metoda pranojnë si zgjidhje funksione të lëmuara ku derivatet e rendeve të larta janë të vazduara. Për shumicën e strukturave lineare rezulton se nxitimet nuk janë funksione të lëmuara, madje dhe jo të vazduara. Kjo pavazhdueshmëri shkaktohet nga jolineariteti histeretik i materialit, epjes së elementëve, sipërfaqeve të kontaktit, etj. Nisur nga kjo, për strukturat do të përdoren metodat me hap tek kohor. Bazuar në ekspericën domethënëse të kërkuesve të spikatur (Edward L. Wilson), për analizat sizmike hap pas hapi të strukturave praktike, vetëm metoda implicite me tek-hap duhen përdorur. Në këto metoda bëjnë pjesë edhe metodat e familjes të Newmark.

4. Metodat e Familjes Newmark

Në 1959, Newmark paraqiti metodat e integrimit të familjes tek-hap për zgjidhjen e problemeve dinamike të strukturave për ngarkesat sizmike dhe shpërthimet. Që prej asaj kohe dhe deri më sot, këto metoda janë përdorur gjerësisht në analizat dinamike të strukturave inxhinierike reale. Në vazhdimësi janë kryer përshtatjet dhe përmirësimet e tyre nga shumë kërkues. Le të marrin në shqyrtim ekuacionin diferencial të ekuilibrit dinamik, i cili do të shkruhej si më poshtë:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}_t + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}_t + \mathbf{K}\mathbf{u}_t = \mathbf{F}_t$$

Përdorimi i drejtpërdrejtë i serisë të Taylor do të na jepte përftimin rigoroz të dy ekuacioneve pasuese:

$$\mathbf{u}_t = \mathbf{u}_{t-\Delta t} + \Delta t \dot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t^2}{2} \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t^3}{6} \dddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + \dots$$

$$\dot{\mathbf{u}}_t = \mathbf{u}_{t-\Delta t} + \Delta t \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t^2}{2} \dddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t^3}{6} \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + \dots$$

Newmark përashtoi termat e lartë dhe pranoi si pjesë të plota kufizat e para në formën e mëposhtme:

$$\mathbf{u}_t = \mathbf{u}_{t-\Delta t} + \Delta t \dot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t^2}{2} \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + \beta \Delta t^3 \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t}$$

$$\dot{\mathbf{u}}_t = \mathbf{u}_{t-\Delta t} + \Delta t \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + \gamma \Delta t^2 \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t}$$

Në qoftë se pranojmë nxitimin linear brenda hapit të kohës, atëherë kemi:

$$\ddot{\mathbf{u}} = \frac{(\ddot{\mathbf{u}}_t - \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t})}{\Delta t}$$

Nga zëvendësimi i ekuacionit ---- në ekuacionet --- dhe --- përftojmë ekuacionet e Newmarkut në formë standarde:

$$\mathbf{u}_t = \mathbf{u}_{t-\Delta t} + \Delta t \dot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + \left(\frac{1}{2} - \beta \right) \Delta t^2 \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + \beta \Delta t^2 \ddot{\mathbf{u}}_t$$

$$\dot{\mathbf{u}}_t = \mathbf{u}_{t-\Delta t} + (1 - \gamma) \Delta t^2 \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + \gamma \Delta t \ddot{\mathbf{u}}_t$$

Newmark zgjidh ekuacionet ..., ... dhe ... nëpërmjet cikleve përsëritëse për çdo hap kohor dhe për çdo shk.l të sistemit struktural.

Në 1962, Wilson formuloi metodën e Newmark në trajtë matricore duke futur shuarjen proporcionale me masën dhe shtangësinë, dhe eliminuar nevojën e cikleve përafruese, duke paraqitur zgjidhjen direkte për çdo hap kohor. Kjo kërkon që ekuacionet ... dhe ... të shprehen në trajtën e mëposhtme:

$$\ddot{\mathbf{u}}_t = b_1 (\mathbf{u}_t - \mathbf{u}_{t-\Delta t}) + b_2 \dot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + b_3 \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t}$$

$$\dot{\mathbf{u}}_t = b_4 (\mathbf{u}_t - \mathbf{u}_{t-\Delta t}) + b_5 \dot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + b_6 \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t}$$

Ku konstantet $b_1 \dots b_6$ jepen në tabelën Zëvendësimi i ekuacioneve ... dhe ... në ekuacionin e ekuilibrit dinamik ..., na lejon që ta shkruajmë atë në trajtën e mëposhtme:

$$(b_1 \mathbf{M} + b_4 \mathbf{C} + \mathbf{K}) \mathbf{u}_t = \mathbf{F}_t + \mathbf{M}(b_1 \mathbf{u}_{t-\Delta t} - b_2 \dot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} - b_3 \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t}) + \mathbf{C}(b_4 \mathbf{u}_{t-\Delta t} - b_5 \dot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} - b_6 \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t})$$

Në tabelën ... jepet algoritmi i integrimit të drejtpërdrejtë ku konstantet $b_1 \dots b_6$ nevojiten të llogariten vetëm një herë. Në sistemet lineare, ky rregull vlen edhe për matricën e ngurtësisë efektive dinamike. Në sistemet jolineare, matrica efektive e ngurtësisë duhet modifikuar hap pas hapi. N.q.s në strukturë kemi instaluar shuarës viskozë, atëherë duhet modifikuar edhe matrica efektive e shuarjes. Kjo vlen për çdo element të strukturës që vetitë e tyre varen nga zhvendosjet apo derivatet e tyre.

Tabela 2.2. Integrimi i drejtpërdrejtë sipas metodës të Newmark

I – Llogaritjet fillestare

a. Ndërtojmë matricat e ngurtësisë, masës dhe shuarjes $\mathbf{K}, \mathbf{M}, \mathbf{C}$

b. Përcaktojmë parametrat e integrimit β dhe γ

c. Llogarisim konstantet e integrimit $b_1 \dots b_6$

$$b_1 = \frac{1}{\beta \Delta t^2} \quad b_2 = \frac{1}{\beta \Delta t} \quad b_3 = \beta - \frac{1}{2}$$

$$b_4 = \gamma \Delta t b_1 \quad b_5 = 1 + \gamma \Delta t b_2 \quad b_6 = \Delta t (1 + \gamma b_3 - \gamma)$$

d. Ndërtojmë matricën efektive të shtangësisë $\bar{\mathbf{K}} = \mathbf{K} + b_1 \mathbf{M} + b_4 \mathbf{C}$

e. Trekëndëzimi i matricës efektive $\bar{\mathbf{K}} = \mathbf{L} \mathbf{D} \mathbf{L}^T$

f. Përcaktojmë kushtet fillestare $\mathbf{u}_0, \dot{\mathbf{u}}_0, \ddot{\mathbf{u}}_0$

II – Për çdo hap kohor $t = \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots$.

a. Llogarisim vektorin e forcave efektive

$$\bar{\mathbf{F}}_t = \mathbf{F}_t + \mathbf{M}(b_1 \mathbf{u}_{t-\Delta t} - b_2 \dot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} - b_3 \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t}) + \mathbf{C}(b_4 \mathbf{u}_{t-\Delta t} - b_5 \dot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} - b_6 \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t})$$

b. Llogarisim vektorin e zhvendosjeve nyiore $\mathbf{L} \mathbf{D} \mathbf{L}^T \mathbf{u}_t = \bar{\mathbf{F}}_t$

c. Llogarisim vektorin e shpejtësive dhe nxitimeve nyiore

$$\dot{\mathbf{u}}_t = b_4 (\mathbf{u}_t - \mathbf{u}_{t-\Delta t}) + b_5 \dot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + b_6 \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t}$$

$$\ddot{\mathbf{u}}_t = b_1 (\mathbf{u}_t - \mathbf{u}_{t-\Delta t}) + b_2 \dot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + b_3 \ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t}$$

d. Përsërisim ciklin për çastin kohor $t = t + \Delta t$

5. Analiza jolineare modale në fushën kohore (ASHJ analiza e shpejtë jolineare).

ASHJ është një metodë ekstremisht efikase për strukturat që në tërësinë e tyre janë lineare, por kanë dhe një sasi të kufizuar elementësh jolinearë. Kjo metodë u përshtat për analiza numerike nga Wilson (Ibrahimbegovic and Wilson, 1989; Wilson, 1993). Metoda kushtëzohet në shprehjen e jolinearitetit nëpërmjët elementëve “link/mbështetje”.

Ekuacionet e ekuilibrit dinamik për një strukturë elastike lineare me elementë jolinearë të paracaktuar link/mbështetje që i nënshtrohet një ngarkimi arbitrar mund të shprehen në trajtën:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}_t + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}_t + \mathbf{K}_L\mathbf{u}_t + \mathbf{F}_{(N)t} = \mathbf{F}_t$$

ku

\mathbf{K}_L është matrica e ngurtësisë për strukturën me elementë elastikë, duke përjashtuar elementët jolinearë;

\mathbf{M}, \mathbf{C} janë përkatësisht matrica diagonale e masës dhe matrica proporcionale e shuarjes

$\mathbf{u}, \dot{\mathbf{u}}, \ddot{\mathbf{u}}$ janë zhvendosjet, shpejtësitë dhe shpejtimet relative kundrejt truallit

$\mathbf{F}_{(N)}, \mathbf{F}$ janë përkatësisht vektori i forcave sipas shkallëve të lirive jolineare, gjeneruar nga elementët jolinearë dhe vektori i forcave të jashtme.

Për qëllime të analizave numerike, për çdo element jolinear përcaktohen shtangësitë efektive lineare sipas shkallëve të lirisë. Vlera e shtangësive merret në mënyrë arbitrale brenda logjikës inxhinierike dhe përvojës. Ekuacionet e ekuilibrit dinamik marrin trajtën e mëposhtme:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}_t + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}_t + \mathbf{K}\mathbf{u}_t = \mathbf{F}_t - \left[\mathbf{F}_{(N)t} - \mathbf{K}_N\mathbf{u}_t \right] \text{ me } \mathbf{K} = \mathbf{K}_L + \mathbf{K}_N$$

ku

\mathbf{K} është matrica e plotë e ngurtësisë

\mathbf{K}_N është matrica e ngurtësisë efektive lineare për të gjitha shk. l jolineare të strukturës.

Analiza modale kryhet duke përdorur matricën e plotë të shtangësisë dhe matricën e masës. Metoda e vektorëve të Ritz ka përparësi kundrejt metodës të vlerave të veta (eigenvalues). Ekuacionet e ekuilibrit në formë modale mund të shkruhen si më poshtë:

$$\boldsymbol{\Omega}^2 \boldsymbol{v}_t + \boldsymbol{\Lambda} \dot{\boldsymbol{v}}_t + \mathbf{I} \ddot{\boldsymbol{v}}_t = q_t - q_{(N)t}$$

ku

$\boldsymbol{\Omega}^2$ është katrori i matricës diagonale të frekuencave strukturore dhe jepet nga:

$$\boldsymbol{\Omega}^2 = \boldsymbol{\Phi}^T \mathbf{K} \boldsymbol{\Phi}$$

$\boldsymbol{\Lambda}$ është matrica diagonale e shuarjes modale dhe jepet nga:

$$\boldsymbol{\Lambda}^2 = \boldsymbol{\Phi}^T \mathbf{C} \boldsymbol{\Phi}$$

\mathbf{I} është matrica njësi dhe jepet nga:

$$\mathbf{I} = \Phi^T \mathbf{M} \Phi$$

q_t është vektori i forcave modale që veprojnë në strukturë si më poshtë:

$$q_t = \Phi^T \mathbf{F}_t$$

$q_{(N)t}$ është vektori i forcave modale prej elementeve jolineare si më poshtë:

$$q_{(N)t} = \Phi^T \left[\mathbf{F}_{(N)t} - \mathbf{K}_N \mathbf{u}_t \right]$$

v_t është vektori i zhvendosjeve modale sipas ekuacionit të mëposhtëm:

$$\mathbf{u}_t = \Phi^T v_t$$

dhe Φ është matrica e formave modale.

Në rastin e analizave lineare, ekuacionet e ekuilibrit janë linearisht të pavarur. Për analizat jolineare, këto ekuacione janë të ndërvarur, pasi forcat modale të gjeneruara sipas shkallëve të lirisë jolineare varen prej zhvendosjeve modale. Kjo dikton marrjen parasysh të këtyre kërkesave të veçanta:

- Çdo shkallë lirie jolineare duhet shoqëruar me masën ose momentin e inertësisë respektive.
- Metoda e vektorëve të Ritz duhet përdorur, përjashtuar rastet kur modelet janë jo shumë të ngarkuar dhe gjithë modët e mundshme të strukturës mund të gjenden duke përdorur metodën e vlerave të veta.
- Vektori fillestar i ngarkimit, sipas Ritz, duhet të përfshijë të gjitha shkallët e lirisë të pavarura jolineare.
- Një numër i mjaftueshëm i vektorëve të Ritz duhet përdorur për të kapur tërësisht deformimin në elementët jolineare.

Shuarja në strukturë jepet si raport i shuarjes kritike për çdo modë lëkundjesh nëpërmjet koeficientit ξ . Koeficienti merr vlerat $0 \leq \xi < 1$. Shuarja modale mund të jepet konstante për të gjitha modët, si funksion i periodave modale ose proporcionale në lidhje me shtangësinë dhe masën. Si matricë ngurtësie duhet përdorur matrica efektive \mathbf{K} , e cila përfshin dhe shtangësitë efektive të elementeve jolineare. Shtangësitë efektive duhen përcaktuar duke supozuar zhvendosjet relative të elementeve jolineare nëpërmjet analizave të thjeshta. Zhvendosjet mund të korrektohen pas kryerjes së analizave të para.

Duke qenë se analizat numerike kryhen sipas ciklevë përafruese të njëpasnjëshme, kuptohet që analizat duhet të kryhen brenda një gabimi elementar të caktuar. Analiza quhet e rregullt kur arrihet konvergjimi si e ekuilibrit të forcave, ashtu dhe balanci i energjisë. Për të

siguruar një zgjidhje konverguese, hapi Δt ndahet në nënhapa më të vegjël. Në rastet kur konvergjenca nuk arrihet, përgjysmohet hapin Δt . Moskonvergjenca mund të vijë dhe si pasojë e modelit matematik të gabuar. Në këtë rast duhen bërë korrigimet e nevojshme në model.

KAPITULLI - III -

ELEMENTËT LIDHËS JOLINEARË

1. Elementi i përgjithshëm tredimensional me dy nyje. [SAP2000 – 2009]

Elementi jolinear me dy nyje është i ngjashëm me elementin tra tredimensional. Për këtë element mund të përdorim dymbëdhjetë shkallë lirie jolineare, gjashtë për çdo nyje. Në qoftë se zhvendosjet e elementit do të jepen si zhvendosje relative, atëherë ky element jolinear shprehet nëpërmjet gjashtë shkallë lirie. Kjo mënyrë e të shprehurit është më e përshtatshme, pasi shpreh më thjesht edhe karakteristikat e pajisjeve izoluese në realitet. Në shumicën e rasteve, një numër i kufizuar i shkallëve të lirisë shpreh një marrëdhënie jolineare, duke thjeshtuar më tej matricat përkatëse të elementit.

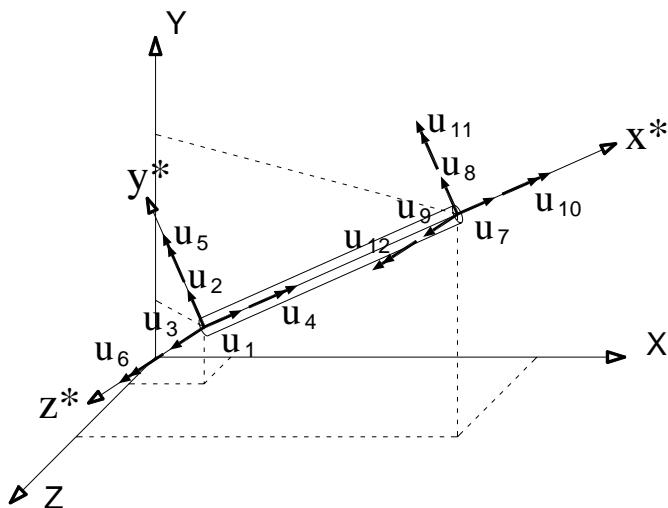


Figura 3.1. Elementi gjatësor me 12 shkl. jolineare

Elementi jolinear, në ndryshim nga elementi tra, pranon dhe gjatësi “zero”. Kjo veçori është e vërtetë për ato raste kur pajisja ose trupi real jolinear nuk shfaq dukuri jolineare sipas aksit gjatësor të tij. Ky është rasti i çernierave plastike, pajisje me kontakt, etj. Për analiza numerike, gjatësia zero jepet po nëpërmjet dy nyjeve, por me koordinata të njëjtë.

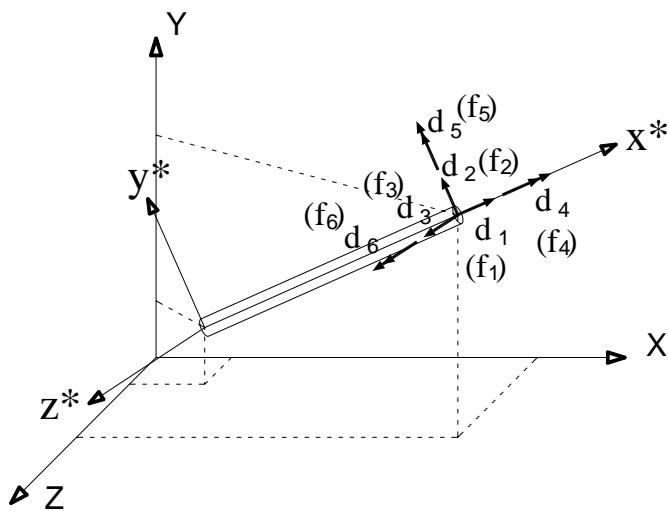


Figura 3.2. Elementi gjatësor me 6 shkl. jolineare

2. Elementi plastik i përgjithshëm

Elementi i përgjithshëm plastik përdoret kryesisht për modelimin e sjelljes jolineare të materialeve të ndryshme. Në Figurën ... jepen parametrat kryesore dhe sjellja e një elementi të tillë.

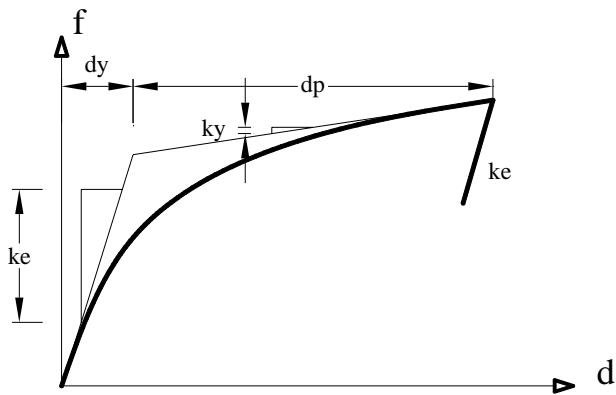


Figura 3.3. Kurba karakteristike e lementit të përgjithshëm plastik

Simbolet e mësipërme paraqesin:

k_e → ngurtësia fillestare lineare

k_y → ngurtësia post rrjedhshmërisë

d_y → deformimi i rrjedhshmërisë

Marrëdhënia forcë-deformim jepet nëpërmjet shprehjes:

$$f = k_y d + (k_e - k_y) e$$

Në shprehjen e mësipërme madhësia d jep deformimin total dhe e është një deformim elastik me kufij $\pm d_y$. Vlerat e tyre përcaktohen nëpërmjet integrimit numerik për çdo hap kohor nga dy ekuacione diferenciale, sipas rastit:

$$\text{n.q.s} \quad \dot{d}e \geq 0 \quad \dot{e} = \left(1 - \left| \frac{e}{d_y} \right|^n \right) \dot{d}$$

$$\text{n.q.s} \quad \dot{d}e < 0 \quad \dot{e} = \dot{d}$$

Përafrimet e diferencave të fundme për çdo hap kohor jepen nga shprehjet:

$$\dot{d} = \frac{d_t - d_{t-\Delta t}}{\Delta t}$$

$$\dot{e} = \frac{e_t - e_{t-\Delta t}}{\Delta t}$$

Algoritmi që jep zgjidhjen numerike në fund të çdo hapi kohor për një çast kohe jepet në tabelën 3.1.

Tabela 3.1. Algoritmi i zgjidhjes numerike të elementit plastik.

1. Ndryshimi i deformimit për hapin kohor Δt në çastin t gjatë ciklit i .

$$\nu = d_t^{(i)} - d_{t-\Delta t}$$

2. Llogarisim deformimin elastik për ciklin i .

$$\text{n.q.s} \quad \nu e_t^{(i-1)} \leq 0 \quad e_t^{(i)} = e_{t-\Delta t} + \nu$$

$$\text{n.q.s} \quad \nu e_t^{(i-1)} > 0 \quad e_t^{(i)} = e_{t-\Delta t} + \left(1 - \left| \frac{e_{t-\Delta t}}{d_y} \right|^n \right) \nu$$

$$\text{n.q.s} \quad e_t^{(i)} > d_y \quad e_t^{(i)} = d_y$$

$$\text{n.q.s} \quad e_t^{(i)} < -d_y \quad e_t^{(i)} = -d_y$$

3. Llogarisim forcën në fund të ciklit.

$$f_t^{(i)} = k_y d_t^{(i)} + (k_e - k_y) e_t^{(i)}$$

Në rastin e shumicës së problemeve praktike, një vlerë $n = 20$ jep sjellje bilineare të vërtetë. Elementi i mësipërm mund të llogaritet me karakteristika të ndryshme në shtypje dhe tërheqje. Në praktikë do të ishte rasti i diagonaleve me shuarje viskoze apo dhe të gërshtuara me nyje fërkimi. Në këta elementë, diagonalja e shtypur ka sjellje të ndryshme nga ajo në tërheqje. Në qoftë se kemi të bëjmë me diagonale të holla, në algoritëm duhet marrë dhe efekti P- Δ .

3. Elementi bilinear në tërheqje me hap-bosh

Elementi bilinear në tërheqje me hap-bosh mund të përdoret për modelimin e elementëve kabëll, si në rastin e urave kur duam të reduktojmë zhvendosjet gjatë lëkundjeve sizmike. I njëjti element mund të përdoret dhe në rastin e shuarësve histeretikë në bazë të strukturave, kur sjellja e tyre ekuivalentohet në sjellje bilineare. Grafikisht, marrëdhënia forcë-deformim jepet në Figurën ---.

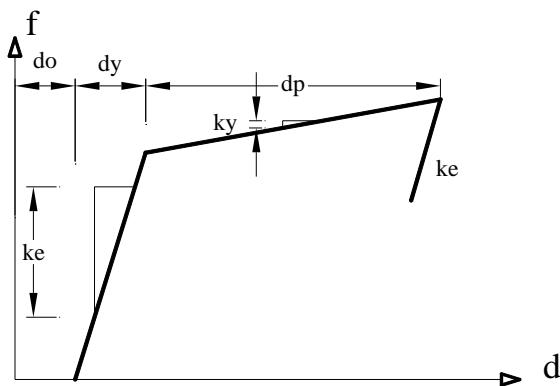


Figura 3.4. Kurba karakteristike e elementit bilinear me hap-bosh

Algoritmi numerik për llogaritjen e këtij elementi jepet në Tabelën 3.2. Deformimi mbetës llogaritet pasi është arritur konvergjencia e tij në hapin paraardhës, duke eliminuar gabimet numerike të mundshme.

Tabela 3.2. Algoritmi i zgjidhjes numerike të elementit bilinear me hap-bosh

1. Llogarism deformimin në tërheqje në hapin kohor Δt në çastin t gjatë ciklit i prej ciklit paraardhës.

$$y = d_{t-\Delta t} - d_0 - d_y$$

n.q.s $y < d_p$ ath. $d_p = y$

2. Llogarism deformimin elastik për ciklin i .

$$d = d_t^{(i)} - d_0$$

$$e_t^{(i)} = d - d_p$$

n.q.s $e_t^{(i)} > d_y$ ath. $e_t^{(i)} = d_y$

3. Llogarism forcën në fund të ciklit.

$$f_t^{(i)} = k_y \left(d_t^{(i)} - d_0 \right) + (k_e - k_y) e_t^{(i)}$$

n.q.s $f_t^{(i)} < 0$ ath. $f_t^{(i)} = 0$

4. Elementi me shuarje viskoze

Në fillimet e veta, pretendohej që shuarja viskoze varej në mënyrë lineare nga shpejtësia. Kjo dukuri vërehej për një sasi të kufizuar materialesh dhe kur deformimet janë të vogla. Kur bazat llogaritëse nuk ishin në nivele të larta, shuarja viskoze konsiderohej si një kundraforcë viskoze. Realiteti është krejt tjetër, pasi pajisjet viskoze që prodhohen nga industria kanë sjellje komplekse jolineare. Metodat numerike që kemi në përdorim sot, nuk kanë ndonjë kërkesë të veçantë në modelimin e këtyre elementeve. Pasi këto pajisje testohen në laborator, është e mundur edhe ndërtimi i algoritmit që zgjidh sjelljen e tyre, pavarësisht sesa e ndërlikuar mund të paraqitet. Le të shqyrtojmë elementin viskoz, modeli i të cilit jepet në Figurën ---

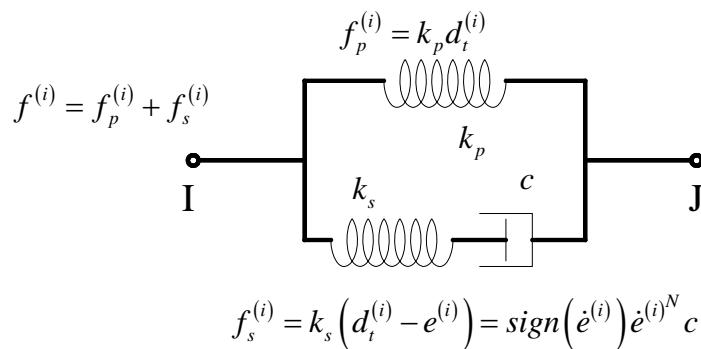


Figura 3.5. Modeli matematik i elementit me shuarje viskoze

Sic duket dhe nga skema llogaritëse, deformimi total $e_t^{(i)}$ përgjatë elementit, duhet llogaritur saktësisht me qëllim arritjen e ekuilibrit të forcave në çdo hap kohor. Ekuacioni diferencial për të përcaktuar deformimin në çasti t të kohës është:

$$e_t^{(i)} = e_{t-\Delta t} + \int_{t-\Delta t}^t \dot{e}_\tau^{(i)} d\tau = e_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t}{2} (\dot{e}_{t-\Delta t} + \dot{e}_t^{(i)})$$

Algoritmi numerik që paraqet sjelljen e elementit jepet në Tabelën 3.3.

Tabela 3.3. Algoritmi i zgjidhjes numerike të elementit me shuarje viskoze

1. Llogarisim forcën e shuarsit në hapin e fundit.

$$f_s^{(i)} = k_s \left(d_t^{(i)} - e_t^{(i-1)} \right)$$

2. Llogarisim shpejtësinë në shuarës për ciklin i .

$$\dot{e}_t^{(i)} = \left(\frac{f_s^{(i)}}{c} \right)^{\frac{1}{N}} \text{sign}(f_s^{(i)})$$

3. Llogarisim deformimin në shuarës.

$$e_t^{(i)} = e_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t}{2} (\dot{e}_{t-\Delta t} + \dot{e}_t^{(i)})$$

4. Llogarisim forcën totale.

$$f_t^{(i)} = k_p d_t^{(i)} + k_s \left(d_t^{(i)} - e_t^{(i-1)} \right)$$

5. Elementi tredimensional në fërkim me hap-bosh

Në rastin e përgjithshëm janë pajisje që gjenden në lidhjet midis elementeve të strukturës apo në kontaktin e strukturës me themelin. Për një llogaritje të saktë të strukturave ndërtimore, elementët me fërkim ndodhen në shtypje. Forcat e fërkimit që zhvillohen midis sipërfaqeve që rrëshqasin janë në përpjestim të drejtë me forcën shtypëse aksiale. Këto forca zerohen kur forcat shtypëse zhdulen. Kur forcat prerëse tejkalojnë forcën e fërkimit apo sipërfaqet humbin kontaktin, zhvillohen deformimet rrëshqitëse. Në pajisjet e sotme me fërkim është e mundur që këto pajisje të punojnë dhe kur forcat aksiale janë në tërheqje. Skema llogaritëse për këtë lloj elementi jepet në Figuren 3.6. Sipërfaqet e kontaktit janë të pozicionuar në të njëjtën pikë në hapësirë dhe ka shtangësitë përkatëse në tre drejtime (shtypje dhe dy drejtimet anësore). Shtangësitë sipas drejtimeve të tjera janë zero ose të papërfillshme.

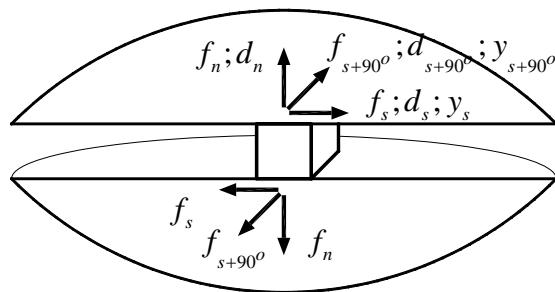


Figura 3.6. Elementi 3-dimensional në fërkim me hap-bosh

Gjatë kohës kur në element ka kontakt, marrëdhëniet forcë-deformim në element jepen nëpërmjet ekuacioneve të mëposhtme:

$$\text{Forca normale} \rightarrow f_n = k_n d_n$$

$$\text{Forca e lejuar rrëshqitëse} \rightarrow f_a = \mu |f_n|$$

$$\text{Forca tagenciale prerëse} \rightarrow \begin{cases} f_s = k_s (d_s - y_s) \\ \text{ose} \\ \bar{f}_s = \text{sign}(f_s) f_a \end{cases}$$

Ku me μ është shënuar koeficienti i fërkimit dhe me y_s deformimi i sipërfaqes rrëshqitëse. Në Tabelën 3.4 jepet algoritmi numerik për përcaktimin e sjelljes së elementit. Për të shmangur luhatjet matematikore, shtangësia vertikale nuk duhet të kalojë njëqind herë shtangësinë tagenciale.

Tabela 3.4. Algoritmi i zgjidhjes numerike të elementit 3-dimisional në fërkim me hap-bosh.

1. Llogarism forcën aksiale dhe forcën e lejuar rrëshqitëse.

$$\text{n.q.s} \quad d_n^{(i)} < 0 \rightarrow f_n^{(i)} = k_n d_n^{(i)} \quad \text{përndryshe} \quad f_n^{(i)} = 0$$

$$f_a^{(i)} = \mu |f_n^{(i)}|$$

2. Llogarism forcën prerëse sipas dy drejtimeve s dhe $s+90^\circ$.

$$\text{n.q.s} \quad d_s^{(i)} < 0 \rightarrow f_s^{(i)} = k_s (d_s^{(i)} - y_s) \quad \text{përndryshe} \quad f_s^{(i)} = 0$$

$$\text{n.q.s} \quad |f_s^{(i)}| > f_a^{(i)} \rightarrow \bar{f}_s^{(i)} = \text{sign}(f_s^{(i)}) f_a^{(i)}$$

3. Llogarism deformimin rrëshqitës.

$$\text{n.q.s} \quad d_s^{(i)} \geq 0 \rightarrow y_s^{(i)} = d_s^{(i)}$$

$$\text{n.q.s} \quad |f_s^{(i)}| = f_a^{(i)} \rightarrow y_s^{(i)} = d_s^{(i)} - \frac{f_s^{(i)}}{k_s}$$

6. Modeli matematik i izolatorëve elastomerikë me gomë

Izolatorët me gomë zotërojnë shuarje histeretike sipas dy drejtimeve të ndërvarur midis tyre. Përsa iu takon 4 sh.k.l të tjera, shtangësitë lineare efektive mund të përdoren për t'i karakterizuar. Modeli plastik histeretik është propozuar nga Wen (1976), Park, Wen dhe Ang (1991).

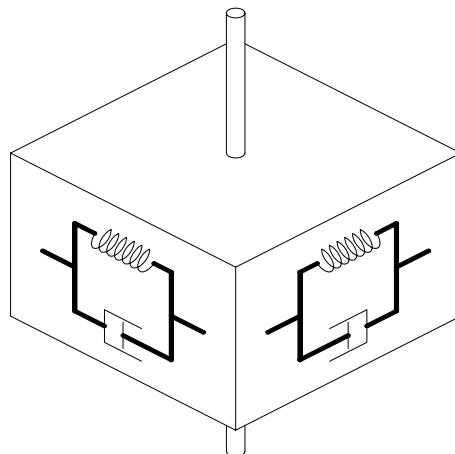


Figura 3.7. Modeli matematik i izolatorit

Sipas shkallëve të lirive prerëse, forcat përkatëse jepen nga shprehjet e mëposhtme:

$$f_{u2} = \frac{k_{e2}}{k_{p2}} \mathbf{k}_2 d_{u2} + \left(1 - \frac{k_{e2}}{k_{p2}}\right) \mathbf{f}_{y2} z_2$$

$$f_{u3} = \frac{k_{e3}}{k_{p3}} \mathbf{k}_3 d_{u3} + \left(1 - \frac{k_{e3}}{k_{p3}}\right) \mathbf{f}_{y3} z_3$$

ku

$\mathbf{k}_2; \mathbf{k}_3 \rightarrow$ koeficientët elastik të sustave

$\mathbf{f}_{y2}; \mathbf{f}_{y3} \rightarrow$ forcat e rrjedhshmërisë

$z_2; z_3 \rightarrow$ variabla të brendshëm histeretik

Variablat histeretikë variojnë sipash kushtit $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} \leq 1$, me ekuacion të sipërfaqes së rrjedhshmërisë $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} = 1$. Në gjendje qetësie, variablat histeretikë kanë vlerën “zero” dhe gjatë lëkundjeve sipas ekuacioneve diferencialë të mëposhtëm:

$$\begin{Bmatrix} \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_2 z_2^2 & -a_3 z_2 z_3 \\ -a_2 z_2 z_3 & 1 - a_3 z_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\mathbf{k}_2}{\mathbf{f}_{y2}} \dot{d}_{u2} \\ \frac{\mathbf{k}_3}{\mathbf{f}_{y3}} \dot{d}_{u3} \end{Bmatrix}$$

ku

$$a_2 = \begin{cases} 1 & n.q.s \quad \dot{d}_{u2} z_2 > 0 \\ 0 & perndryshe \end{cases}$$

$$a_3 = \begin{cases} 1 & n.q.s \quad \dot{d}_{u3} z_3 > 0 \\ 0 & perndryshe \end{cases}$$

Kurba mbështjellëse histeretike jepet nga grafiku në Figurën 3.8

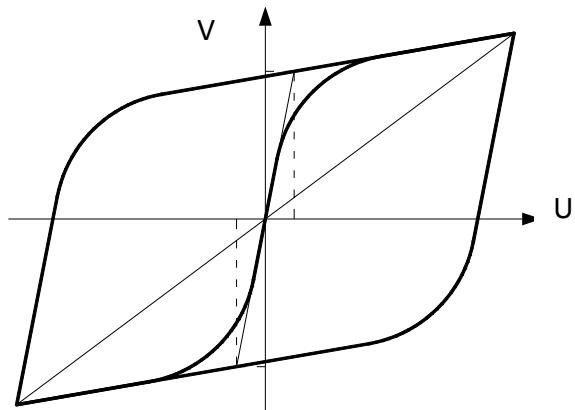


Figura 3.8. Kurba mbështjellëse histeretike e izolatorit elastomerik

7. Modeli matematik i izolatorëve me fërkim

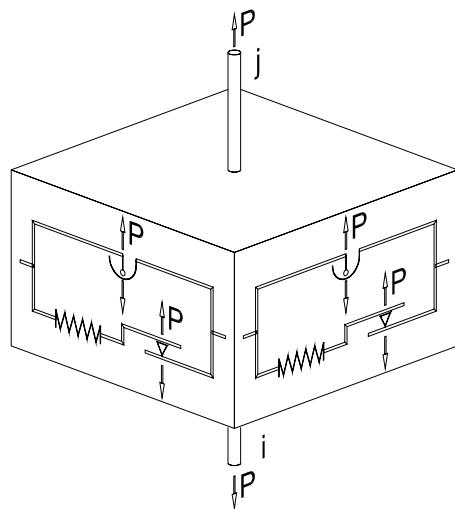


Figura 3.9. Modeli matematik i izolatorit me fërkim

Izolatori me fërkim që do të shqyrtojmë, punon vetëm në shtypje dhe me sjellje jolineare të ndërvarura sipas dy drejtimeve prerëse. Shkallët e lirive rrotulluese mund të përfaqësohen nga shtangësitë efektive. Për arsyе praktike, në varësi të rastit, këto shkallë lirie mund të neglizhohen. Modeli matematik i tyre mund të përdoret dhe për analizat e elementëve të kontaktit në struktura (p.sh themel-bazament). Në Figurën --- jepet modeli matematik i izolatorit pendul me fërkim në shtypje.

Në drejtimin gjatësor, sjellja e izolatorit jepet nga shprehja:

$$f_{u1} \equiv P = \begin{cases} k_1 \cdot d_{u1} & \text{if } d_{u1} < 0 \\ 0 & \text{përndryshe} \end{cases}$$

Në drejtimet tërthore, forcat prerëse llogariten nga ekuacionet e mëposhtme:

$$\begin{aligned} f_{u2} &= f_{u2f} + f_{u2p} \\ f_{u3} &= f_{u3f} + f_{u3p} \end{aligned}$$

Marrëdhënia forcë fërkimi-deformim jepet nga shprehjet:

$$\begin{aligned} f_{u2f} &= -P \cdot \mu_2 \cdot z_2 \\ f_{u3f} &= -P \cdot \mu_3 \cdot z_3 \end{aligned}$$

dhe koeficientët respektivë të fërkimit llogariten nga

$$\begin{aligned} \mu_2 &= \mu_{2f} - (\mu_{2f} - \mu_{2s}) e^{-rv} \\ \mu_3 &= \mu_{3f} - (\mu_{3f} - \mu_{3s}) e^{-rv} \end{aligned}$$

Shpejtësia totale llogaritet si kontribut i shpejtësive sipas dy drejtimeve kryesore

$$v = \sqrt{\dot{d}_{u2}^2 + \dot{d}_{u3}^2}$$

me

$$r = \frac{\frac{1}{v_{2c}} \dot{d}_{u2}^2 + \frac{1}{v_{3c}} \dot{d}_{u3}^2}{v^2}$$

ku

- $f_{u2f}; f_{u3f}$ → forcat e fërkimit
- $f_{u2p}; f_{u3p}$ → forcat anësore të pendulit
- $\mu_2; \mu_3$ → koeficientët e fërkimit sipas drejtimeve tërthore
- $\mu_{2f}; \mu_{3f}$ → koeficientët e fërkimit për shpejtësi të lartë
- $\mu_{2s}; \mu_{3s}$ → koeficientët e fërkimit për shpejtësi të ulët
- $v_{2c}; v_{3c}$ → shpejtësitë karakteristike

- $r \rightarrow$ inversi i shpejtësisë efektive
- $z_2; z_3 \rightarrow$ variabla të brendshëm histeretikë

Variablat histeretikë varojnë sipas kushtit $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} \leq 1$, me ekuacion të sipërfaqes së rrjedhshmërisë $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} = 1$. Në gjendje qetësie, variablat histeretikë kanë vlerën “zero” dhe gjatë lëkundjeve sipas ekuacioneve diferencialë të mëposhtëm:

$$\begin{Bmatrix} \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_2 z_2^2 & -a_3 z_2 z_3 \\ -a_2 z_2 z_3 & 1 - a_3 z_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\mathbf{k}_2}{P\mu_2} \dot{d}_{u2} \\ \frac{\mathbf{k}_3}{P\mu_3} \dot{d}_{u3} \end{Bmatrix}$$

ku

$$a_2 = \begin{cases} 1 & n.q.s \quad \dot{d}_{u2} z_2 > 0 \\ 0 & perndryshe \end{cases}$$

$$a_3 = \begin{cases} 1 & n.q.s \quad \dot{d}_{u3} z_3 > 0 \\ 0 & perndryshe \end{cases}$$

- $\mathbf{k}_2; \mathbf{k}_3 \rightarrow$ shtangësitë horizontale pa rrëshqitje

Marrëdhënia forcë penduli-deformim jepet nga shprehjet:

$$f_{u2p} = -P \cdot \frac{d_{u2}}{R}$$

$$f_{u3p} = -P \cdot \frac{d_{u3}}{R}$$

Kurba mbështjellëse histeretike jepet nga grafiku në Figurën 3.10.

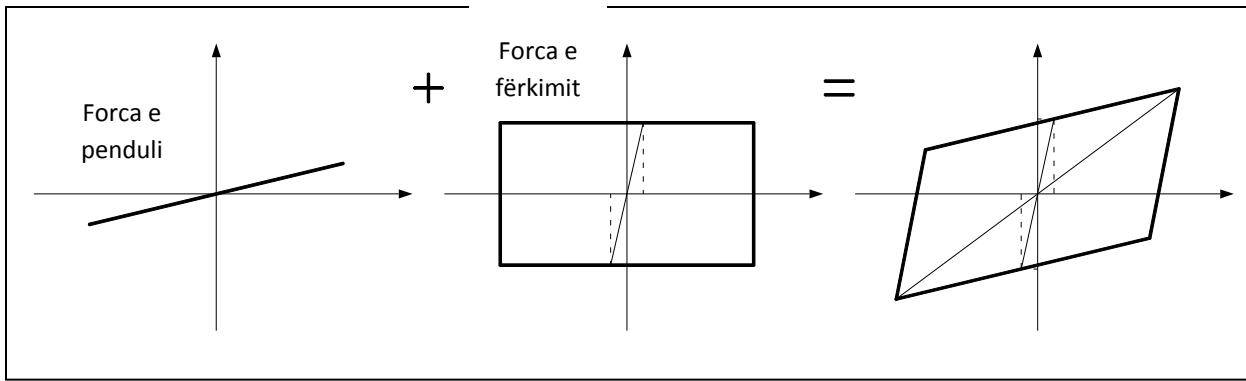


Figura 3.10. Kurba mbështjellëse histeretike e izolatorit elastomerik.

KAPITULLI - IV -

KËRKESAT E IZOLIMIT NË BAZË TË STRUKTURAVE SIPAS EUROCODE 8 (PREN 1998-1:2003)

1. Qëllimi

Procedurat dhe rekomandimet e dhëna në këtë pjesë të Eurocode 8 mbulojnë strukturat në të cilat sistemi i izolimit ndodhet nën masën kryesore të strukturës, dhe ka për qëllim zvogëlimin e forcave prerëse anësore në strukturë.

Mënyra për zvogëlimin e këtyre forcave mund të fitohet duke rritur periodën e modës bazë të strukturës me izolim sizmik, duke modifikuar formën e modës bazë, rritjes së shuarjes në sistemin e izolimit ose kombinimi i tyre. Sistemi i izolimit mund të përbëhet nga elementë susta lineare ose jolineare, me apo pa shuarsa.

Kjo pjesë e Eurocodit nuk mbulon rastet kur sistemi i izolimit nuk është i vendosur në një ndërfaqe, por është i shpërndarë në nivele të ndryshme të strukturës.

2. Shprehi dhe përcaktime

Shprehitë dhe përcaktimet e përdorura janë si më poshtë:

Sistemi i izolimit

Bashkësia e elementëve që përdoren për izolimin sizmik, të vendosur mbi ndërfaqen e izolimit.

Zakonisht ndodhen nën masën kryesore të strukturës.

Ndërfaqja e izolimit

Sipërfaqja që ndan nënstrukturën nga mbistruktura dhe që shërben për vendosjen e sistemit të izolimit.

Izolimi në bazë i strukturave zakonisht përdoret për ndërtesat civile, depozitat dhe siloset. Në ura, sistemi i izolimit zakonisht ndodhet midis mbistrukturës dhe pilave.

Njësi izolimi

Elementi përbërës i sistemit të izolimit që përmbrush një ose kombinim të funksioneve të mëposhtme:

- kapacitet mbajtës të ngarkesave vertikale me fleksibilitet të lartë anësor dhe shtangësi të lartë vertikale;
- shuarës energjie, histeretik apo viskoz;

- rezistencë anësore (shtangësi elastike të mjaftueshme) nën veprimin e forcave josizmike të shërbimit.

Izolatorët e mësipërm iu përkasin grupeve të izolatorëve me gomë të laminuar, pajisjeve elasto-plastike, shuarësve viskozë apo me fërkim, pendulave dhe pajisjeve të tjera që plotësojnë kushtet e izolimit në bazë.

Nënstruktura

Pjesë e strukturës që ndodhet nën ndërfaqen e izolimit, duke përfshirë dhe themelat.

Izolimi në bazë i strukturave zakonisht përdoret për ndërtesat civile, depozitat dhe siloset. Në ura, sistemi i izolimit zakonisht ndodhet midis mbistrukturës dhe pilave.

Mbistruktura

Pjesë e strukturës që izolohet dhe ndodhet mbi ndërfaqen e izolimit.

Izolim i plotë

Mbistruktura është me izolim të plotë, n.q.s ngelet brenda zonës elastike gjatë ndodhjes së tërmetit të projektimit.

Qendra e shtangësisë efektive

Qendra e shtangësisë mbi ndërfaqen e izolimit ku përfshihet fleksibiliteti i sistemit të izolimit dhe ai i nënstrukturës.

Në ndërtesat civile, depozitat dhe siloset, fleksibiliteti i nënstrukturës mund të neglizohet dhe si qendër shtangësie efektive shërben qendra e shtangësisë së sistemit të izolimit. Nuk është e vërtetë në rastin e urave.

Zhvendosja e projektimit (për sistemin e izolimit në drejtimet kryesore)

Zhvendosja maksimale horizontale në qendrën e shtangësisë efektive midis majës së nënstrukturës dhe fundit të mbistrukturës, gjatë ndodhjes së tërmetit të projektimit.

Zhvendosja totale e projektimit (për një njësi izolimi në drejtimet kryesore)

Zhvendosja maksimale horizontale në izolator që përfshin zhvendosjen e projektimit dhe atë që vjen si pasojë e rrotullimit të strukturës kundrejt aksit vertikal.

Shtangësia efektive (për sistemin e izolimit në drejtimet kryesore)

Raporti midis forcës horizontale totale që transmetohet nëpërmjet sistemit të izolimit me vlerën absolute të zhvendosjes së projektimit kur drejtimet e tyre përputhen.

Shtangësia efektive gjendet me anën e analizave interaktive dinamike.

Perioda efektive

Perioda bazë në drejtimin e kërkuar e sistemit me një sh.k.l, që ka masën e mbistukturës dhe shtangësi sa ajo e sistemit të izolimit.

Shuarja efektive (për sistemin e izolimit në drejtimet kryesore)

Vlera e shuarjes efektive viskoze që i përgjigjet energjisë të shuar nga sistemi i izolimit gjatë përgjigjes ciklike me zhvendosje projektimi.

3. Kërkesat

Strukturat e izoluara duhet të plotësojnë kërkesat kryesore që vlejnë për çdo ndërtesë në zonat sizmike të përcaktuara në pikën 2.1 të këtij Eurocodi:

- Kërkesa e mosshkatërrimit për tërmetin e projektimit ($P_{NCR}=10\%$ dhe $T_{NCR}=475$ vjet).
- Kërkesa e limitimit të dëmtimeve për tërmetin e shfrytëzimit ($P_{DLR}=10\%$ dhe $T_{DLR}=95$ vjet).

Për pajisjet e izolimit kërkohet besueshmëri më e lartë. Kjo arrihet duke përdorur faktorin e amplifikimit γ_x për çdo njësi izolimi.

Vlerat që do të përdoren, përcaktohen në Anekset Kombëtare të çdo shteti. Për ndërtesat civile rekomandohet vlera $\gamma_x = 1$.

4.1 – Kriteret standardizuese

Kërkesa bazë për sistemet e izoluara është kontrolli në gjendjen e fundit kufitare, të cilat kanë të bëjnë me moshembjen apo forma të tjera dështimi të strukturës dhe sigurinë e njerëzve.

Në gjendjen e kufizimit të dëmtimeve, të gjitha rrjetet inxhinierike që përshkojnë sistemin e izolimit duhet të ngelin në fazën elastike. Gjithashtu, si mbistruktura dhe nënstruktura duhet të plotësojnë kufizimet e zhvendosjeve relative midis kateve në varësi të strukturës.

$d_r v \leq 0.005h \rightarrow$ për ndërtesa me element jostruktural të thyeshëm që i mbashkëngjiten strukturës:

$d_r v \leq 0.0075h \rightarrow$ për ndërtesa me element jostruktural duktil:

$d_r v \leq 0.010h \rightarrow$ për ndërtesa pa ose me element jostruktural që nuk ndikojnë në deformimin e strukturës:

ku

d_r është zhvendosja relative në kat

h është lartësia e katit

ν është faktori i reduktimit që merr parasysh periodën e ulët të veprimit sizmik që shoqëron kërkesat e kufizimit të dëmeve. Rekomandohen vlerat $\nu = 0.4$ për klasat III, IV dhe $\nu = 0.5$ për klasat I&II.

Në gjendjen e fundit kufitare, aftësia mbajtëse e pajisjes izoluese në terma të forcës dhe deformimeve, nuk duhet të kalojë faktorin e sigurisë γ_x .

Kapitulli trajton vetëm strukturat me izolim të plotë. Pavarësisht se në raste të veçanta ndodh që nënstruktura ka sjellje jolineare, më poshtë do të trajtohet sikur mbetet në fazën elastike.

Në gjendjen e fundit kufitare, sistemi i izolimit mund të arrijë aftësinë mbajtëse kufitare, ndërsa mbi dhe nënstruktura qëndrojnë në gjendje elastike. Në këtë rast nuk del nevoja e projektimit kapacitiv dhe konstruim duktil i mbi dhe nënstrukturës.

Linjat e gazit apo rrjete të tjera të rrezikshme që përshkojnë ndërfaqen e izolimit duhen kontrolluar për gjendjen e fundit kufitare, për zhvendosje që merr në llogari faktorin γ_x .

4. Urdhëresa të përgjithshme

4.1 Urdhëresa të përgjithshme për pajisjet izoluese

Midis mbistukturës dhe nënstrukturës duhet siguruar hapësira e nevojshme që të lejojë montimin, kontrollin, mirëmbajtjen dhe zëvendësimin e pajisjeve përgjatë jetëgjatësisë së strukturës.

N.q.s është e nevojshme, pajisjet duhet të mbrohen nga rreziku i zjarrit, lëndët kimike apo reziqet biologjike.

Materialet e përdorura për projektimin dhe konstruimin e pajisjeve duhet të plotësojnë kërkesat normative bashkëkohore.

4.2 Kontrolli i lëvizjeve të padëshiruara

Për të minimizuar efektin përdredhës, qendra efektive e shtangësisë dhe qendra e shuarjes e sistemit të izolimit duhet të jenë sa më pranë projekzionit të qendrës së masës në ndërfaqen e izolimit.

Për të shmangur sjellje të ndryshme në pajisjet izoluese, sforcimet shtypëse në pajisje prej ngarkesave të përhershme duhet të shpërndahen sa më në uniformë.

Pajisjet izoluese duhet të fiksohen si në mbistukturë dhe në nënstrukturë.

Sistemet e izolimit duhen projektuar të tillë që të kontrollohen goditjet apo lëvizjet përdredhëse të mundshme në mënyrën e duhur. Kërkesa ndaj goditjeve gjykohet si e arrirë,

n.q.s efektet e mundshme të goditjes shmangen përmes pajisjeve të përshtatshme (shuarës, amortizator, etj).

4.3 Kontrolli i lëkundjeve sizmike diferenciale të truallit

Elementët strukturalë mbi dhe nën ndërfaqen e izolimit duhet të kenë shtangësinë e mjaftueshme, si vertikale dhe horizontale, për minimizimin e efekteve të lëkundjeve diferenciale sizmike të truallit. Kjo nuk vlen në rastin e urave apo strukturave të shkallëzuara, ku pilat ose këmbët e ndodhura nën ndërfaqen e izolimit mund të jenë të deformueshme.

Për ndërtesat, kushti quhet i plotësuar nëse kënaqen kushtet e mëposhtme:

- Një diafragmë e ngurtë sigurohet sipër dhe nën sistemit të izolimit, e përbërë prej një solete betoni të armuar ose trarësh në formë "T", projektuar duke marrë në konsideratë të gjithë modët e përkulshmërisë lokale dhe globale. Diafragma e ngurtë nuk nevojitet nëse struktura përbëhet nga strukturë e ngurtë kuti.
- Pajisjet që përbëjnë sistemin e izolimit janë mbërthyer në të dy skajet e diafragmave të ngurta, në mënyrë direkte ose nëpërmjet elementëve vertikalë, kurse zhvendosjet relative horizontale të tyre janë më pak se 1/20 e zhvendosjes relative të sistemit izolues për tërmetin llogaritës.

4.4 Kontrolli i zhvendosjeve relative me truallin dhe konstruksioneve rrighthuese

Hapësirë e mjaftueshme duhet të garantohet midis mbistrukturës së izoluar dhe truallit apo strukturave rrighthuese, për të lejuar zhvendosjet sipas të gjitha drejtimeve gjatë veprimit sizmik të projektimit.

5. Projektimi konceptual i ndërtesave me izolim në bazë

Parimet konceptuale të projektimit për ndërtesat me izolim në bazë duhet të bazohen në kërkesat për strukturat me bazë fikse, me urdhëresat shtesë të mëposhtme.

5.1 Veprimi sizmik

Dy përbërëset horizontale dhe përbërsja vertikale e veprimit sizmik duhet pranuar që veprojnë njëkohësisht.

Çdo përbërës i veprimit sizmik përcaktohet sipas kërkesave të spektrit elastik për strukturat me bazë fikse për kushte lokale të truallit dhe nxitimit projektues të truallit a_g .

Për ndërtesat me rëndësi të klasës IV, spektrat specifike të truallit që përfshijnë efektet në afërsi të burimit sizmik duhen marrë në llogaritje, n.q.s ndërtesa ndodhet në distancë më pak se 15 km prej çarjes aktive më të afërt me magnitudë $M_s \geq 6.5$. Spektra të tillë nuk duhet të merren më pak se spektri standard.

Në ndërtesa, kombinimi i përbërësve të veprimit sizmik jepet nga shprehjet:

$$E_{Edx} + 0.3E_{Edy} + 0.3E_{Edz}$$

$$0.3E_{Edx} + E_{Edy} + 0.3E_{Edz}$$

$$0.3E_{Edx} + 0.3E_{Edy} + E_{Edz}$$

N.q.s analiza jolineare statike (pushover) kryhet, përbërësi vertikal i veprimit sizmik mund të neglizohet.

5.2 Faktori i sjelljes

Përveç rasteve specifike, vlera e faktorit të sjelljes duhet të merret $q = 1$.

6. Karakteristikat e sistemit të izolimit

Vlerat e karakteristikave fizike dhe mekanike të sistemit të izolimit që do të përdoren në analiza duhet të jenë më të pafavorshmet përgjatë jetës së strukturës. Ato duhet të reflekojnë ndikimin e:

- cikleve të ngarkimit
- magnitudën e ngarkimeve vertikale të njëkohshme
- magnitudën e ngarkimeve horizontale të njëkohshme sipas drejtimit tërthor
- temperaturën
- ndryshimet në kohë të karakteristikave

Nxitimet dhe forcat e inercisë shkaktuar nga tërmeti duhet të vlerësohen duke u llogaritur me vlerat maksimale të shtangësisë dhe minimale të shuarjes, si dhe koeficientit të fërkimit.

Zhvendosjet duhet të llogariten duke marrë shtangësinë, shuarjen dhe koeficientin e fërkimit minimal.

Në ndërtesat e rëndësishëm së klasave I ose II, vlerat mesatare fizike dhe mekanike mund të përdoren duke u garantuar që ekstremumet mos të ndryshojnë më shumë se 15% nga vlera mesatare.

7. Analizat strukturore

7.1 Të përgjithshme

Reagimi dinamik i sistemit struktural duhet të analizohet në terma të nxitimeve, zhvendosjeve dhe forcave të inercisë.

Në ndërtesa, efekti i përdredhjes, përfshirë dhe jashtëqendërsinë aksidentale si për strukturat me bazë fikse, duhet të llogariten.

Modelimi i sistemit të izolimit duhet të reflektojë me saktësi të mjaftueshme shpërndarjen hapësinore të njësive izoluese, që zhvendosjet translative horizontale sipas dy drejtimeve, efektet e momentit përmbyssës dhe rrotullimi kundrejt aksit vertikal të llogariten në mënyrë të pranueshme. Ai duhet të reflektoj përshtatshmërisht karakteristikat e njësive të veçanta izoluese të sistemit izolues.

7.2 Analiza lineare ekuivalente

Sipas kushteve të mëposhtme, sistemi i izolimit mund të modelohet me sjellje ekuivalente lineare visko-elastike, në qoftë se ai përbëhet nga pajisje si izolatorët elastomerikë të laminuar ose me sjellje bilineare histeritike, nëse sistemi përbëhet nga izolatorë të tipit elasto-plastik.

Në qoftë se një model ekuivalent linear është përdorur, shtangësia efektive për çdo izolator duhet përdorur, si më lartpërcaktuar. Shtangësia efektive e sistemit të izolimit K_{eff} krijohet si shumë e shtangësive efektive të secilës njësi izoluese. Energjia e shuar në sistemin e izolimit duhet të shprehet në terma të shuarjes viskoze ekuivalente, si "shuarja efektive" ζ_{eff} . Energjia e shuar në izolator duhet të shprehet nga energjia e shuar e matur në cikle me frekuencë në rende të frekuencës natyrore të modës së konsideruar. Për modë të lartë, jashtë këtij rendi, koeficienti i shuarjes modale për të gjithë strukturën duhet marrë sa ai i mbistrukturës me bazë fikse.

Kur shtangësia efektive apo shuarja efektive e një izolatori të caktuar varet nga zhvendosja e projektimit d_{dc} , duhet të përdoren procedura interaktive, derisa diferenca midis vlerës së pranuar dhe asaj të llogaritur nuk kalon 5% të vlerës së pranuar.

Sjellja e sistemit të izolimit mund të konsiderohet të jetë lineare ekuivalente, në qoftë se plotësohen kushtet e mëposhtme:

- a) Shtangësia e sistemit të izolimit është të paktën 50% e shtangësisë në zhvendosjen e $0.2 d_{dc}$.
- b) Raporti i shuarjes efektive të sistemit të izolimit nuk kalon 30%.
- c) Karakteristika forcë-zhvendosje e sistemit të izolimit nuk varion më shumë se 10% për shkak të shpejtësisë së ngarkimit apo prej forcave vertikale.
- d) Rritja në forcën kthyese në sistemin e izolimit midis $0.5 d_{dc}$ është të paktën 2.5% e ngarkesës gravitacionale mbi sistemin e izolimit.

Nëse sjellja e sistemit të izolimit konsiderohet si ekuivalente lineare dhe veprimi sizmik përcaktohet nga spektri elastik, korrigimi i shuarjes duhet të kryhet sipas shprehjes

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \geq 0.55$$

7.3 Analiza e thjeshtuar lineare

Metoda e analizës së thjeshtuar lineare trajton dy lëvizjet dinamike horizontale dhe mbivendos efektin përdredhës statik. Ajo pranon se mbistruktura është trup i ngurtë që lëkundet mbi sistemin e izolimit, ushtruar kushteve më poshtë. Perioda efektive translative jepet nga:

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_{eff}}}$$

ku

M → masa e mbistrukturës

K_{eff} → shtangësia efektive horizontale e sistemit të izolimit

Lëvizja përdredhëse rreth aksit vertikal mund të mos trajtohet në vlerësimin e shtangësisë efektive horizontale dhe në analizën e thjeshtuar lineare, në qoftë se në të dy drejtimet kryesore, jashtëqendërsia totale (përshirë dhe atë aksidentale) midis qendrës së ngurtësisë të sistemit të izolimit dhe projeksionit të masës së mbistrukturës nuk kalon 7.5% të gjatësisë së mbistrukturës sipas drejimit horizontal të zgjedhur. Ky është një kusht për përdorimin e metodës së thjeshtuar lineare.

Metoda e thjeshtuar mund të përdoret për sistemet e izoluara me sjellje shuarje ekuivalente lineare, nëse përmbrush kushtet e mëposhtme:

- a) distanca prej truallit tek çarja e mundshme aktive me magnitudë $M_s \geq 6.5$ është më e madhe se 15 km;
- b) përmasa më e madhe e strukturës në plan nuk i kalon 50 m;
- c) struktura është mjaftueshëm e ngurtë për të minimizuar efektet e zhvendosjeve diferenciale të truallit;
- d) të gjitha pajisjet janë vendosur mbi elementë të nënstrukturës që transmetojnë drejtpërdrejt forcat vertikale;
- e) perioda efektive kënaq kushtin

$$3T_f \leq T_{eff} \leq 3s$$

ku T_f është perioda bazë e mbistrukturës me bazë fiksë (mund të llogaritet me metoda të thjeshta).

Për ndërtesat, përveç sa më sipër, kushtet e mëposhtme duhet të kënaqen për metodën e thjeshtuar të përdorur për sistemet e izoluara me sjellje shuarje ekuivalente lineare:

- a) sistemi rezistues ndaj forcave anësore i mbistrukturës duhet të jetë i rregullt dhe simetrik kundrejt të dy akseve kryesore të strukturës në plan;
- b) efekti përbysës në bazë i mbistrukturës duhet të jetë i neglizhueshëm;
- c) raporti midis shtangësive vertikale dhe horizontale të sistemit izolues duhet të kënaqë kushtin

$$\frac{K_v}{K_{eff}} \geq 150$$

- d) perioda bazë sipas drejtimit vertikal duhet të plotësojë kushtin

$$T_v = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_v}}$$

Zhvendosja e qendrës së ngurtësisë prej veprimit sizmik duhet të llogaritet për çdo drejtim horizontal sipas shprehjes:

$$d_{dc} = \frac{M S_e(T_{eff}, \xi_{eff})}{K_{eff,min}}$$

Ku $S_e(T_{eff}, \xi_{eff})$ është spektri elastik, duke marrë parasysh shuarjen efektive të përshtatshme.

Forca horizontale për çdo nivel të mbistrukturës, për çdo drejtim horizontal, duhet marrë sipas shprehjes:

$$f_j = m_j S_e(T_{eff}, \xi_{eff})$$

Ku m_j është masa në nivelin j .

Sistemi i këtyre forcave shkakton dhe përdredhjen e strukturës nga prania e jashtëqendërsive natyrale dhe aksidentale.

Në rastin kur plotësohen kushtet për neglizhimin e efektit përdredhës kundrejt aksit vertikal, atëherë efekti përdredhës për izolatorët e veçantë mund të trajtohet nga amplifikimi i forcave sipas çdo drejtimi me faktorin δ_i që jepet nga:

$$\delta_{xi} = 1 + \frac{e_{tot,y}}{r_y^2} y_i$$

Ku

$y \rightarrow$ drejtimi horizontal pingul drejtimit x të kërkuar

$(x_i, y_i) \rightarrow$ koordinatat e izolatorit i kundrejt qendrës së ngurtësisë efektive

$e_{tot,y} \rightarrow$ jashtëqendërsia totale në drejtimin y

$r_y \rightarrow$ rrezja përdredhëse e sistemit të izolimit sipas shprehjes

$$r_y^2 = \frac{\sum (x_i^2 K_{yi} + y_i^2 K_{xi})}{\sum K_{xi}}$$

me K_{xi} dhe K_{yi} që janë shtangësitë efektive për izolatorin i në akset respektive.

Efektet përdredhëse në mbistrukturë duhen llogaritur si për strukturat me bazë fikse.

7.4 Analiza e thjeshtë lineare modale

Në rastin kur sjellja e pajisjes mund të konsiderohet si ekuivalente lineare, por kushtet e analizës së thjeshtuar lineare nuk përbushen, analiza modale mund të kryhet si për strukturat tradicionale.

Kur kushtet e analizës së thjeshtë lineare përbushen, një analizë e thjeshtuar mund të përdoret duke trajtuar zhvendosjen horizontale dhe atë përdredhëse kundrejt aksit vertikal, me pranimin që mbi dhe nënstruktura veprojnë si të ngurta. Në këtë rast, jashtëqendërsia totale e masës së mbistrukturës duhet marrë parasysh në analiza. Zhvendosjet në çdo pikë të strukturës duhen llogaritur si kombinim translativ dhe rrotullues. Kjo kërkon llogaritjen e shtangësive efektive për çdo izolator. Forcat inerciale dhe momentet duhet të llogariten për verifikimin e izolatorëve, mbi dhe nënstrukturës.

7.5 Analiza në fushën kohore – THS (Time history analysis)

Në qoftë se sistemi i izolimit nuk mund të përfaqësohet nga një model linear ekuivalent, reagimi sizmik duhet vlerësuar nga analiza në fushën kohore, duke përdorur ligjet konstitutive të pajisjeve që riprodhojnë sjelljen e sistemit në rend të deformimeve dhe shpejtësive në situatat e projektimit sizmik.

8. Elementët jostrukturalë

Elementët jostrukturalë në ndërtesa duhen llogaritur si në ndërtesat tradicionale, por duke konsideruar efektin dinamik të izolimit.

9. Kontrolli i sigurisë në gjendjen e fundit kufitare

Nënstruktura duhet llogaritur për forcat inerciale që veprojnë direkt në të dhe prej forcave që vijnë nga sistemi i izolimit.

Gjendja e fundit kufitare e mbi dhe nënstrukturës duhet kontrolluar duke përdorur vlerat e γ_M përcaktuar mësipër.

Në ndërtesa, verifikimi i sigurisë përsa i përket ekuilibrit dhe rezistencës së mbi dhe nënstrukturës duhet kryer si për strukturat tradicionale. Projektimi kapacitiv dhe duktiliteti global apo lokal nuk është e nevojshme të plotësohen.

Në ndërtesa, elementët strukturalë e mbi dhe nënstrukturës mund të projektohen si joshuarës. Për ndërtesat prej betoni, çeliku ose kompozite çelik-beton, Duktilitet i Klasës së Ulët mund të përdoret.

Në ndërtesa, kushtet e rezistencës për elementët strukturalë të mbistrukturës mund të kënaqen duke llogaritur forcat sizmike pjestuar me faktorin e sjelljes jo më të madh se 1.5.

Duke marrë parasysh humbjen e mundshme të qëndrueshmërisë në izolator dhe përdorur vlerat nationale të γ_M , rezistenca e izolatorëve duhet verifikuar për vlerat e modifikuar me γ_x .

Në varësi të pajisjes izoluese, rezistenca e izolatorit në gjendjen e fundit kufitare duhet kontrolluar në secilin nga termat më poshtë:

- forcat maksimale të mundshme vertikale dhe horizontale për situatën sizmike të projektimit, përfshirë dhe momentin përbysës;
- zhvendosjen totale relative horizontale midis sipërfaqeve të sistemit izolues. Zhvendosja horizontale totale duhet të përfshijë deformimet prej veprimit sizmik dhe efektet e tkurrjes, deform-kohës dhe pas-nderjes (n.q.s struktura është e paranderur).

KAPITULLI - V -

LLOGARITJET ANALITIKE TË SISTEMEVE PASIVE TË IZOLIMIT PËR NDËRTESAT ME IZOLIM NË BAZË

1. Analiza e sistemeve të izolimit me izolatorë pendula me fërkim

Për ilustrim do të paraqesim zgjidhjen analitike të sistemit të izolimit në bazë për një ndërtesë disakatëshe me lartësi të ulët. Sistemi i izolimit me pendula me fërkim është i ndjeshëm ndaj momentit përbysës, pasi këto pajisje nuk punojnë në tërheqje në rastin e përgjithshëm.

Shtangësia horizontale efektive e pendulit është në përpjestim të drejtë me forcën aksiale që vepron mbi të. Kjo bën të mundur që qendra e masës së mbistrukturës të korrespondojë me qendrën e ngurtësisë të sistemit të izolimit. Këto sisteme janë vetëqendërzes dhe shmangin fenomenin e përdredhjes.

Në rastin tonë kemi marrë një strukturë 6kt me funksion banimi. Struktura mbajtëse është ramë hapësinore me sistem konstruktiv tra-kolonë. Seksionet e kolonave janë pranuar me përmasa $50 \times 50\text{cm}$ dhe trarët $30 \times 60\text{cm}$. Lartësitet e kateve janë marrë 3.3m për çdo kat dhe soletat pllakë monolite me trashësi 20cm . Në fig. Xx jepen të dhënat grafike të ndërtesës. Ngarkesa në kat është pranuar uniformisht e shpërndarë me intensitet 10kN/m^2 .

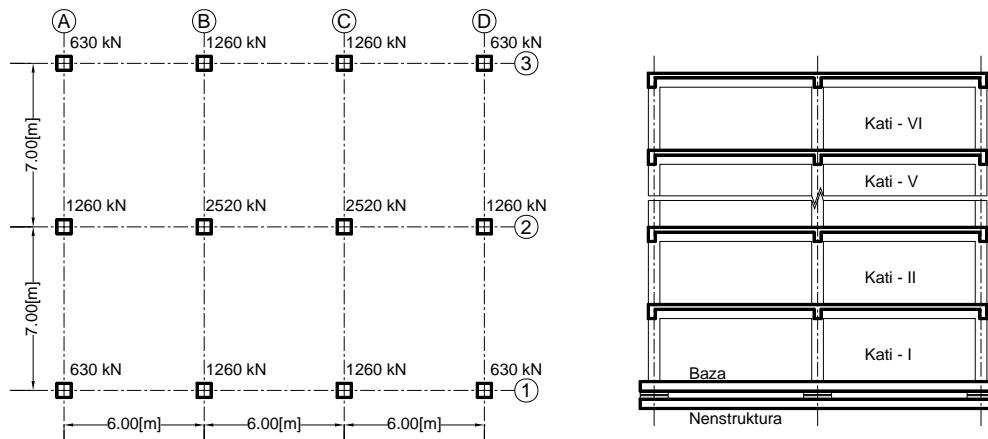


Figura 5.1. Plani i kolonave dhe altimetria e strukturës me izolim pendula me fërkim

1.1 Karakteristikat e pendulave me fërkim

Për të llogaritur karakteristikat e pendulave me fërkim, do të nisemi nga perioda dhe nga zhvendosja maksimale e dëshiruar për sistemin e izolimit.

Si periodë e sistemit të izolimit do të pranohet rekomandimi që jepet në Eurocodin 8 me kufizimet $3T_f \leq T_{eff} \leq 3s$. Për strukturat tra-kolonë, perioda bazë $T_f \approx 0.1 \cdot (n+1)$ ku “n” është numri i kateve dhe në rastin tonë është e rendit 0.7-0.8 sekonda. Pranojmë periodën efektive $T_{eff} = 2.5s$.

Për sistemet e izolimit me pendula me fërkim, perioda efektive jepet nga formula e mëposhtme:

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right)}}$$

Rrezja e pendulit jepet nga shprehja:

$$R = \frac{1}{\frac{4\pi^2}{g \cdot T_{eff}^2} - \frac{\mu}{d}}$$

Për koefiqent fërkimi $\mu = 0.025$, zhvendosje maksimale $d = 0.15m$ dhe periodë efektive $T_{eff} = 2.5s$, rrezja e pendulit rezulton $R = 2.098 \approx 2m$.

5.1.2. Ndërtimi i spektrave elastikë

Spektri elastik i nxitimeve horizontale është ndërtuar sipas Eurokodit 8 prEN 1998-1:2003. Shprehjet matematikore të nxitimeve spektrale jepen nga formulat e mëposhtme:

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

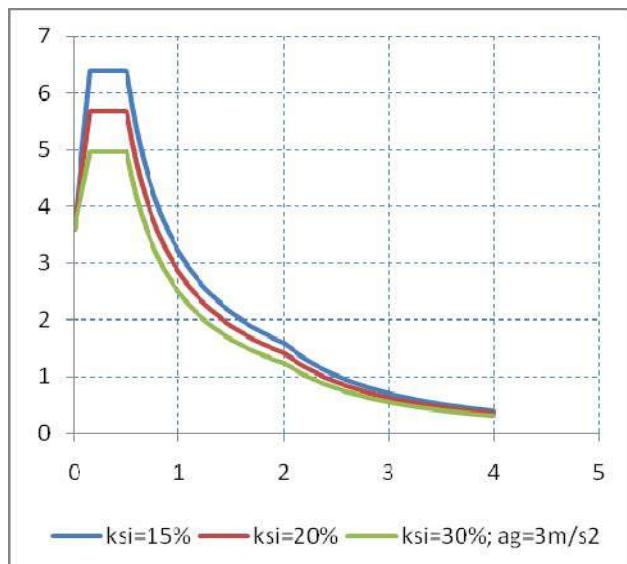


Figura 5.2. Spektri elastik për $a_g=3m/s^2$ për nivele të ndryshme shuarje

për kategori trualli "B" $S = 1.2$; $T_B(s) = 0.15 s$; $T_C(s) = 0.5 s$; $T_B(s) = 2 s$ dhe $a_g = 3 m/s^2$.

Vlerat e shuarjes janë marrë për të mbuluar të gjitha shuarjet e mundshme të sistemit të izolimit në bazë.

1.2 Procedurat e llogaritjes së sistemit të izolimit

- Fillimisht llogarisim masën mbi sistemin e izolimit, që në rastim tonë është $M = 1512 \text{ ton}$.
- Pranojmë shuarjen $\xi = 15\%$ dhe në spektrin elastik me shuarje 15% dhe $a_g = 3 m/s^2$ marrim nxitimin spektral 0.82 m/s^2 që i përgjigjet periodës 2.8 s .
- Llogarisim forcën sizmike që vepron në strukturë: $E_1 = S_{(a)} \cdot M = 0.82 \cdot 1512 = 1240 \text{ kN}$
- Përcaktojmë zhvendosjen e sistemit të izolimit, duke barazuar forcën sizmike me forcën horizontale që gjenerohet në pendul:

$$E_1 = F_u^f + F_u^p \Rightarrow E_1 = -P \cdot \mu - \frac{P \cdot d_u}{r}$$

$$1240 = 15120 \cdot 0.025 + \frac{15120 \cdot d_u}{2} \Rightarrow d_u = 11.4 \text{ cm}$$

- Llogarisim shtangësinë efektive, duke pranuar vetëm në ciklin e parë një zhvendosje 30% $> d_u$:

$$K_{eff} = \frac{-P \cdot \mu}{d_u^*} - \frac{P}{r} = \frac{15120 \cdot 0.025}{1.3 \cdot 0.114} + \frac{15120}{2} = 10111 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Llogarisim periodën efektive

$$T_{eff} \approx 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_{eff}}} = 2 \cdot 3.14 \sqrt{\frac{1512}{10111}} = 2.43 \text{ s}$$

- Llogarisim forcën sizmike që vepron në strukturë për $\xi = 15\%$ dhe $T_{eff} = 2.43 \text{ s}$:

$$E_1 = S_{(a)} \cdot M = 1.11 \cdot 1512 = 1678 \text{ kN}$$

dhe zhvendosjen korresponduese $d_u = 17.2 \text{ cm}$

- Llogarisim shtangësinë efektive me zhvendosjen e gjetur:

$$K_{eff} = \frac{-P \cdot \mu}{d_u^*} - \frac{P}{r} = \frac{15120 \cdot 0.025}{0.172} + \frac{15120}{2} = 9758 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Përsërisim ciklet deri sa zhvendosjet e njëpasnjëshme të ndryshojnë më pak se 5% dhe përftojmë në ciklin e katërt vlerat e mëposhtme:

$$T_{eff} = 2.45s \quad K_{eff} = 9923kN/m \quad d_u = 16.2cm$$

- Llogarism shuarjen efektive për një cikël histeretik

$$C_{eff} = 4F_u^f \cdot d_u = 4 \cdot 378 \cdot 0.162 = 245kJ$$

dhe

$$C_{Cr} = 2\sqrt{K_{eff}M} = 2\sqrt{9922.5 \cdot 1512} = 7745kJ$$

$$\xi_{eff} = \frac{C_{eff}}{C_{Cr}} = 31.6\%$$

Meqenëse sistemi i izolimit zotëron një shuarje më të madhe nga shuarja e pranuar në hapin e parë, fillojmë ciklet e dyta të llogaritjeve duke pranuar shuarjen $\xi_{eff} = 31.6\%$, $K_{eff} = 9923kN/m$ dhe $T_{eff} = 2.45s$. Në përfundim të cikleve të dyta marrim rezultatet e mëposhtme:

$$\xi_{eff} = 23.4\% \quad K_{eff} = 10560kN/m \quad T_{eff} = 2.37s \quad d_u = 12.6cm$$

Përsërisim ciklet derisa dy zhvendosjet pasardhëse të ndryshojnë më pak se 5%. Në përfundim të analizave përftojmë rezultatet e mëposhtme:

$$\xi_{eff} = 22\% \quad K_{eff} = 10513kN/m \quad T_{eff} = 2.38s \quad d_u = 12.8cm$$

- Llogarism shtesën e forcës aksiale në izolatorët perimetralë

$$\Delta P = \frac{E_1 \cdot h_{CM}}{L \cdot n_{Kol}} = \frac{1370 \cdot 9.9}{14 \cdot 4} = 242kN$$

- Llogarism forcat aksiale për izolatorët qendrorë dhe perimetralë

$$\text{Kolona në Akset A;D-1;3: } P_1 = -W_1 - \Delta P = -530 - 242 = -772kN$$

$$\text{Kolona në Akset B;C-2: } P_2 = -W_2 = -2520kN$$

$$\text{Kolona në Akset B;C-1;3: } P_3 = -W_3 - \Delta P = -1260 - 242 = -1502kN$$

Në treg zgjedhim izolatorët që përbushin kërkesat e projektimit dhe konkretisht:

4 izolatorë N1000, 6 izolatorë N2000 dhe 2 izolatorë N3000 me rreze kurbature 2m, koeficient fërkimi $\mu = 0.025$ dhe zhvendosje maksimale $d_u^{\max} = 20cm$ më e madhe se $d_u \cdot \gamma_u = 12.8 \cdot 1.2 = 15.4cm$

2. Analiza e sistemeve të izolimit me izolatorë elastomerikë të laminuar [Murtaj L., Murtaj E. – 2015]

Izolatorët elastomerikë janë pajisje izoluese, karakteristikat e të cilëve varen nga madhësia e deformimeve elastike dhe forcës aksiale që vepron mbi të. Sistemet e izolimit me izolatorë elastomerikë janë të ndjeshëm ndaj jashtëqendërsisë dhe momentit përbysës.

Jashtëqendërsia shkakton një moment përdredhës që shoqërohet nga rrotullimi në plan i sistemit të izolimit. Si pasojë e rrotullimit, izolatorët pësojnë zhvendosje shtesë pozitive ose negative, në varësi të pozicionit të tyre dhe drejtimit të forcës sizmike. Zhvendosjet diferenciale midis izolatorëve sjellin reduktimet përkatëse të shtangësive efektive, duke modifikuar qendrën e ngurtësisë të sistemit të izolimit. Për rrjedhojë, jashtëqendërsia e sistemit të izolimit varion në varësi të momentit përdredhës, duke rritur madhësinë e saj. Me rritjen e jashtëqendërsisë rritet dhe momenti përdredhës, duke sjellë një rritje të mëtejshme të saj. Rritja e jashtëqendërsisë vazhdon derisa momenti i jashtëm përdredhës ekuilibrohet nga momenti i brendshëm reaktiv.

Përveç fenomenit të përdredhjes, shtangësia horizontale efektive e izolatorit modifikohet dhe nga veprimi i forcës aksiale që shkaktohet nga forcat statike dhe momenti përbysës. Me rritjen e deformimeve laterale dhe forcave aksiale rritet dhe reduktimi i ngurtësisë efektive horizontale të izolatorit.

Llogaritjet vazhdojnë në cikle interaktive dhe në çdo cikël kërkohet arrija e ekuilibrit dinamik. Ciklet ndërpriten kur dy zhvendosje të njëpasnjëshme nuk ndryshojnë më shumë se saktësia e kërkuar.

Për ilustrim do të paraqesim llogaritjen e sistemit të izolimit të një ndërtese 6-katëshe me planimetri të çrregullt si në Fig. Lartësitë e kateve janë marrë të barabarta me 3.3m, ndërsa pesha në kat është pranuar uniformë me intensitet 10kN/m^2 . Qendra e masës përputhet me qendrën gjeometrike të planit të strukturave. Do të pranojmë dhe një jashtëqendërsi aksidentale prej 5% të gjatësisë në plan sipas të dy drejtimeve të ndërtësës, parashikuar në Eurocode-8, pingul me drejtimin e veprimit sizmik. Në këto sisteme izolimi, qendra e ngurtësisë llogaritet nga momentet statike të ngurtësive efektive horizontale të izolatorëve të veçantë. Meqë ngurtësitë efektive horizontale ndryshojnë në varësi të deformimeve prerëse dhe forcave aksiale, kjo qendër nuk është pikë fiksë. Forcat aksiale statike që veprojnë në izolator janë llogaritur në bazë të sipërfaqeve përkatëse të strukturës që mbështesin.

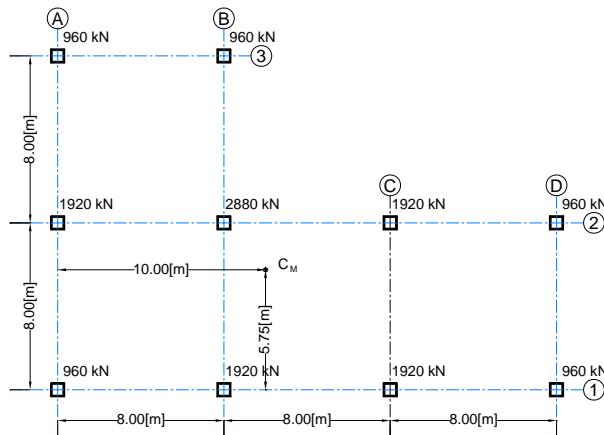


Figura 5.3. Plani i kolonave për ndërtesën 6kt izolator elastomerik

2.1 Karakteristikat e materialit elastomerik

Izolatorët që do të studiojmë, janë izolatorë elastomerikë të laminuar me shtresa çeliku. Karakteristikat e çelikut nuk ndikojnë ndjeshëm në karakteristikat e izolatorit. Për këtë arsye do të ndalemi vetëm në vlerësimin e materialit elastomerik (gomës). Materiali i gomës i përdorur për izolatorët elastomerikë është zgjedhur MVBR-0468 (X 0.4R), prodhuar nga Korporata Bridgestone dhe certifikuar në Dhjetor 2012 [Bridgestone Corporation – 2013].

Moduli dinamik në prerje dhe shuarja efektive ξ_{ef} që zotëron materiali, janë funksion i deformimeve prerëse dhe sforcimeve aksiale. Nga prodhuesi jepen vlerat për sforcime aksiale zero dhe kënd rrëshqitje $\gamma = 1$ përkatësisht $G_{eff} = 392 \text{ kPa}$ $\xi_{ef} = 22\%$. Të dy parametrat janë të ndjeshëm ndaj këndit të rrëshqitjes dhe marrëdhënia e tyre kundrejt γ jepet nëpërmjet serive polinomiale të mëposhtme.

$$G_{eff} = 0.054\gamma^4 - 0.416\gamma^3 + 1.192\gamma^2 - 1.538\gamma + 1.145$$

$$\xi_{eff} = -0.006\gamma^3 + 0.018\gamma^2 - 0.008\gamma + 0.216$$

Sic shihet dhe nga Fig. , për vlera të vogla të deformimeve prerëse materiali shfaq shtangësi të lartë. Kjo veti bën të mundur shhangjen e lëkundjeve për forca laterale me magnitudë të ulët si në rastin e veprimit të erës. [5].

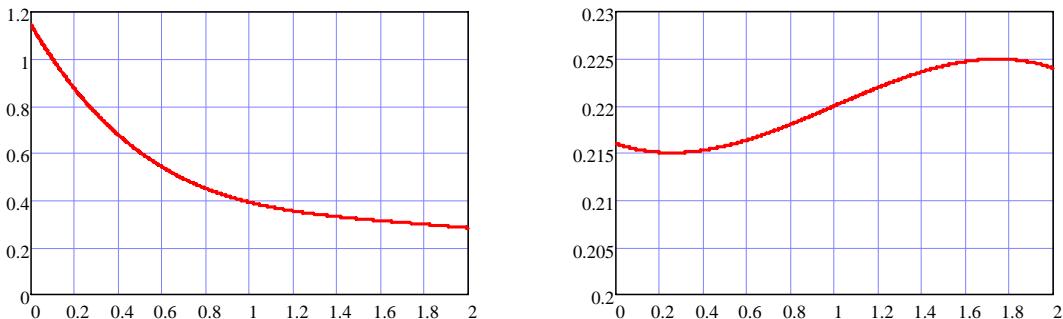


Figura 5.4. Karakteristikat e materialit elastomerik me shuarje të lartë

Materiali i gomës së zgjedhur zoteron shuarje të lartë dhe shmang përdorimin e shuarësve shtesë. Për rrjedhojë, sistemi i izolimit është i thjeshtë në realizim dhe ekonomik.

2.2 Karakteristikat e sistemit të izolimit

Për përcaktimin e izolatorëve, fillimisht zgjedhim vlerat e dëshirueshme për periodën efektive dhe deformimeve maksimale të sistemit të izolimit, përkatësisht $T_{eff} = 2.5 \text{ s}$ dhe $\gamma = 1.5$.

Ngurtësia efektive horizontale e sistemit të izolimit jepet nga shprehja e mëposhtme[3]:

$$K_{eff} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot M}{T_{eff}^2}$$

Ku me "M" shënojmë masën sizmike të mbistrukturës dhe jepet si raport i peshës së saj me nxitimin e rënies së lirë.

Meqë ndërtesa është relativisht e vogël, izolatorët do të zgjidhen të njëjtë për çdo mbështetje. Në këtë rast, përdorimi i një lloji izolatori është më i arsyshëm si nga ana ekonomike dhe ajo e zbatimit. Projektimi i izolatorit do të kryhet si për forcat horizontale, ashtu dhe ato vertikale.

Përcaktojmë ngurtësinë horizontale efektive të sistemit të izolimit duke u nisur nga kërkesa e periodës së dëshiruar.

$$K_{eff} = \frac{4 \cdot 3.14^2 \cdot 1566}{2.5^2} = 9882 \text{ kN / m}$$

Shtangësia horizontale e sistemit të izolimit jepet si shumatore algebrike e shtangësive horizontale të izolatorëve në veçanti. Kështu që për një izolator kemi:

$$k_{eff} = \frac{K_{eff}}{n_i} = \frac{9882}{10} = 988.2 \text{ kN / m}$$

Duke pranuar që shtangësia vertikale është shumë më e madhe se shtangësia horizontale, zhvendosja horizontale e izolatorit mund të pranohet vetëm si pasojë e deformimeve prerëse. Duke neglizhuar deformimet nga përkulja, shtangësia horizontale efektive e izolatorit jepet nga shprehja:

$$k_{eff} = \frac{G_{eff} \cdot A}{t_r}$$

Për kënd rrëshqitje $\gamma = 1.5$, moduli dinamik efektiv në prerje është $G_{eff} = 322 \text{ kPa}$ dhe duke pranuar trashësinë e përgjithshme të gomës $t_r = 100 \text{ mm}$, sipërfaqja e seksionit tërthor të izolatorit llogaritet:

$$A = \frac{k_{eff} \cdot t_r}{G_{eff}} = \frac{988.2 \cdot 0.1}{322} = 0.3069 \text{ m}^2$$

Zgjedhim izolator me diametër efektiv $D = 0.65 \text{ m}$, me sipërfaqe tërthore $A = 0.3317 \text{ m}^2$

$$k_{eff} = 1067 \text{ kN / m}.$$

Llogarisim ngurtësinë horizontale të sistemit të izolimit dhe periodën efektive të tij:

$$K_{eff} = k_{eff} \cdot n_i = 1067 \cdot 10 = 10670 \text{ kN / m}$$

$$T_{eff} = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{M}{K_{eff}}} = 2 \cdot 3.14 \sqrt{\frac{1566}{10670}} = 2.4 \text{ s}$$

Perioda efektive është e përafërt me vlerën e parazgjedhur dhe nuk është nevoja për përshtatje të mëtejshme. Në qoftë se perioda efektive ndryshon nga ajo e dëshiruar, mund të rrisim ose zvogëlojmë shtangësitë e izolatorëve sipas rastit, duke modifikuar lartësinë apo sipërfaqen e tyre.

2.3 Llogarita e sistemit të izolimit për forca horizontale

Zhvendosja horizontale e një izolatori të veçantë përbëhet nga zhvendosja horizontale si pasojë e lëvizjes translative të mbistrukturës dhe rrotullimi i saj si pasojë e momentit përdredhës që vjen nga jashtëqendërsia e forcës sizmike, kundrejt qendrës së ngurtësisë së sistemit të izolimit.

Fillimisht llogarisim nxitimin spektral për periodën efektive të sistemit të izolimit. Nxitimi spektral merret nga spektri elastik i nxitimeve ($q=1$), sipas Eurocode-8, për nxitimin maksimal të pranuar të truallit $a_g = 4 \text{ m / s}^2$ për shuarjen e dhënë. Për shuarjen $\xi_{eff} = 22.4\%$ dhe periodë $T_{eff} = 2.4 \text{ s}$ nga spektri marrim nxitimin spektral $S(a) = 1.26 \text{ m / s}^2$, duke shkaktuar forcën sizmike me vlerë:

$$E_1 = M \cdot S(a) = 1566 \cdot 1.26 = 1973 \text{ kN}$$

Zhvendosja në hapin e parë jepet nga shprehja:

$$\Delta = \frac{E_1}{K_{eff}} = \frac{1973}{10670} = 0.185 \text{ m}$$

Shtangësia efektive e përdorur në llogaritjet e mësipërme i takon zhvendosjes:

$$\Delta = t_r \cdot \gamma = 0.10 \cdot 1.5 = 0.15 \text{ m}$$

Kështu që vlera e saj duhet përshtatur kundrejt zhvendosjes së llogaritur. Zhvendosjes së llogaritur i përgjigjet këndi i rrëshqitjes

$$\gamma = \frac{\Delta}{t_r} = \frac{0.185}{0.10} = 1.85$$

Vlerat efektive për këndin e rrëshqitjes $\gamma = 1.85$ janë:

$$G_{eff} = 295 \text{ kPa} \quad K_{eff} = 9775 \text{ kN} \quad T_{eff} = 2.51 \text{ s} \quad \xi_{eff} = 22.5 \%$$

Me periodë efektive $T_{eff} = 2.51 \text{ s}$ dhe shuarje efektive $\xi_{eff} = 22.5 \%$, në spektron elastik të nxitimeve marrim vlerën spektrale $S(a) = 1.15 \text{ m/s}^2$. Llogarisim zhvendosjen në hapin e dytë me vlerë $\Delta = 0.184 \text{ m}$, e cila ndryshon më pak se 5% nga zhvendosja paraardhëse.

Përcaktojmë qendrën e ngurtësisë së sistemit të izolimit, duke përdorur shprehjet e mëposhtme:

$$X_{CR} = \sum_i \frac{k_{i,eff} \cdot x_i}{K_{eff}} \quad \text{dhe} \quad Y_{CR} = \sum_i \frac{k_{i,eff} \cdot y_i}{K_{eff}}$$

Qendra e ngurtësisë e sistemit të izolimit ka koordinata $X_{CR} = 10.4 \text{ m}$ dhe $Y_{CR} = 6.4 \text{ m}$ kundrejt izolatorit majtas poshtë. Jashtëqendërsia për të dy drejtimet llogaritet duke pranuar jashtëqendërsinë aksidentale prej 5%:

$$e_x = (X_{CR} - X_{CN}) \pm 0.05 \cdot L \quad \text{dhe} \quad e_y = (Y_{CR} - Y_{CN}) \pm 0.05 \cdot B$$

Në shembull do të analizojmë vetën rastin kur forca sismike vepron sipas drejtimit Y. Jashtëqendërsia pingul me drejtimin e forcës dhe momenti përdredhës llogariten nga:

$$e_x = (10.4 - 10.0) + 0.05 \cdot 24 = 1.6 \text{ m}$$

$$M_T = E_1 \cdot e_x = 1801 \cdot 1.6 = 2882 \text{ kNm}$$

Llogarisim shtangësinë në përdredhje dhe këndin e rrotullimit për sistemin e izolimit nga shprehjet e mëposhtme:

$$K_{\Theta} = \sum_i k_{i,eff} \cdot (x_{i,R}^2 + y_{i,R}^2) = 1107312 \text{ kN / rad}$$

$$\Theta = \frac{M_T}{K_{\Theta}} = 0.0026 \text{ rad}$$

Për izolatorët që ndodhen nën aksin A, zhvendosja shtesë dhe zhvendosja e plotë në drejtimin Y jepen nga shprehjet:

$$\Delta_{y,\Theta} = \Theta \cdot x_{i,R} = 0.0026 \cdot 10.4 = 0.027 \text{ m}$$

$$\Delta_y = \Delta_{y,\Delta} + \Delta_{y,\Theta} = 0.184 + 0.027 = 0.211 \text{ m}$$

$$\gamma = \frac{\Delta_y}{t_r} = \frac{0.211}{0.10} = 2.11$$

Për izolatorët që ndodhen nën aksin D, zhvendosja shtesë dhe zhvendosja e plotë në drejtimin Y jepen nga shprehjet:

$$\Delta_{y,\Theta} = \Theta \cdot x_{i,R} = 0.0026 \cdot 13.6 = 0.035 \text{ m}$$

$$\Delta_y = \Delta_{y,\Delta} + \Delta_{y,\Theta} = 0.184 - 0.035 = 0.149 \text{ m}$$

$$\gamma = \frac{\Delta_y}{t_r} = \frac{0.149}{0.10} = 1.49$$

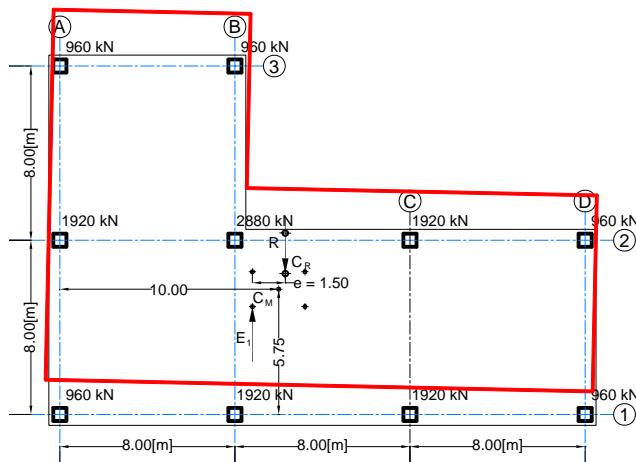


Figura 5.5. Zhvendosja e përgjithshme e sistemit të izolimit

Izolatorët në të majtë të qendrës së ngurtësisë do të pësojnë rritje të zhvendosjeve horizontale, e kundërtë ndodh për izolatorët në të djathtë të saj. Ngurtësia horizontale efektive e izolatorëve duhet përshtatur për vlerat e reja të zhvendosjeve, pasi deformimet prerëse tashmë

ndryshojnë midis izolatorëve. Meqë izolatorët në të majtë pësojnë deformime prerëse më të mëdha se ata në të djathtë të qendrës së ngurtësisë, kuptohet që ngurtësitë horizontale të tyre do të jenë më të ulëta se të izolatorëve në të djathtë. Është e kuptueshme se qendra e ngurtësisë do të zhvendoset në të djathtë, duke sjellë rritjen e jashtëqendërsisë së forcës sizmike. Rritja e jashtëqendërsisë sjell rritje të momentit përdredhës dhe për pasojë kënd rrotullimi më të madh me zhvendosje horizontale shtesë. Nga ana tjetër, shtangësia rrotulluese e sistemit të izolimit rritet me rritjen e këndit të rrotullimit. Kryejmë ciklin e iteracioneve, derisa dy zhvendosjet e njëpasnjëshme mos të ndryshojnë më shumë se 5%. Në tabelën 5.1 jepen ngurtësitë efektive të përshtatura për deformimet prerëse të reja. Këto cikle llogaritjesh mund të programohen lehtësisht, duke rritur saktësinë dhe kursyer kohë.

Tabela 5.1. Ngurtësitë horizontale efektive të izolatorëve në zhvendosje

Akset	A	B	C	D	
1	909	965	1015	1071	0
2	909	965	1015	1071	8
3	909	965	n/a	n/a	16
	0	8	16	24	Koordinatat

Llogarisim qendrën e re të ngurtësisë dhe jashtëqendërsinë për hapin pasardhës:

$$X_{CR} = \sum_i \frac{k_{i,eff} \cdot x_i}{K_{eff}} = 10.9$$

$$Y_{CR} = \sum_i \frac{k_{i,eff} \cdot y_i}{K_{eff}} = 6.3$$

$$e_x = (10.9 - 10.0) + 0.05 \cdot 24 = 2.1 \text{ m}$$

Për jashtëqendërsinë e re do të marrim vlerat e mëposhtme:

$$M_T = E_1 \cdot e_x = 1801 \cdot 2.1 = 3782 \text{ kNm}$$

$$K_\Theta = \sum_i k_{i,eff} \cdot (x_{i,R}^2 + y_{i,R}^2) = 1113672 \text{ kN / rad}$$

$$\Theta = \frac{M_T}{K_\Theta} = 0.0034 \text{ rad}$$

Për izolatorët që ndodhen nën aksin A, zhvendosja shtesë dhe zhvendosja e plotë në drejtimin Y jepen nga shprehjet:

$$\Delta_{y,\Theta} = \Theta \cdot x_{i,R} = 0.0034 \cdot 10.49 = 0.037 \text{ m}$$

$$\Delta_y = \Delta_{y,\Delta} + \Delta_{y,\Theta} = 0.184 + 0.037 = 0.221 \text{ m}$$

$$\gamma = \frac{\Delta_y}{t_r} = \frac{0.221}{0.10} = 2.21$$

Për izolatorët që ndodhen nën aksin D zhvendosja shtesë dhe zhvendosja e plotë në drejtimin Y jepen nga shprehjet:

$$\Delta_{y,\Theta} = \Theta \cdot x_{i,R} = 0.0034 \cdot 13.1 = 0.044 \text{ m}$$

$$\Delta_y = \Delta_{y,\Delta} + \Delta_{y,\Theta} = 0.184 - 0.044 = 0.14 \text{ m}$$

$$\gamma = \frac{\Delta_y}{t_r} = \frac{0.14}{0.10} = 1.4$$

Duke vazhduar në ciklin pasardhës, zhvendosja maksimale sipas drejtimit Y merr vlerën e 0.225m. Sipas udhëzimit të Eurokod-8, njësia izoluese (izolatori) duhet projektuar për zhvendosje maksimale 1.2 herë më të lartë se ajo e llogaritur.

$$\Delta_{y,\max} = \Delta_y \cdot \gamma_\xi = 0.225 \cdot 1.2 = 0.27 \text{ m}$$

$$\gamma_{\max} = \frac{\Delta_{y,\max}}{t_r} = \frac{0.27}{0.10} = 2.7$$

Këndi i rrëshqitjes $\gamma_{\max} = 2.7$ është gati dyfishi i deformimeve të dëshiruara për projektimin e sistemeve të izolimit. Kështu që përsërisim ciklet e llogaritjeve duke përgjedhur izolatorë me trashësi të përgjithshme të gomës $t_r = 200 \text{ mm}$ dhe diametër $D_{eff} = 850 \text{ mm}$. Në fund të ciklevit marrim vlerat e mëposhtme:

$$K_{eff} = \frac{G_{eff} \cdot A}{t_r} \cdot n_i = \frac{322 \cdot 0.567}{0.2} \cdot 10 = 9128.7 \text{ kN/m}$$

$$T_{eff} = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{M}{K_{eff}}} = 2 \cdot 3.14 \sqrt{\frac{1566}{9128.7}} = 2.6 \text{ s}$$

$$E_1 = M \cdot S(a) = 1566 \cdot 1.07 = 1676 \text{ kN}$$

$$\Delta = \frac{E_1}{K_{eff}} = \frac{1676}{9128.7} = 0.183 \text{ m}$$

$$M_T = E_1 \cdot e_x = 1676 \cdot 2.1 = 3520 \text{ kNm}$$

$$K_\Theta = \sum_i k_{i,eff} \cdot (x_{i,R}^2 + y_{i,R}^2) = 1043589 \text{ kN / rad}$$

$$\Theta = \frac{M_T}{K_\Theta} = 0.0034 \text{ rad}$$

$$\Delta_y = \Delta_{y,\Delta} + \Delta_{y,\Theta} = 0.183 + 0.036 = 0.219 \text{ m}$$

$$\Delta_{y,max} = \Delta_y \cdot \gamma_\xi = 0.219 \cdot 1.2 = 0.263 \text{ m}$$

$$\gamma_{max} = \frac{\Delta_{y,max}}{t_r} = \frac{0.263}{0.20} = 1.32$$

2.4 Llogaritja e sistemit të izolimit për forca vertikale

Forca vertikale që vepron në izolator përbëhet nga forca vertikale statike (peshat vetiakë dhe ngarkesat e shfrytëzimit të mbistrukturës) dhe forcat e shkaktuara nga momenti përmbyshës me karakter dinamik. Në ndërtesa me izolim në bazë, masa sizmike mund të pranohet si e përqendruar në qendrën e gravitetit të strukturës, pasi mund të pranojmë zhvendosje sizmike të njëjtë për çdo kat. Momenti përmbyshës do të llogaritet si produkt i forcës sizmike me lartësinë e masës sizmike nga sistemi i izolimit. Izolatorët duhet të jenë të aftë jo vetëm të përballojnë forcat vertikale, por të garantojnë dhe mosdegradimin e shtangësisë horizontale efektive. Neglizhimi i forcave vertikale mund të çojë në humbjen e qëndrueshmërisë së izolatorëve në veçanti apo të gjithë sistemit të izolimit.

Po të pranojmë periodën vertikale në rendin e 0.1 sekondave (relativisht e shtangët), shtangësia vertikale do të jepej nga shprehja:

$$K_V = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot M}{T_V^2} = \frac{4 \cdot 3.14^2 \cdot 1566}{0.1^2} = 6176053 \text{ kN / m}$$

$$k_{i,V} = \frac{K_V}{n_i} = \frac{6176053}{10} = 617605 \text{ kN / m}$$

Moduli elastik i përbërë (gomës së laminuar) jepet nga shprehja:

$$E_{i,C} = \frac{k_{i,V} \cdot t_r}{A} = \frac{617605 \cdot 0.20}{0.567} = 217850 \text{ kN / m}^2$$

Nga ana tjeter, moduli elastik i përbërë është funksion i faktorit të parë të formës që jepet si raport i rrezes efektive të izolatorit me dyfishin e trashësisë të një shtrese gome. Në shprehjet e mëposhtme jepen formulat përkatëse të tyre:

$$S_1 = \frac{R}{2 \cdot t} = \frac{D}{4 \cdot t}$$

$$E_{i,C} = 6 \cdot G_{eff(\gamma=20\%)} \cdot S_1^2$$

Duke zëvendësuar shprehjen e faktorit të parë të formës në shprehjen e mësipërme marrim formulën për llogaritjen e trashësisë të një shtrese gome:

$$t = \sqrt{\frac{6 \cdot G_{eff(\gamma=20\%)} \cdot D^2}{16 \cdot E_{i,C}}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 873 \cdot 0.85^2}{16 \cdot 217850}} = 0.033 \text{ m} = 33 \text{ mm}$$

Pranojmë gjashtë shtresa me trashësi 28.6 mm, pesë disqe çeliku nga 4 mm dhe dy pllaka fundore. Llogarism modulin elasik të përbërë për vlerat e pranuara, duke përdorur formulën më të plotë si më poshtë:

$$E_{i,C} = \frac{6 \cdot G_{eff(\gamma=20\%)} \cdot S_1^2 \cdot E_\infty}{6 \cdot G_{eff(\gamma=20\%)} \cdot S_1^2 + E_\infty}$$

Me faktorin e parë të formës $S_1 = 7.43$ dhe modulin e elasticitetit të gomës për hapësirën infinit $E_\infty = 1300 \text{ MPa}$ llogarism vlerat e mëposhtme:

$$E_{i,C} = \frac{6 \cdot 873 \cdot 7.43^2 \cdot 1300000}{6 \cdot 873 \cdot 7.43^2 + 1300000} = 236551 \text{ kN/m}^2$$

$$k_{i,V} = \frac{E_{i,C} \cdot A}{t_r} = \frac{236551 \cdot 0.567}{0.2} = 670622.1 \text{ kN/m}$$

$$K_V = 10 \cdot k_{i,V} = 6706221 \text{ kN/m}$$

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{M}{K_V}} = 2 \cdot 3.14 \cdot \sqrt{\frac{1566}{6706221}} = 0.096 \text{ s}$$

Llogarism forcat vertikale që veprojnë mbi izolator për kombinimin e forcave sizmike. Kontrolli do të kryhet për izolatorin me deformime maksimale që gjendet në aksin A_3 dhe për izolatorin me ngarkesë vertikale maksimale me pozicion në aksset B_2.

Fillimisht llogarism momentin përmbyshës kundrejt boshtit O-X nga shprehja:

$$M_{ox} = E_1 \cdot \frac{H_s}{2} = 1676 \cdot \frac{19.8}{2} = 16592.4 \text{ kNm}$$

Duke pranuar mbistrukturën si trup të ngurtë, përcaktojmë forcat aksiale në izolator duke përdorur formulën si më poshtë:

$$N_{sd,i,E} = N_{sd,i} + \frac{M_{ox}}{K_\Phi} \cdot k_{i,V} \cdot y_i$$

Ku

K_Φ → shtangësia rrotulluese kundrejt boshtit O-X e sistemit të izolimit

y_i → koordinata e izolatorit nga aksi neutral i sistemit të izolimit

$$K_\Phi = k_{i,V} \cdot y_i^2$$

Për izolatorët e dhënë, forcat aksiale që veprojnë mbi ta janë:

$$N_{sd,(A_3),E} = 960 + \frac{16592.4}{221000000} \cdot 617605 \cdot 9.6 = 960 + 445 = 1405 \text{ kN}$$

$$N_{sd,(A_3),E} = 2880 + \frac{16592.4}{221000000} \cdot 617605 \cdot 91.6 = 2880 + 74 = 2954 \text{ kN}$$

Më poshtë do të kontrollojmë fortësinë dhe qëndrueshmërinë e izolatorit të qendrës, pasi ka një forcë aksiale dy herë më të madhe se izolatori i qoshes, ndërkohë që këndet e rrëshqitjes i kanë të përafërt. Sforsimet kritike për gjendjen e padeformuar të izolatorit me seksion rrëthor dhe për materialin elastomerik të përdorur jepen nga shprehja:

$$\sigma_{cr} = \alpha_c \cdot \frac{\pi}{4} \sqrt{G_{eff(\gamma=0)} E_b} \cdot S_2$$

Ku $S_2 = \frac{D}{t_r}$ është faktori i dytë i formës dhe α_c faktori korrigjues që jepet nga shprehja:

$$\alpha_c = 0.88 \cdot [1 - 0.07(5 - S_2)] \text{ për } S_2 < 5, \text{ përndryshe } \alpha_c = 0.88$$

$$E_b = \frac{E_{cr} \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \kappa \cdot S_1^2\right)}{1 + E_{cr} \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \kappa \cdot S_1^2\right)} \cdot E_\infty$$

$E_{cr} = 3 \cdot G_{eff(\gamma=1)}$ dhe $\kappa = 0.223$ vlera karakteristike e këtij izolatori të dhënë. Sforsimet kritike rezultojnë:

$$\sigma_{cr} = 0.8345 \cdot \frac{3.14}{4} \sqrt{1145 \cdot 10740} \cdot 4.246 = 9758 \text{ kN/m}^2$$

Për një kënd rrëshqitje të çfarëdoshëm, sforsimet kritike jepen nga shprehja:

$$\dot{\sigma}_{cr}(\gamma) = \sigma_{cr} \cdot \left(1 - \frac{\gamma}{S_2}\right)$$

$$\dot{\sigma}_{cr}(1.15) = 9758 \cdot \left(1 - \frac{1.15}{4.246}\right) = 7115 \text{ kN/m}^2$$

Sforcimet vertikale nga forcat aksiale për kombinimin sizmik janë:

$$\sigma_{sd} = \frac{N_{sd}}{A} = \frac{2954}{0.567} = 5210 \text{ kN/m}^2$$

Kur illogaritëm zhvendosjet horizontale, shtangësia horizontale efektive është marrë në mungesë të sforcimeve aksiale. Në gjendjen e deformuar shohim që sforcimet kritike reduktohen ndjeshëm dhe ndikojnë në fortësinë dhe stabilitetin e izolatorit. Shtangësia horizontale reduktohet gjithashtu dhe jepet nga formula:

$$k_{eff} = k_{eff}^0 \left[1 - \left(\frac{\sigma_{sd}}{\sigma_{cr}} \right)^2 \right] = k_{eff}^0 \left[1 - \left(\frac{5210}{7115} \right)^2 \right] = 0.46 \cdot k_{eff}^0$$

Siç shihet, prania e sforcimeve aksiale redukton ndjeshëm shtangësinë horizontale. Për të shmangur këtë efekt, trashësia e shtresave të gomës do zvogëluar ndjeshëm duke rritur faktorin e parë të formës. Duke zgjedhur në treg izolatorin elastomerik të laminuar HH085X4R të serisë HH, prodhuar nga Bridgestone, me trashësi të shtresave të gomës 5.7 mm, përftojmë:

$$\dot{\sigma}_{cr}(1.15) = 42000 \cdot \left(1 - \frac{1.15}{4.246}\right) = 30625 \text{ kN/m}^2$$

$$k_{eff} = k_{eff}^0 \left[1 - \left(\frac{5210}{30625} \right)^2 \right] = 0.97 \cdot k_{eff}^0$$

Për izolatorin e zgjedhur, shtangësia horizontale efektive për këndin e projektimit të rrëshqitjes mund të pranohet si e pandryshueshme. Vlera e faktorit të parë të formës është $S_1 = \frac{D}{4 \cdot t} = \frac{850}{4 \cdot 5.7} = 37$, e cila na jep vlerat e mëposhtme:

$$k_{i,V} = \frac{E_{i,C} \cdot A}{t_r} = \frac{1206349 \cdot 0.567}{0.2} = 3420 \cdot 10^3 \text{ kN/m}$$

$$K_V = 10 \cdot k_{i,V} = 3420 \cdot 10^4 \text{ kN/m}$$

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{M}{K_V}} = 2 \cdot 3.14 \cdot \sqrt{\frac{1566}{3420 \cdot 10^4}} = 0.042 \text{ s}$$

2.5 Kontrolli i faktorit të shuarjes

Kur llogaritëm forcën sizmike përdorëm një faktor shuarje të cilin e morëm si të mirëqenë. Për t'i pranuar llogarritjet tona si të sakta, duhet të kontrollojmë shuarjen reale që zotëron sistemi i izolimit. Faktori i shuarjes ξ_{eff} jepet si raport i energjisë së shuar kundrejt punës që kryhet në sistemin e izolimit gjatë një cikli [A. K. Chopra – 1995]. Shuarja e energjisë bëhet në mënyrë histeretike dhe është e barabartë me sipërfaqen e një cikli histeretik. Në Fig.x jepet cikli histeretik për zhvendosjen maksimale për izolatorin e qendrës. Forca prerëse V , vlera karakteristike V_c dhe zhvendosja Δ jepen nga formulat:

$$V = k_{eff} \cdot \Delta, \quad V_c = u(\gamma) \cdot V, \quad \Delta = t_r \cdot \gamma$$

me

$$u(\gamma) = -0.0110\gamma^3 + 0.0325\gamma^2 - 0.0132\gamma^4 + 0.3617$$

Ngurtësitetë elastike k_1 dhe post elastike k_2 jepen nga shprehjet:

$$k_1 = 10 \cdot k_2 \quad \text{dhe} \quad k_2 = k_{eff} \cdot [1 - u(\gamma)]$$

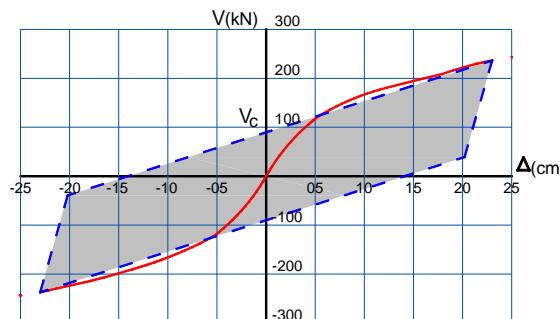


Figura 5.6. Kurba mbështjellëse histeretike për zhvendosje maksimale për sistemin e izolimit me izolator elastomerik.

Për kënd rrëshqitje $\gamma = 1.15$, parametrat histeretikë janë si më poshtë:

$$u(\gamma) = -0.0110 \cdot 1.15^3 + 0.0325 \cdot 1.15^2 - 0.0132 \cdot 1.15 + 0.3617 = 0.373$$

$$\Delta = 0.2 \cdot 1.15 = 0.23 \text{ m}$$

$$V = 1029 \cdot 0.23 = 237 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.373 \cdot 237 = 88 \text{ kN}$$

Sipërfaqja e ciklit histeretik që përfaqëson shuarjen brenda një cikli është:

$$\Delta W = 4 \cdot V_C \cdot \left(\Delta_{\max} - \frac{V_C}{2 \cdot k_1} \right)$$

$$\Delta W = 4 \cdot 88 \cdot \left(0.23 - \frac{88}{2 \cdot 7020} \right) = 78.75 \text{ kJ}$$

$$W = 2 \cdot \pi \cdot k_{eff} \cdot \Delta^2 = 2 \cdot 3.14 \cdot 1029 \cdot 0.23^2 = 341 \text{ kJ}$$

$$\xi_{eff} = \frac{\Delta W}{W} = \frac{78.75}{341} = 23\%$$

dhe shuarja e pranuar

$$\xi_{eff} = -0.006 \cdot 1.15^3 + 0.018 \cdot 1.15^2 - 0.008 \cdot 1.15 + 0.216 = 0.22$$

Sic shihet, shuarja e pranuar dhe ajo e llogaritur janë gati të njëjta dhe nuk është nevoja përrillogaritje të spektrit elastik. Meqë forcat e jashtme si dhe rezistenca e sistemit kanë saktësinë e kërkuar, me këtë kontroll përmbylljet dhe projektimi i sistemit të izolimit.

KAPITULLI - VI -

ANALIZAT KOMPJUTERIKE TË NDËRTESAVE ME IZOLIM NË BAZË

1. Efekti i faktorit të parë të formës në sjelljen sizmike të ndërtesave me izolim në bazë me izolator elastomerik të laminuar.

1.1 Përshkrimi i ndërtesës dhe modelimi kompjuterik

Do të shqyrtojmë një ndërtesë 7-katëshe me lartësi të njëjtë të kateve prej 3.2m, me planimetri siç tregohet në Fig. 6.1. Sipas parashtresave të Eurocode-8, ndërtesa bën pjesë në grupin e ndërtesave me rregullsi në plane dhe një jashtëqendërsi aksidentale e qendrës së masës prej 5% duhet pranuar. Pesha në kat është pranuar uniforme me intensitet 12kN/m^2 . Modeli dinamik është marrë me masa të përqendruara në nivelin e çdo kati dhe konkretisht me 8 masa të përqendruara. Masat sizmike i janë bashkëngjitur një pike speciale me tre shkallë lirie sipas drejtimeve translative X, Y dhe rrotulluese kundrejt aksit Z, i drejtuar sipas lartësisë së ndërtesës. Drejtkëndëshi i nbushur në qendër të planit të ndërtesës tregon pozicionet e mundshme të qendrës së masës. Meqë struktura është simetrike, po ashtu dhe sistemi i izolimit, qendra e ngurtësisë së këtij të fundit përkon me qendrën gjeometrike të planit të strukturave. Vlen të ritheksojmë se për këto sisteme izolimi, qendra e ngurtësisë nuk është një pikë fiksë gjatë deformimit të tij. Bazuar në llogaritjet paraprake, seksionet e kolonave janë zgjedhur katrore me përmasa $50x50$ për kolonat në perimetër dhe $60x60$ për kolonat e brendshme. Forcat aksiale që veprojnë mbi izolator janë llogaritur në bazë të sipërfaqeve të ndërtesës përkatëse që mbështesin.

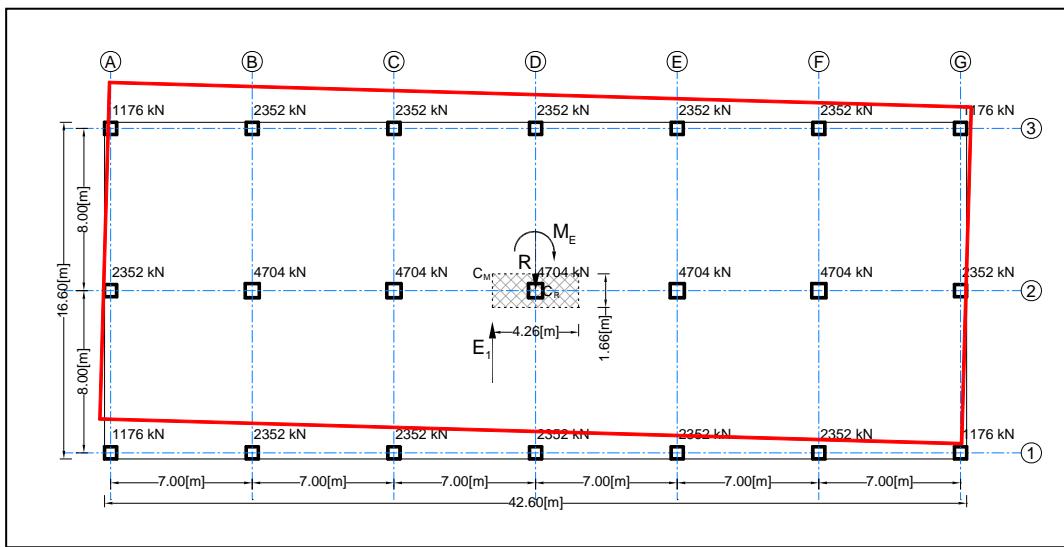


Figura 6.1. Zhvendosje maksimale për sistemin e izolimit me izolator elastomerik me jashtëqendërsi aksidentale.

Modelimi i ndërtesës për llogaritjet kompjuterike përfshin modelimin e sistemit të izolimit dhe modelimin e mbistukturës.

Modelimi i sistemit të izolimit do të kryhet me elementë lidhës jolinearë (nonlinear link element) që përfaqësojnë karakteristikat fiziko-mekanike të izolatorëve të veçantë. Izolatorët që do të përdorim, do të kenë një varacion të faktorit të parë të formës nga i palaminuar deri me laminim të lartë. Për modelimin e izolatorëve të palaminuar do të përdorim elementin lidhës multilinear plastik me sjellje histeretike kinetike. Për izolatorët e laminuar përdorim elementin lidhës standard të brendshëm "rubber isolator" (izolator me gomë) të programit kompjuterik SAP2000. Elementi lidhës është me dy nyje, ku nyja e parë është e fiksuar dhe nyja e dytë lidhet me bazën e mbistukturës. Elementi lidhës ka tre shkallë lirie, një vertikale dhe dy horizontale, ku e para është pranuar elastike dhe ato horizontale jolineare plastike.

Modelimi i mbistukturës është bërë me elementë lidhës linearë me gjashtë shkallë lirie që përfaqësojnë shtangësitë e çdo kati sipas 6 sh.k.l. Duke pranuar ndërkatet (rigelat dhe soletat) si absolutisht të shtangëta, ngurtësitë e katit do të llogariten si kontribute të ngurtësive të kolonave për çdo kat. Shtangësitë e elementit lidhës do të përcaktohen sipas drejtimit të boshteve lokalë të tij.

Shtangësia translative sipas drejtimeve lokale u_1, u_2, u_3 është e barabartë me shumën algebrike të shtangësive përkatëse të kolonave në kat dhe jepet nga shprehjet:

$$K_{u1}^* = \sum_i \frac{E_i \cdot A_i}{H_i}$$

$$K_{u2}^* = \sum_i 12 \frac{E_i \cdot I_{i,y}}{H_i}$$

$$K_{u3}^* = \sum_i 12 \frac{E_i \cdot I_{i,z}}{H_i}$$

Shtangësia rrotulluese sipas drejtimeve lokale R_1, R_2, R_3 është e barabartë me momentet e inercisë së shtangësive përkatëse të kolonave në kat kundrejt akseve neutrale dhe jepet nga shprehjet:

$$K_{RI}^* = \sum_i \left(12 \frac{E_i \cdot I_{i,z}}{H_i} x_i^2 + 12 \frac{E_i \cdot I_{i,y}}{H_i} y_i^2 \right)$$

$$K_{R2}^* = \sum_i \frac{E_i \cdot A_i}{H_i} y_i^2$$

$$K_{R3}^* = \sum_i \frac{E_i \cdot A_i}{H_i} x_i^2$$

Në Fig. x. është paraqitur modeli kompjuterik për analizat jolineare në programin SAP2000. Pika speciale nga 50 në 57 përbajnjë karakteristikat e masave të kateve dhe ndodhen 2.13m në të majtë të qendrës gjeometrike, për shkak të jashtëqendërsisë aksidentale. Masat sipas drejtimeve globale X, Y dhe R_Z jepen nga shprehjet:

$$M_x = M_y = A_k \cdot \frac{W}{g} \quad M_{R_z} = \frac{a_k^2 + b_k^2}{12} \cdot \frac{\bar{W}}{g}$$

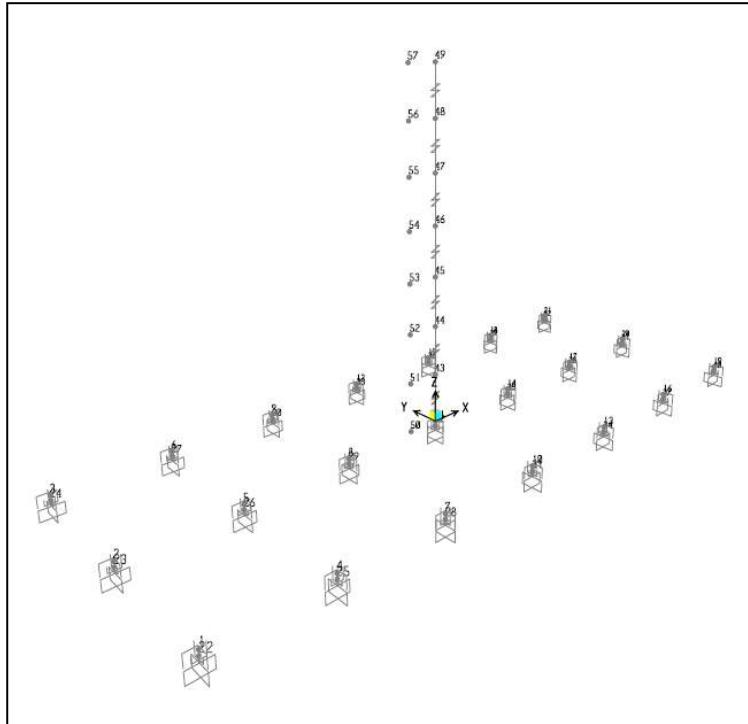


Figura 6.2. Modeli kompjuterik i ndërtesës me izolator elastomerik me jashtëqendërsi aksidentale.

Midis pikave të masës dhe nyjeve të elementeve lidhës janë vendosur kushtet e përshtatshme të vazhdueshmërisë së deformimeve, për të garantuar njëvlershmërinë e modelit kompjuterik me strukturën reale.

1.2 Karakteristikat e izolatorëve

Materiali elastomerik i përdorur për izolatorët është goma MVBR-0468 (X0.4R) e kompanisë Bridgestone, e certifikuar në Dhjetor 2012. Karakteristikat e saj janë specifikuar në pikën 5.X të këtij botimi.

Fillimisht zgjedhim përmasat efektive të izolatorëve, duke kërkuar të arrijmë periodën efektive $T_{eff} = 2.5s$ dhe deformimet prerëse $\gamma = 1.5$.

Për këtë, llogarisim shtangësinë efektive të sistemit të izolimit nga formula:

$$k_{eff} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot m}{T_{eff}^2}$$

ku "m" jep masën e ndërtesës që i takon të mbështesë një izolator dhe është e barabartë me raportin e forcës aksiale në izolator me nxitim e rënies së lirë.

Grupojmë izolatorët në dy grupe: grupei-A ku bëjnë pjesë izolatorët qendrorë me forcë aksiale 4704 kN dhe grupei-B me izolatorët në perimetër të sistemit të izolimit dhe forcë aksiale maksimale 2352 kN. Shtangësitë e dëshiruara efektive të izolatorëve për secilin grup janë:

$$k_{eff}^A = \frac{4 \cdot 3.14^2 \cdot 480}{2.5^2} = 3029 \text{ kN/m}$$

$$k_{eff}^B = \frac{4 \cdot 3.14^2 \cdot 240}{2.5^2} = 1514 \text{ kN/m}$$

Përdorim formulën e thjeshtuar për llogaritjen e shtangësisë efektive të izolatorëve me gomë:

$$k_{eff} = \frac{G_{eff} \cdot A}{t_r} \Rightarrow A = \frac{k_{eff} \cdot t_r}{G_{eff}}$$

Për kënd rrëshqitje $\gamma = 1.5$ përftojmë modulin dinamik efektiv në prerje $G_{eff} = 322 \text{ kPa}$ dhe po të pranojmë lartësinë e plotë të gomës prej 160mm, sipërfaqet tërthore të kërkuarë të izolatorëve janë:

$$A^{(A)} = \frac{3029 \cdot 0.16}{322} = 1.5051 \text{ m}^2 \quad \text{dhe} \quad A^{(B)} = \frac{1514 \cdot 0.16}{322} = 0.7523 \text{ m}^2$$

Zhgjedhim respektivisht për secilin grup përmasat:

$$D^{(A)} = 1.3 \text{ m} \text{ me sipërfaqe tërthore } A^{(A)} = 1.3249 \text{ m}^2 \text{ dhe shtangësi } k_{eff}^A = 2666.4 \text{ kN/m}$$

$$D^{(A)} = 1.0 \text{ m} \text{ me sipërfaqe tërthore } A^{(A)} = 0.7849 \text{ m}^2 \text{ dhe shtangësi } k_{\text{eff}}^A = 1579.6 \text{ kN/m}$$

Shtangësia horizontale efektive e sistemit të izolimit si shumatore e shtangësive të izolatorëve të vecantë është:

$$K_{\text{eff}} = 5 \cdot k_{\text{eff}}^{(A)} + 16 \cdot k_{\text{eff}}^{(B)} = 5 \cdot 2666.4 + 16 \cdot 1579.6 = 38605.6 \text{ kN/m}$$

Perioda efektive e sistemit të izolimit për deformimin e pranuar është:

$$T_{\text{eff}} = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{M}{K_{\text{eff}}}} = 2 \cdot 3.14 \sqrt{\frac{5754}{38605.6}} = 2.43 \text{ s}$$

Vlerat e mësipërme iu përgjigjen izolatorëve të pangarkuar me forcë aksiale. Vlerat e shtangësisë horizontale efektive kanë varësi prej sforcimeve kritike, deformimeve prerëse dhe madhësisë së sforcimeve aksiale. Siç pamë dhe në kapitullin paraardhës, sforcimet kritike janë funksion i materialit, faktorit të parë të formës, faktorit të dytë të formës dhe këndit të rrëshqitjes. Për të parë se si ndikon faktori i parë i formës në sjelljen sizmike të ndërtuesës me izolim në bazë, do të përdorim izolatorë pa laminim deri në 24 shtresa gome të laminuar me disqe të holla çeliku.

Në tabelat Tab.x dhe Tab.y jepen vlerat e faktorit të parë të formës dhe sforcimeve kritike për deformime prerëse ‘zero’. Për llogaritjen e sforcimeve kritike janë përdorur formula (shih pikën 1.2):

$$\sigma_{cr} = \alpha_c \cdot \frac{\pi}{4} \sqrt{G_{\text{eff}(\gamma=0)} E_b} \cdot S_2$$

Tabela 6.1. Vlerat e faktorit të formës dhe sforcimeve kritike për Grupin-A

Izolatori	Type - A						
Nr. I shtresave	1	2	4	8	12	16	20
Trashësia e shtresës (mm)	160	80	40	20	13.3	10	8
Faktori i parë i formës S_1	2.03	4.06	8.13	16.25	24.44	32.5	40
Sforcimet kritike për $\gamma = 0$	7901	11060	18990	35910	52770	68280	82960

Tabela 6.2. Vlerat e faktorit të formës dhe sforcimeve kritike për Grupin-B

Isolator unit	Type - B							
	1	2	4	8	12	16	20	24
Nr. I shtresave								
Trashësia e shtresës (mm)	160	80	40	20	13.3	10	8	6.7
Faktori i parë i formës S_1	1.56	3.12	6.25	12.5	18.75	25	31.25	37.3
Sforcimet kritike për $\gamma = 0$	5710	7423	12030	22300	32810	42690	52300	60810

Duke rritur vlerat e këndit të rrëshqitjes nga zero deri në këndin kufitar, llogarisim sforcimet kritike nëpërmjet formulës:

$$\sigma_{cr}'(\gamma) = \sigma_{cr} \cdot \left(1 - \frac{\gamma}{S_2}\right)$$

Llogarisim sforcimet aksiale për çdo izolator sipas formulës:

$$\sigma_{sd} = \frac{N_{sd}}{A}$$

Për izolatorët e grupit A kemi:

$$\sigma_{sd}^{(A)} = \frac{4704}{1.3249} = 3550 \text{ kN/m}^2$$

Për grupin B llogarisim sforcimet aksiale në varësi të vlerave të forcës aksiale:

$$\sigma_{sd}^{(B)} = \frac{2352}{0.7849} = 2997 \text{ kN/m}^2 \quad \text{dhe} \quad \sigma_{sd}^{(B')} = \frac{1176}{0.7849} = 1498 \text{ kN/m}^2$$

Llogarisim shtangësitë e reduktuara në funksion të këndit të rrëshqitjes, sforcimeve aksiale dhe sforcimeve kritike për secilin izolator me formulën:

$$k_{eff} = k_{eff}^0 \left[1 - \left(\frac{\sigma_{sd}}{\sigma_{cr}'} \right)^2 \right]$$

Shtangësia efektive e reduktuar është funksion i këndit të rrëshqitjes dhe me vlerat e saj ndërtojmë kurbat kapacitive të izolatorëve në funksion të zhvendosjeve Δ , duke përdorur formulat:

$$\Delta = \gamma \cdot t_r \quad \text{dhe} \quad V_{Rd,H} = k_{eff} \cdot \Delta$$

Në Fig.6.3 dhe Fig.6.4 janë paraqitur grafikët e kurbave kapacitive të izolatorëve të grupit A dhe grupit B përvlera të ndryshme të faktorit të parë të formës. Në këto analiza, vlera e sforcimeve aksiale është pranuar konstante. Kurbat marrin parasysh edhe vlerat e deformimeve kufitare, përtëj të cilave izolatori humb qëndrueshmërinë e tij.

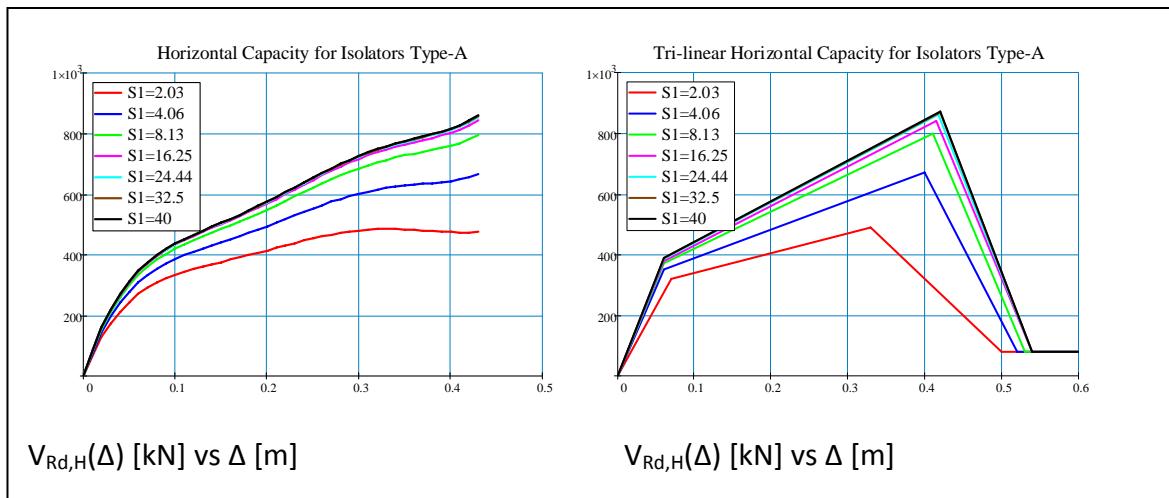


Figura 6.3. Kurba kapacitive për izolatorët e grupit A

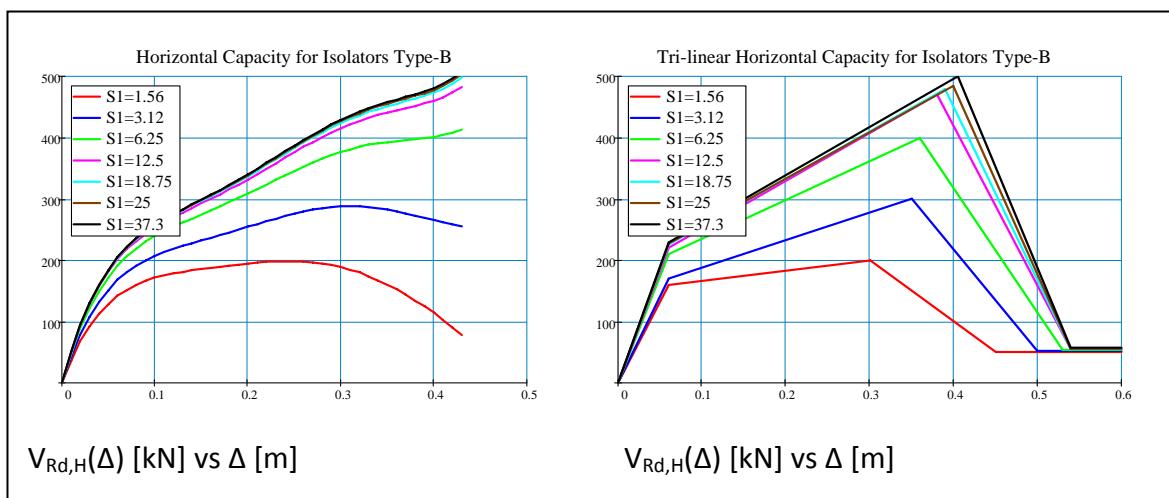


Figura 6.4. Kurba kapacitive për izolatorët e grupit B

1.3 Analizat kompjuterike

Kurbat e kapaciteteve të izolatorëve janë ndërtuar duke përfshirë dhe efektin e forcës aksiale që veprojnë mbi to. Forcat sizmike horizontale do t'i simulojmë nëpërmjet akselerogramës të nxitimeve regjistruar gjatë tërmetit të Santa Monicës, Kaliforni, siç tregohet në Fig.6.5.

Reagimi sizmik i ndërtësës me izolim në bazë do të llogaritet me anë të analizave jolineare në fushën kohore. Dy lloje analizash jolineare janë përdorur, analiza e shpejtë jolineare modale FNA dhe integrimi i drejtpërdrejtë NLDIH. Analizat modale do të kryhen duke përdorur vektorët e Ritz-it, të cilët përfshijnë të gjithë izolatorët dhe nxitimet sipas drejtimeve horizontale X dhe Y. Duke pranuar saktësinë për këtë analizë prej 99%, rezultatet e marra prej analizave FNA dhe NLDIH konvergjojnë tek njëra-tjetra.

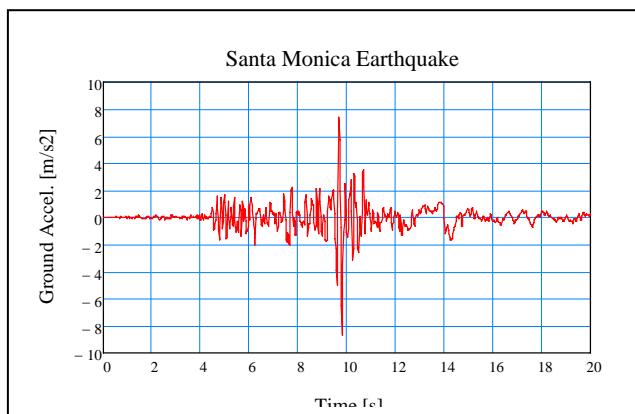


Figura 6.5. Akselerograma e tërmetit Santa Monica

Në përfundim të analizave marrim zhvendosjet translative të strukturës, duke konsideruar ose neglizhuar shkallën e lirisë rrotulluese kundrejt boshtit vertikal. Në Tabelën x. janë dhënë zhvendosjet horizontale të strukturës dhe sistemit të izolimit, kur ky i fundit përbëhet nga izolatorë me: pa laminim, laminim me dy shtresa, katër shtresa, njëzetë shtresa dhe në rastin pa ndikimin e forcës aksiale. Laminimi me më shumë se katër shtresa, për izolatorët e zgjedhur, nuk ka ndonjë ndryshim të dukshëm dhe nuk do t'i paraqesim. Siç shihet, vlera e faktorit të parë të formës ndikon në mënyrë jolineare në sjelljen e strukturës së izoluar. Mbi një vlerë të caktuar laminimi, zhvendosjet e strukturës në tërësi tentojnë drejt një asimtode horizontale.

Tabela 6.3. Zhvendosjet maksimale pa përdredhje

Katet	1 shtresë	2 shtresa	4 shtresa	20 shtresa	Pa forcë aksiale
Trualli	0	0	0	0	0
Sistemi i izolimit	29.4	24.3	19.3	19.1	13.8
Kat – 1	29.6	24.5	19.6	19.4	14.1
Kat – 2	29.7	24.8	19.8	19.6	14.2
Kat – 3	29.9	24.9	20.1	19.8	14.4
Kat – 4	30.0	25.1	20.3	20.0	14.5
Kat – 5	30.1	25.3	20.4	20.2	14.6
Kat – 6	30.2	25.4	20.5	20.3	14.6
Kat – 7	30.3	25.5	20.6	20.4	14.7

Në Fig.6.6 po paraqesim grafikisht zhvendosjet e strukturës dhe sistemit të izolimit ku kemi neglizuar efektin përdredhës.

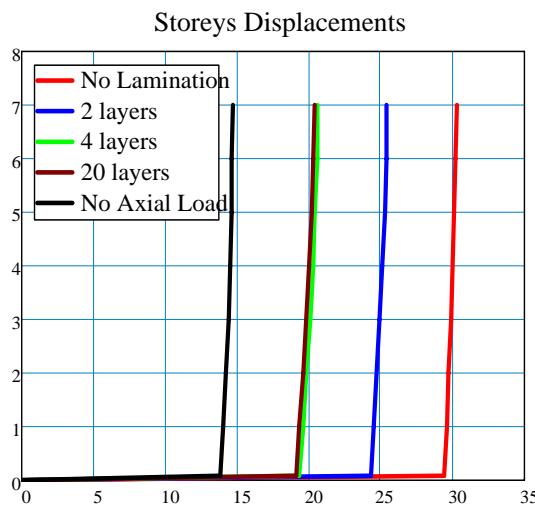


Figura 6.6. Zhvendosjet e strukturës dhe sistemit të izolimit.

Kur pranohet dhe efekti përdredhës, në zhvendosjet horizontale kemi ndikimin e këndit të përdredhjes. Skematikisht, zhvendosjet e sistemit të izolimit jepen në Fig. X.

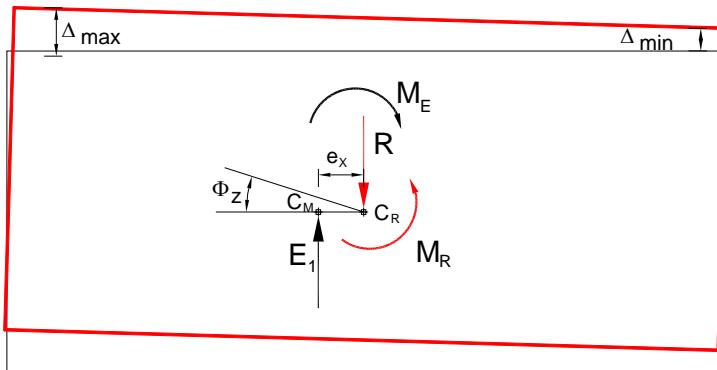


Figura 6.7. Skema e deformuar e sistemit të izolimit

Në Tabelën x janë dhënë zhvendosjet maksimale dhe minimale të sistemit të izolimit për zhvendosjet maksimale translative në funksion të vlerës të laminimit. Gjithashtu, për këto zhvendosje janë llogaritur forca prerëse në bazë dhe momenti përdredhës i shkaktuar. Jashtëqendërsia në këtë çast të kohës është llogaritur si raport i momentit përdredhës me forcën prerëse në bazë. Ashtu si dhe pritej, jashtëqendërsia nuk është një vlerë fikse, por ajo ndryshon në një diapazon të gjërë. Madhësia e ndryshimit të jashtëqendërsisë varet nga jashtëqendërsia fillestare, momenti inercial në përdredhje i masave të përqendruara, faktorit të parë të formës, faktorit të dytë, madhësisë së forcave aksiale, forcës së jashtme, etj.

Tabela 6.4. Zhvendosjet e sistemit të izolimit. Variacioni i jashtëqendërsisë.

Nr. shtresash	Δ_{max}	Δ_{min}	ϕ_z	V_Y	M_z	e_x
1	36.2	8.4	0.38	5064	46830	9.25
2	32.6	12.9	0.27	6389	36930	5.78
4	22.3	16.3	0.08	7138	5815	0.81
20	20.4	16.6	0.05	8079	38793	4.80
Pa forcë aksiale	18.6	8.1	0.14	7796	65570	8.41

Në Fig. 6.8 janë paraqitur grafikët e zhvendosjeve në kohë për izolatorin në akset A_3 që pëson dhe deformimet maksimale. Sistemi i izolimit me izolatorë të palaminuar, përvèç zhvendosjeve maksimale ka edhe mungesë të forcës kthyese. Praktikisht, ky izolator ka humbur

qëndrueshmërinë e tij. Sistemi i zolimit në të cilin nuk merret parasysh efekti i forcës aksiale ka deformime maksimale më të vogla, të cilat shuhën shpejt në krahasim me sistemet e tjera.

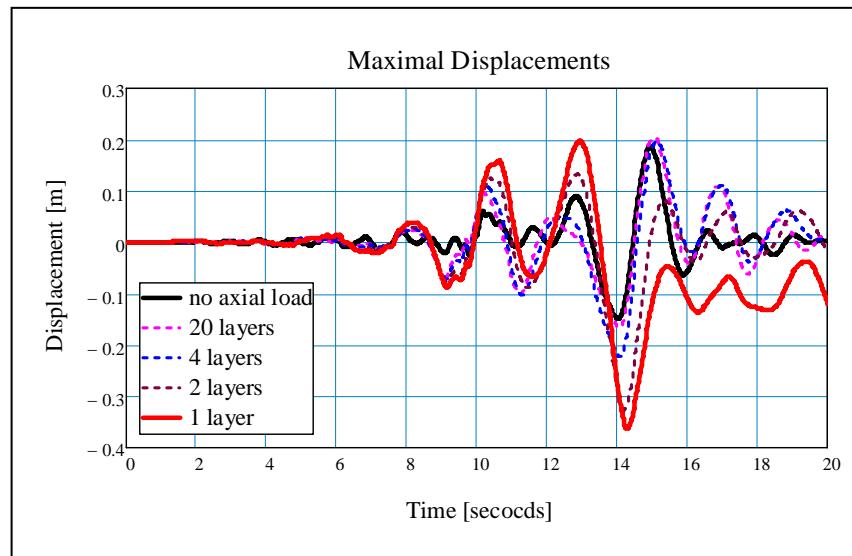
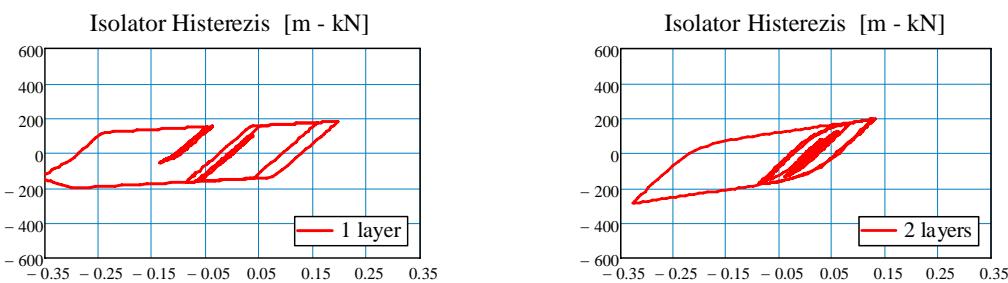


Figura 6.8. Historiku i zhvendosjeve në kohë të sistemit të izolimit në varësi të faktorit të parë të formës. [Murtaj L., Murtaj E. – 2015]

Në Fig. 6.9 jepen kurbat histeretike për izolatorin në akset A_3. Mund të shihet qartë se shtangësia efektive varet direkt nga vlera e faktorit të parë të formës dhe është e qëndrueshme për laminim mbi katër shtresa. Gjithashtu, mungesa e forcës kthyese vështrohet tek kurba histeretike e izolatorit të palaminuar.



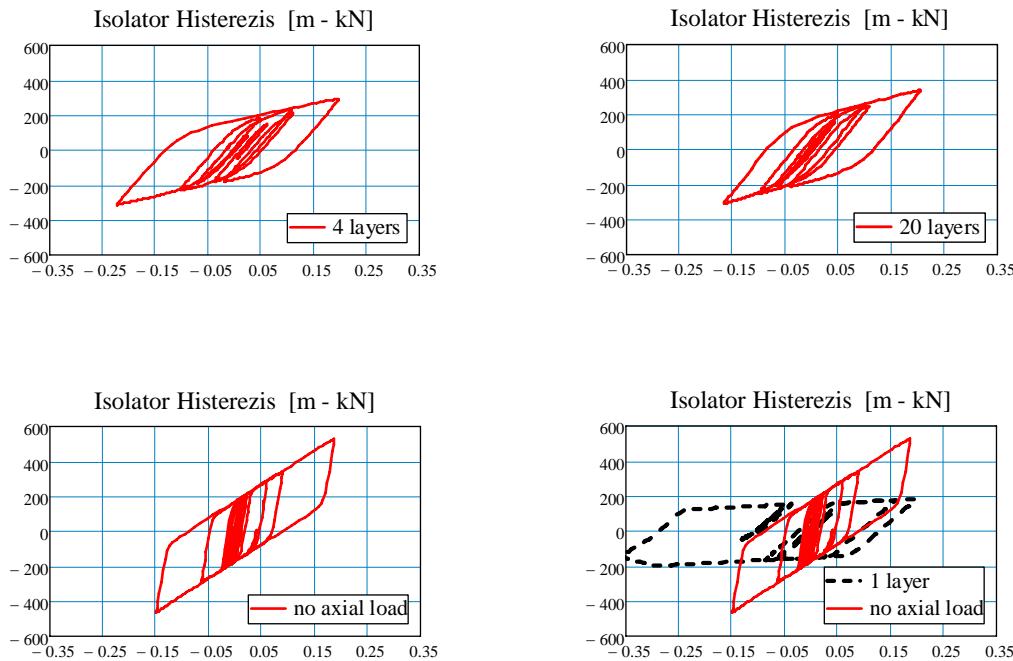


Figura 6.9. Kurbat histeretike të izolatorit në fuksion të faktorit të parë të formës. [Murtaj L., Murtaj E. – 2015]

Nga analizat duket se për vlera të faktorit të parë të formës më të mëdha se 10 dhe për deformime prerëse me kënd rrëshqitje deri në $\gamma = 1.5$, nuk vihet re ndonjë ndryshim thelbësor në reagimin sismik të strukturës së izoluar. Duke patur parasysh që forcat aksiale që veprojnë në izolator u pranuan konstante dhe të barabarta me ato statike, përfundimet e mësipërme duhen pranuar me rezerva. Neglizhimi i forcave aksiale dinamike që ushtrohen mbi izolator në një situatë sizmike, mund të shkaktojnë humbjen e qëndrueshmërisë të këtyre të fundit. Efektit e momentit përbysës do ta studiojmë në pikën pasardhëse.

2. Efekti i momentit përbysës në reagimin sismik të strukturave me bazë të izoluar me izolator elastomerik të laminuar.

Momenti përbysës shkakton forca aksiale shtesë që veprojnë në kokë të izolatorëve që përbëjnë sistemin e izolimit. Në funksion të drejtimit dhe madhësisë të forcës sizmike, forcat aksiale në izolator mund të rriten ose reduktohen duke ndikuar drejtpërsëdrejti në madhësinë e shtangësinë horizontale efektive të izolatorëve. Ndryshimi i momentit përbysës është kaotik gjatë ngjarjes sizmike, por ai mund të pranohet që të ketë një varësi lineare kundrejt forcës prerëse në bazë. Nga ana e saj, forca prerëse në bazë ka varësi jolineare prej zhvendosjes jolineare të sistemit të izolimit.

Forca prerëse në bazë përftohet si kontribut i forcave prerëse që veprojnë në çdo izolator. Kjo forcë llogaritet si produkt i zhvendosjes horizontale me shtangësinë efektive horizontale, e cila varet në mënyrë jolineare prej madhësisë së deformimeve prerëse dhe vlerës së forcës aksiale, që në këtë rast është variabël.

Ndryshimi i forcave aksiale që veprojnë në izolator, shkaktuar prej momentit përbysës, mund të pranohet të ketë varësi lineare prej këtij të fundit. Duke pranuar mbistrukturën si trup të ngurtë, pozicioni i masës së përqendruar në modelin dinamik me një shkallë lirie mund të pranohet i njëjtë me qendrën e gravitetit të strukturës. Momenti përbysës do të llogaritet si produkt i forcës sizmike me lartësinë e masës së përqendruar kundrejt sistemit të izolimit. Nga ekuilibri dinamik i forcave, forca sizmike është e barabartë me forcën prerëse në bazë, kështu që momentin përbysës mund ta llogarisim si produkt të forcës prerëse në bazë me lartësinë e masës së përqendruar, që në rastin e një ndërtese uniforme do të ishte sa gjysma e lartësisë së ndërtesës.

Për ilustrim do të shqyrtojmë sjelljen sizmike të një ndërtese nëntë kate me izolim në bazë dhe planimetri uniforme në çdo kat. Për të vënë në dukje efektin e momentit përbysës, ndërtesa do t'i nënshtronhet veprimit të një tërmeti të fortë. Tre raste do të studiohen: a) rasti me neglizhim të forcave aksiale; b) forcat aksiale do të pranohen statike konstante; c) situata reale ku përfshihet dhe momenti përbysës.

1.1 Përshkrimi i ndërtesës së izoluar

Ndërtesa përbëhet nga nëntë kate, sistemi i izolimit dhe nënstruktura ku fiksohet sistemi i izolimit. Forcat vertikale statike që veprojnë në strukturë janë pranuar uniformisht të shpërndara me intensitet 12 kN/m^2 me përashtim të tarracës dhe bazës së mbistrukturës. Në Fig. 6.10 është paraqitur plani i strukturave të bazës dhe prera tërthore e strukturës. Në skemë paraqiten dhe forcat aksiale që veprojnë në izolatorë.

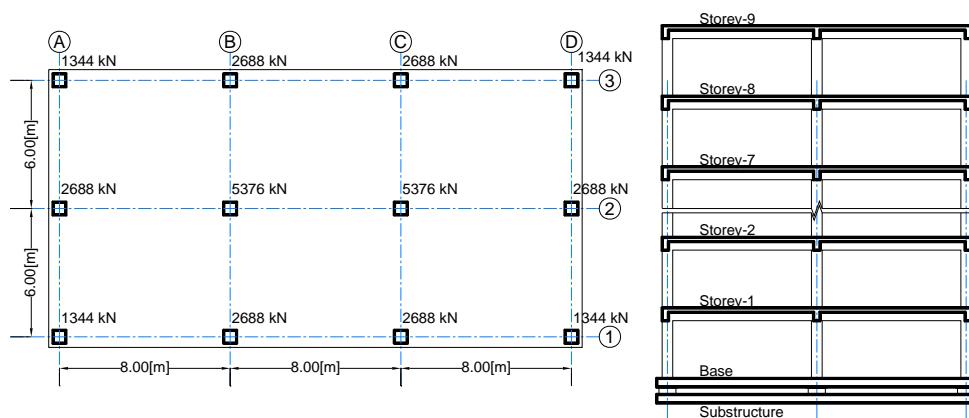


Figura 6.10. Plani i kolonave dhe altimetria e ndërtesës 9-katëshe me izolator elastomerik. Përsa i përket bazës së mbistrukturës, ajo është pranuar mjaftueshmërisht e shtangët dhe

mund të modelohet si trup i ngurtë.

1.2 Karakteristikat e izolatorëve

Materiali elastomerik i përdorur për izolatorët e laminuar është materiali gomë me shuarje të lartë MVBR-0468 (X 0.4R) i Kompanisë Bridgestone. Karakteristikat e këtij materiali janë treguar në shembujt e analizuar më sipër.

Për përmasimin e izolatorëve do të nisemi nga kushti i periodës efektive të kërkuar $T_{eff} \simeq 2.5 s$ dhe deformimeve prerëse $\gamma = 1.5$.

Duke përdorur formulën:

$$K_{eff} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot M}{T_{eff}^2}$$

Për masë të mbistrukturës $M = 3288 \text{ ton}$ dhe periodë $T_{eff} \simeq 2.5 s$, shtangësia horizontale efektive e sistemit të izolimit rezulton:

$$K_{eff} = \frac{4 \cdot 3.14^2 \cdot 3288}{2.5^2} = 20748 \text{ kN/m}$$

Shpërndajmë shtangësinë e sistemit të izolimit në izolatorët e veçantë, në mënyrë proporcionale me forcat aksiale statike që veprojnë mbi izolatorë. Për izolatorët qendrorë dhe ata perimetralë, shtangësitë efektive horizontale llogariten si më poshtë:

$$k_{eff,in} = K_{eff} \cdot \frac{N_{sd,in}}{\sum_i N_{sd,i}} = 20748 \cdot \frac{5376}{32256} = 3458 \text{ kN/m}$$

$$k_{eff,ex} = \frac{K_{eff} - n_{in} \cdot k_{eff}^{in}}{n_{ex}} = \frac{20748 - 2 \cdot 3458}{10} = 1383 \text{ kN/m}$$

Për të llogaritur trashësinë e përgjithshme të gomës, fillimisht llogarisim zhvendosjen maksimale të sistemit të izolimit. Zhvendosjen horizontale të sistemit të izolimit do ta llogarisim duke përdorur nxitimin spektral të spektrit elastik që i përgjigjet akselerogramës së pranuar. Faktori i shuarjes për reduktimin e spektrit elastik që zotëron sistemi i izolimit me gomë, me shuarje të lartë, do të merret 22% sipas certifikatës së prodhuesit.

Në Fig. 6.11 jepen regjistrimi i akselerogramës për drejtimin horizontal i tërmetit New Hall dhe i spektrit elastik përgjegjës për shuarjen e dhënë.

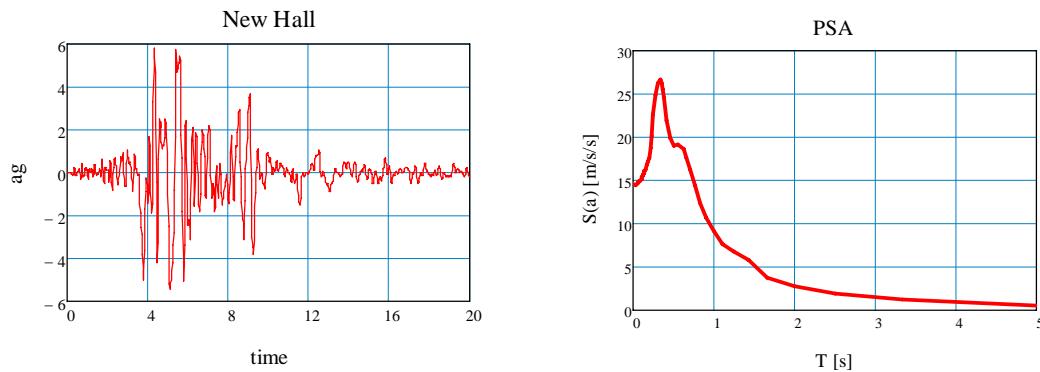


Figura 6.11. Akselerograma dhe Spektri elastik i shpejtimeve përgjegjës për $\xi = 22\%$

Zhvendosja horizontale do të llogaritet nga formula:

$$\Delta = \frac{S(a)_{T=2.5} \cdot M}{K_{eff}} = \frac{1.94 \cdot 3288}{20748} = 0.307 \text{ m}$$

Për kënd rrëshqitje $\gamma = 1.5$ dhe zhvendosje $\Delta = 0.307 \text{ m}$, trashësia totale e gomës për izolator është:

$$t_r = \frac{\Delta}{\gamma} \approx \frac{0.3}{1.5} = 0.2 \text{ m}$$

Duke përdorur formulën e thjeshtuar të shtangësisë horizontale efektive:

$$k_{eff} = \frac{G_{eff} \cdot A}{t_r}$$

marrim diametrat efektivë të izolatorëve për seksione tërthorë rrrethorë $D_{in} = 1.5 \text{ m}$ dhe $D_{ex} = 0.95 \text{ m}$.

1.3 Ndërtimi i kurbave kapacitive të izolatorëve

Modeli kompjuterik është ndërtuar sipas procedurës së përshkruar në pikën 1.3, përjashtim bën ndërtimi i kurbave të kapacitetit horizontal të izolatorëve ku merret parasysh edhe momenti përbrysës.

Kurbat kapacitive të izolatorëve do të ndërtohen për tre raste në studim: a) pa efektin e forcave aksiale; b) nën veprimin e forcave statike konstante; c) nën veprimin e forcave aksiale variable dinamike. Do të ndalemi në shpjegimin e rastit të tretë, pasi dy të parat janë rrjedhojë e rastit të tretë për forcë aksiale konstante ose zero.

Le të pranojmë vlerën e faktorit të parë të formës $S_1 = 10$. Forcën kritike në izolator do ta llogarisim nga shprehja e mëposhtme:

$$P_{cr} = \sqrt{P_s \cdot P_E}$$

ku

$$P_s = G \cdot A \quad \text{dhe} \quad P_E = \pi^2 \cdot \frac{(E \cdot I)_{eff}}{t_r^2}$$

me

$$(EI)_{eff} = \frac{E_C \cdot I}{3} \quad \text{dhe} \quad E_C = \frac{6 \cdot G_{(\gamma=0.2)} \cdot S_1^2 \cdot E_\infty}{6 \cdot G_{(\gamma=0.2)} \cdot S_1^2 + E_\infty}$$

Për materialin gomë të përdorur në izolatorët e laminuar dhe për kënd rrëshqitje $\gamma = 0.2$, moduli efektiv dinamik $G_{(\gamma=0.2)} = 873 \text{ kPa}$ dhe moduli elestik i hapësirës infinit $E_\infty = 1.3 \cdot 10^6 \text{ kPa}$. Llogarisim momentet e inercisë për sektionet tërthore rrethore me diametra $D_{in} = 1.5 \text{ m}$ dhe $D_{ex} = 0.95 \text{ m}$ sipas formulës:

$$I_x = \pi \cdot \frac{D^4}{64}$$

Për izolatorët qendrorë dhe ata perimetralë, momentet e inercisë janë $I_{x,in} = 0.248 \text{ m}^4$ dhe $I_{x,ex} = 0.04 \text{ m}^4$.

Duke përdorur formulat xx dhe yy , forcat aksiale kritike për kënd rrëshqitje zero janë respektivisht:

$$P_{cr,in} = 1.08 \cdot 10^5 \text{ kN} \quad \text{dhe} \quad P_{cr,ex} = 2.756 \cdot 10^4 \text{ kN}$$

Shtangësia efektive horizontale reduktohet nga formula e mëposhtme:

$$K_H = K_H^0 \left[1 - \left(\frac{P}{P_{cr}} \right)^2 \right]$$

ku

$$P_{cr} = P_{cr}^0 \left(1 - \frac{\gamma}{S_2} \right) \quad \text{me} \quad S_2 = \frac{D}{t_r} \quad \text{dhe} \quad P = P^0 + \Delta P$$

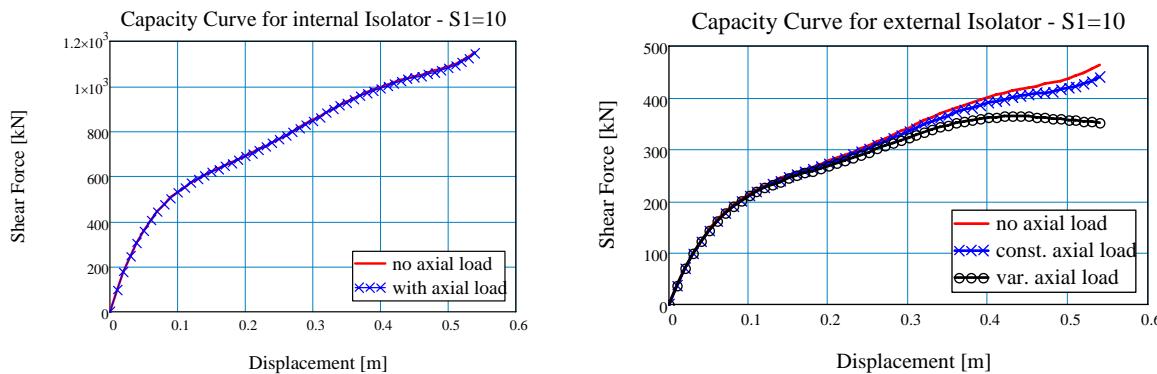
Shtesa ΔP e forcës aksiale ndryshon në varësi të momentit përbysës dhe jepet nga shprehja:

$$\Delta P_i = \frac{M_{ox}}{K_\Phi} \cdot y_i \cdot k_{i,V}$$

ku

$$M_{ox} = V \cdot \frac{H_{str}}{2} \quad \text{me} \quad V = K_{eff} \cdot \Delta = K_{eff} \cdot t_r \cdot \gamma \quad \text{dhe} \quad K_\Phi = \sum_i k_{i,V} \cdot y_i^2$$

Siç mund të shihet nga shprehjet e mësipërme, si forca kritike ashtu dhe ajo aksiale që vepron mbi izolator janë funksion të këndit të rrëshqitjes γ . Forca aksiale shtesë në çdo izolator shkaktohet nga veprimi i momentit përbysës. Duke pranuar mbistrukturën si trup të ngurtë, shpërndarjen e forcave inerciale në gjithë lartësinë e strukturës mund ta konsiderojmë konstante. Për ndërtesën në studim, nga pranimet e mësipërme, forca sizmike rezultante vepron në mes të lartësisë të ndërtesës. Nga ekuilibri i forcave horizontale, forca sizmike rezultante është e barabartë me forcën prerëse në bazë. Kështu që momenti përbysës mund të llogaritet si produkt i forcës prerëse në bazë me gjysmën e lartësisë së ndërtesës. Forca prerëse në bazë është funksion i zhvendosjeve të sistemit të izolimit dhe shtangësisë efektive horizontale të tij. Nga ana tjetër, vetë shtangësia efektive horizontale është funksion i këndit të rrëshqitjes dhe forcës aksiale, e cila varion në bazë të momentit përbysës, ku ky i fundit është funksion i këndit të rrëshqitjes gjithashtu. Duke u nisur nga sa më sipër, kurbat kapacitive të izolatorëve do të llogariten hap pas hapi, duke kryer korrigjimin e shtangësisë horizontale të tyre në çdo hap. Në Fig. 6.12 janë paraqitur kurbat kapacitive për izolatorët qendrorë dhe ata perimetralë.



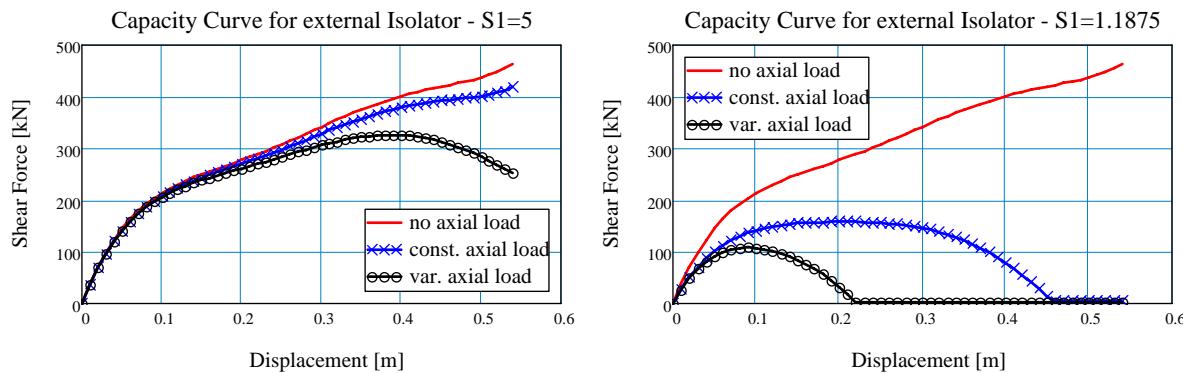


Figura 6.12. Kurbat kapacitive për izolatorët elastomerikë nën efektin e momentit përbysës

Për izolatorët qendrorë, faktori i dytë i formës është relativisht i lartë ($S_2 = 7.5$) dhe efekti i forcës aksiale është shumë i vogël. Duke qenë se ndërtesa ka dy hapësira drite, për izolatorët qendrorë mund të pranojmë që nuk ka forca aksiale shtesë të shkaktuara nga momenti përbysës. Për izolatorët perimetralë me vlera mesatare të faktorit të dytë të formës ($S_2 = 4.75$), efekti i forcës aksiale është lehtësish i dukshëm. Gjithashtu, për shkallë të lartë të laminimit, efekti i momentit përbysës është pak i ndjeshëm sidomos për zhvendosje brenda zhvendosjes të dëshiruar. Në Tabelën x.x jepen vlerat e shtangësive efektive horizontale në funksion të forcës aksiale për zhvendosjen e dëshiruar.

Tabela 6.5. Shtangësia efektive horizontale $\gamma = 1.5$ [njësia në kN]

Izolator perimetr.	$S_1 = 10$	$S_1 = 5$	$S_1 = 1.1875$
Pa forcë aksiale	342	342	342
Forcë aksiale con.	335	329	145
Forcë aksiale var.	323	306	N/A (dështim)

1.4 Modeli kompjuterik

Për të kryer analizat kompjuterike kemi përdorur modelimin e thjeshtë të strukturës me elementë të fundëm. Duke pranuar soletat dhe trarët si trupa të ngurtë, çdo nivel kati është modeluar me element lidhës linear me dy nyje. Elementi lidhës linear mbart shtangësitë horizontale të kolonave të katit si dhe shtangësinë përdredhëse të tij. Masa sizmike e çdo kati i atashohet një nyje të pozicionuar në qendër të planit të katit, duke i shtuar dhe jashtëqendërsinë aksidentale. Kjo nyje mbart masat sizmike sipas dy drejtimeve horizontale dhe atij rrotullues.

Izolatorët janë modeluar me elementë lidhës jolinearë me dy nyje. Në rastin kur nuk merret parasysh efekti i forcave aksiale, elementi lidhës që kemi përdorur është element i brendshëm

standard në programin Sap2000. Kur marrim parasysh efektiv e forcës aksiale që shqërohet me degradim të shtangësës efektive horizontale, si element lidhës është përdorur elementi multilinear plastik për një modelim adekuat. Në Fig. 6.13 është paraqitur modeli kompjuterik i ndërtesës në studim. Nyjeve të të njëjtë nivel u janë vendosur kushtet dhe shkallët e lirisë përkatëse për të reduktuar sasinë e llogaritjeve kompjuterike, si dhe për të marrë saktësinë e nevojshme njëkohësisht.

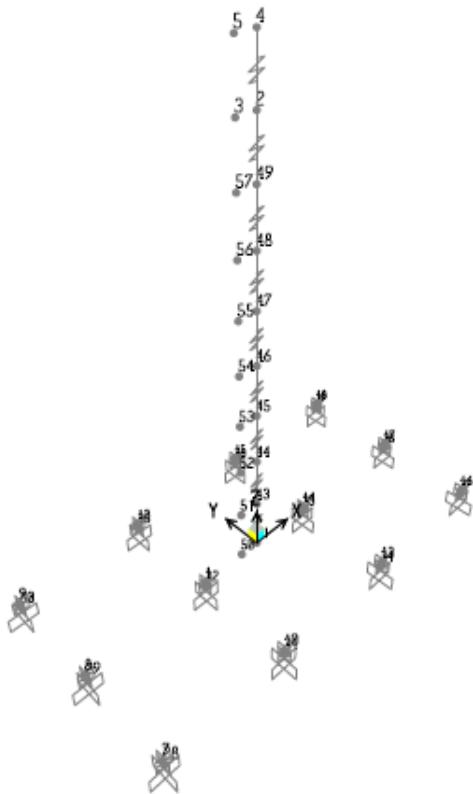


Figura 6.13. Modeli kompjuterik për analizat jolineare të ndërtesës 9 kat me izolator elastomerik.

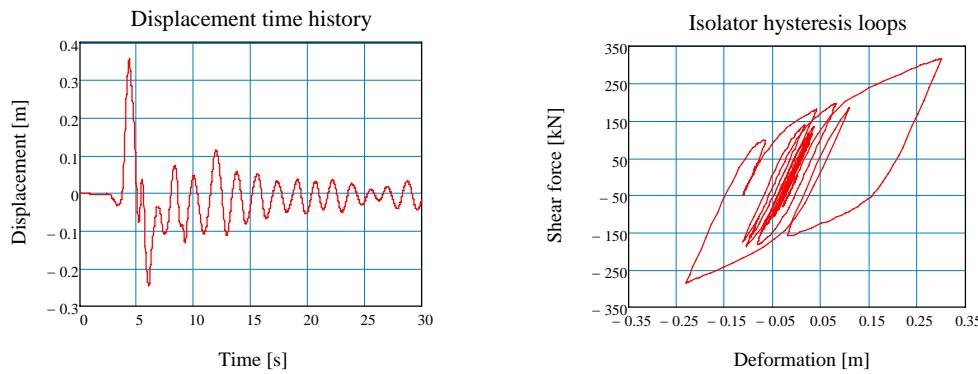


Figura 6.14. Zhvendosjet e sistemit të izolimit dhe kurba histeretike për një njësi izolimi.

Zhvendosja maksimale e sistemit të izolimit përpunhet me zhvendosjen e llogaritur duke përdorur spektrin përgjegjës të reagimit sizmik me një saktësi të kënaqshme. Ndryshimi është

më se i justifikueshëm, pasi në linjë hyn dhe momenti përmbysës. Llogaritjet janë kryer përi izolator me $S1=10$, ku efekti i forcës aksiale nuk është dhe aq i ndjeshëm përi nivelin e dhënë të sforcimeve. Në qoftë se do të përdoreshin izolatorë me faktor të parë ose të dytë të vogël, efekti i momentit përmbysës mund të çojë në dështimin e sistemit të izolimit dhe përi rrjedhojë të ndërtesës në tërësi.

KAPITULLI - VII -

PROJEKTIMI I NJË NDËRTESE SHUMËKATËSHE BANIMI DHE SHËRBIMESH

1. Projektimi me bazë fikse [Murtaj L., Softa F. – 2010]

1.1 Përshkrimi i ndërtesës

Ndërtesa në fjalë i përket grupit të objekteve civile banimi dhe shërbimesh me koeficjent rëndësie "1". Struktura mbajtëse e saj përbëhet nga skeleti betonarme i një sistemi dual. Në altimetri ndërtesa përbëhet prej dy kateve bodrum dhe 8-9 kate mbi tokë. Katet bodrum shërbejnë si parkim makinash, dy katet e para mbi tokë si ambiente shërbimi dhe 6-7 kate banim. Forma e saj në plan është e çrrregullt. Duke u nisur nga funksioni dhe forma e saj e çrrregullt në plan, struktura është konceptuar me një bërthamë të fuqishme qendrore, dy kafaze ashensorësh dhe tre diafragma periferike për të bërë të mundur zvogëlimin e jashtëqendërsisë sizmike të saj.

Në Fig. 7.1 dhe Fig. 7.2 jepen pamja e ndërtesës dhe plani i saj.



Figura 7.1. Pamja e ndërtesës

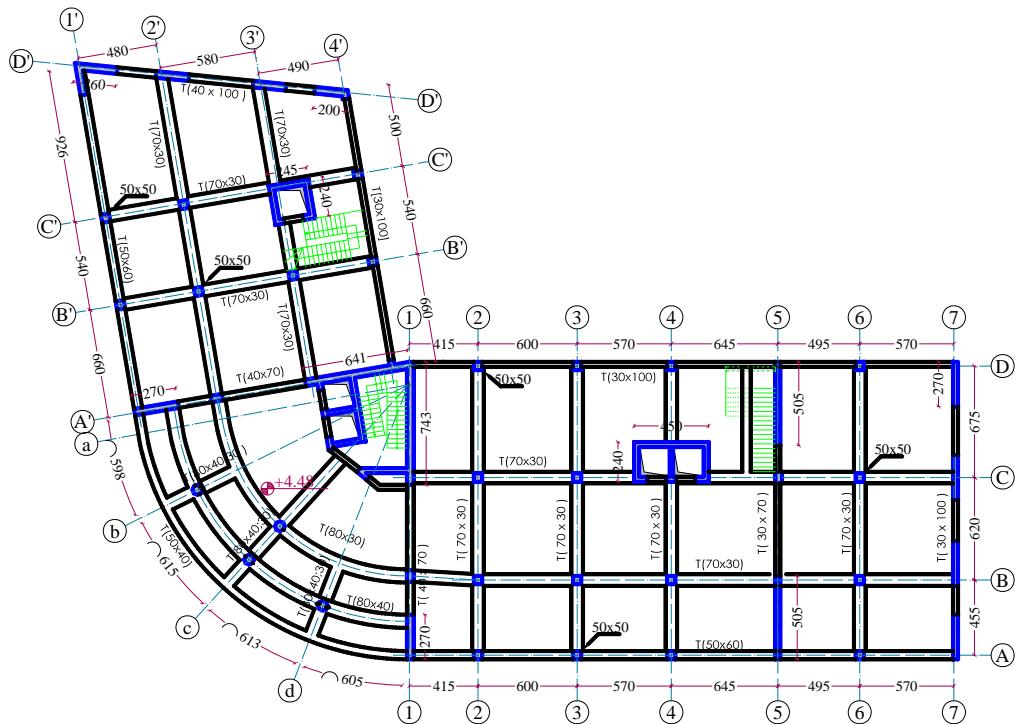


Figura 7.2. Plani i strukturave në katin shërbime

1.2 Ngarkesat dhe veprimet

Për përcaktimin e ngarkesave dhe veprimeve jemi mbështetur në normat evropiane

EC-2 (UNI ENV 19921-1) dhe EC-8 (UNI ENV 1998-1-1 - EN 1998-1 : 2004). Kryejmë dimensionimet paraprake të soletave, që në rastin tonë janë pllaka monolite me trashësi 15cm për katet banim dhe 20cm për katet shërbime. Ngarkesën e elementeve strukturalë tra, kolona dhe mure do ta gjenerojmë program llogaritës në funksion të përmasave të tyre. Përmasat fillestare të tyre i llogarisim me dimensionim paraprak orientues. Gjithashtu, përcaktojmë llojet e shtresave dhe muraturës që do të përdoret. Nisur nga sa më sipër llogarisim ngarkesat si më poshtë:

- #### • Të përhershme:

Në katet banim

- Soleta

Ngarkesë sipërfaqësore me $g_{sol}=4 \text{ kN/m}^2$;

- Shtresat

Ngarkesë sipërfaqësore me $g_{sh}=1.5 \text{ kN/m}^2$;

- Muret

Ngarkesë sipërfaqësore me $g_m=2.5 \text{ kN/m}^2$;

Në katet parkim dhe dyqane

- Soleta

Ngarkesë sipërfaqësore me $g_{sol}=5 \text{ kN/m}^2$;

- Shtresat

Ngarkesë sipërfaqësore me $g_{sh}=1.5 \text{ kN/m}^2$;

- Muret

Ngarkesë sipërfaqësore me $g_m=3.5 \text{ kN/m}^2$;

Në ambientet e jashtme

- Soleta

Ngarkesë sipërfaqësore me $g_{sol}=7.5 \text{ kN/m}^2$;

- Mbushje

Ngarkesë sipërfaqësore me $g_{sh}=12 \text{ kN/m}^2$;

- Të përkohshme

- Për apartament

Ngarkesë sipërfaqësore me $p_a=2 \text{ kN/m}^2$;

- Dyqane

Ngarkesë sipërfaqësore me $g_m=4 \text{ kN/m}^2$;

- Ambient i jashtëm

Ngarkesë sipërfaqësore me $g_m=10 \text{ kN/m}^2$;

- Masa sizmike

Përfshin ngarkesat e përhershme dhe 30% të ngarkesave të përkohshme, transferuar në masë sipërfaqësore të soletave.

Si veprime do të marrim forcat sizmike, bazuar në studimin sizmologjik të truallit që do të përdoret për ndërtim.

Forcat sizmike do të gjenerohen nëpërmjet spektrit të reagimit sizmik të projektimit, duke iu referuar EC-8 (UNI ENV 1998-1-1 - EN 1998-1 : 2004). Nxitimi maksimal i truallit është dhënë $PGA=2.7 \text{ m/s}^2$. Faktori i sjelljes do të llogaritet duke pranuar çrrregullsinë në plan të strukturës.

Për sisteme me mure të ndërvarur dhe klasën "DCH" faktori i duktilitetit jepet:

$$q = q_o k_w$$

$$q_o = 4.5 \alpha_u / \alpha_1$$

për sisteme me mure të ndërvarur:

$$k_{\epsilon} = (1 + \alpha_o) / 3 \leq 1$$

$$\alpha_o = \sum h_w / \sum l_w = 32 / 7.1 = 4.5;$$

pranojmë $k_w = 1$;

$$\alpha_u / \alpha_1 = 1.2;$$

$$q = 5.4;$$

Meqë objekti ka çrrregullsi strukturale në plan:

$$q = 5.4 * 0.8 = 4.3$$

Meqenëse një pjesë e trarëve të përdorur kanë një rezistencë të moderuar ndaj rrotullimit si pasojë e lartësisë së reduktuar të seksionit, pranojmë:

$$q = 3.3;$$

Në Fig. 7.3. jepet spektri i projektimit për $PGA=2.7 \text{ m/s}^2$, kategori trualli "E" dhe faktor sjellje $q=3.3$.

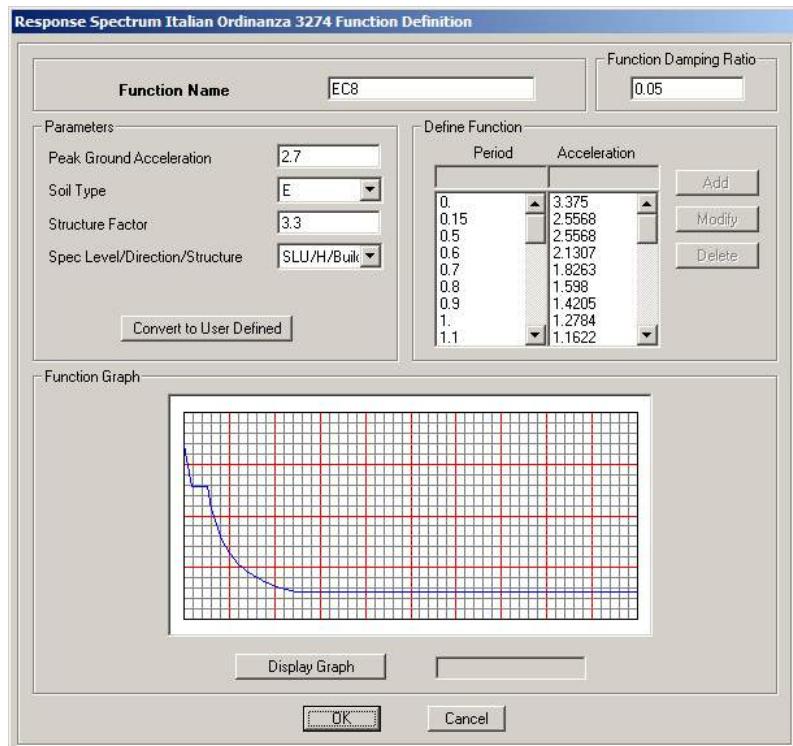


Figura 7.3. Spektri i projektimit të reagimit sismik

Sipas KTP-89, spektri shqiptar i projektimit jepet si më poshtë:

$$S(a) = ke * kr * \Psi * \beta * g$$

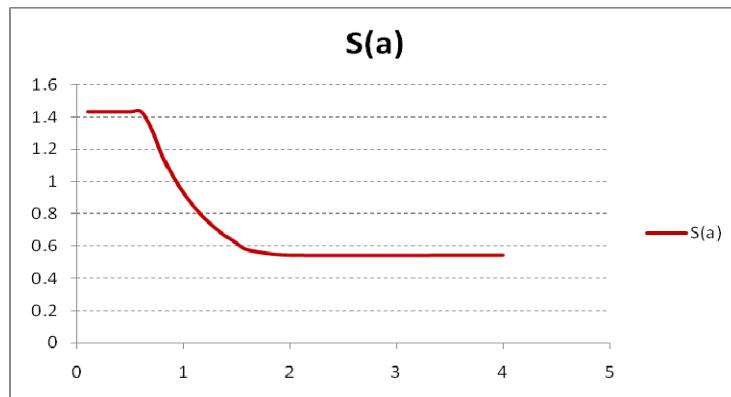


Figura 7.4. Spektri i projektimit KTP-89

$$ke = 0.26 \quad kr = 1 \quad \Psi = 0.33 \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2 \quad 0.65 \leq \beta = 1.1/T \leq 1.7$$

Siç duket dhe nga grafikët, spektri shqiptar jep vlera dukshëm më të ulëta se ai evropian, prandaj duhet parë me rezerva. Për këtë arsyesh do të përdorim vetëm spektrin e Eurocodit në analizat tonë.

Ngarkesat do të kombinohen sipas EC-2 dhe EC-8, si më poshtë:

Tabela 7.1. Kombinimi i ngarkesave për strukturën me bazë fikse.

Kombinimi	Ngarkesa		Sizmike	
	Përherershme	Përkohshme	Sipas X	Sipas Y
DCON1	1.35	(--)	(--)	(--)
DCON2	1.35	1.5	(--)	(--)
DCON3	1	0.45	1	0.3
DCON4	1	0.45	0.3	1
DCON5	1	(--)	1	0.3
DCON6	1	(--)	0.3	1

1.3 Modeli dhe analizat kompjuterike

Modelimi i strukturës do të bëhet me elementë të fundëm. Për pllakën e themelit do të përdoret elementi linear kuadratik pllakë, i cili merr në llogaritje edhe deformimet nga forca prerëse sipas vektorit drejtues të pllakës. Ky element përbëhet nga katër nyje me nga gjashtë shkallë lirie secila.

Për muret vertikale b/a do të përdoret i njëti element, por tek ky i fundit do të neglizhohen deformimet prerëse sipas vektorit drejtues.

Elementët tra-kolonë do të modelohen me element gjatësor linear me dy nyje po me nga gjashtë sh.k.l, për të siguruar kompatibilitetin midis elementëve të fundëm.

Do të kryejmë analizat lineare të mëposhtme:

- Analiza statike për ngarkesat vertikale (DCON1 dhe DCON2).
- Analizat modale hapësinore.
- Analizën dinamike spektrale modale (DCON3 – DCON6).

Në Fig.7.5 jepet modeli kompjuterik tredimensional me elementë të fundëm.

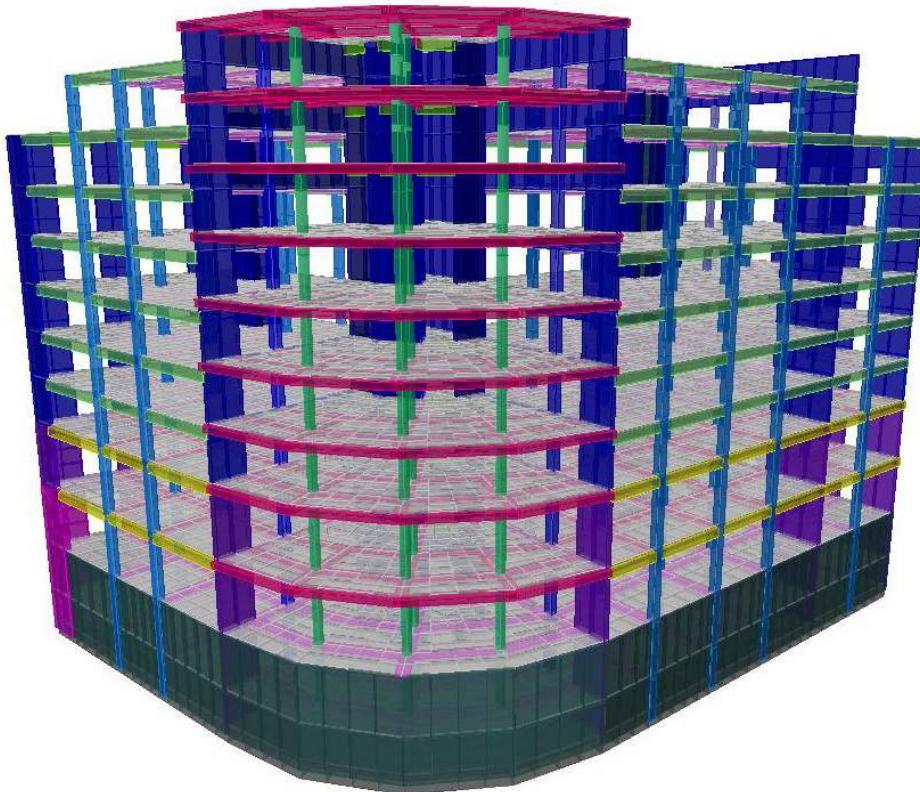


Figura 7.5. Modeli 3-dimensonal me elementë të fundëm për sistemin me bazë fikse.

1.4 Reagimi sismik i strukturës

Në reagimin sismik do të shohim strukturën si të tërë dhe elementë të saj në veçanti. Do të zgjedhim elementët vertikalë tip bërthamë, diafragmë dhe një ramë qendrore. Do të studiojmë modët e lëkundjeve të lira, zhvendosjet e kateve dhe forcat në to. Për elementët e veçantë do të analizojmë forcat e brendshme.

Në Tab.7.2 jepen modët e lëkundjeve të lira për strukturën me bazë fikse. Ndërsa në Fig.7.6 jepen paraqitjet grafike të tre tonëve të parë.

Tabela 7.2. Modët e lëkundjeve për strukturën me bazë fikse.

Toni	Moda - 1	Moda - 2	Moda - 3	Moda - 4	Moda - 5	Moda - 6
Perioda (s)	1.02	0.94	0.62	0.27	0.22	0.16
Lloji	Trans.	Trans.	Rot.	Trans.	Trans.	Rot.

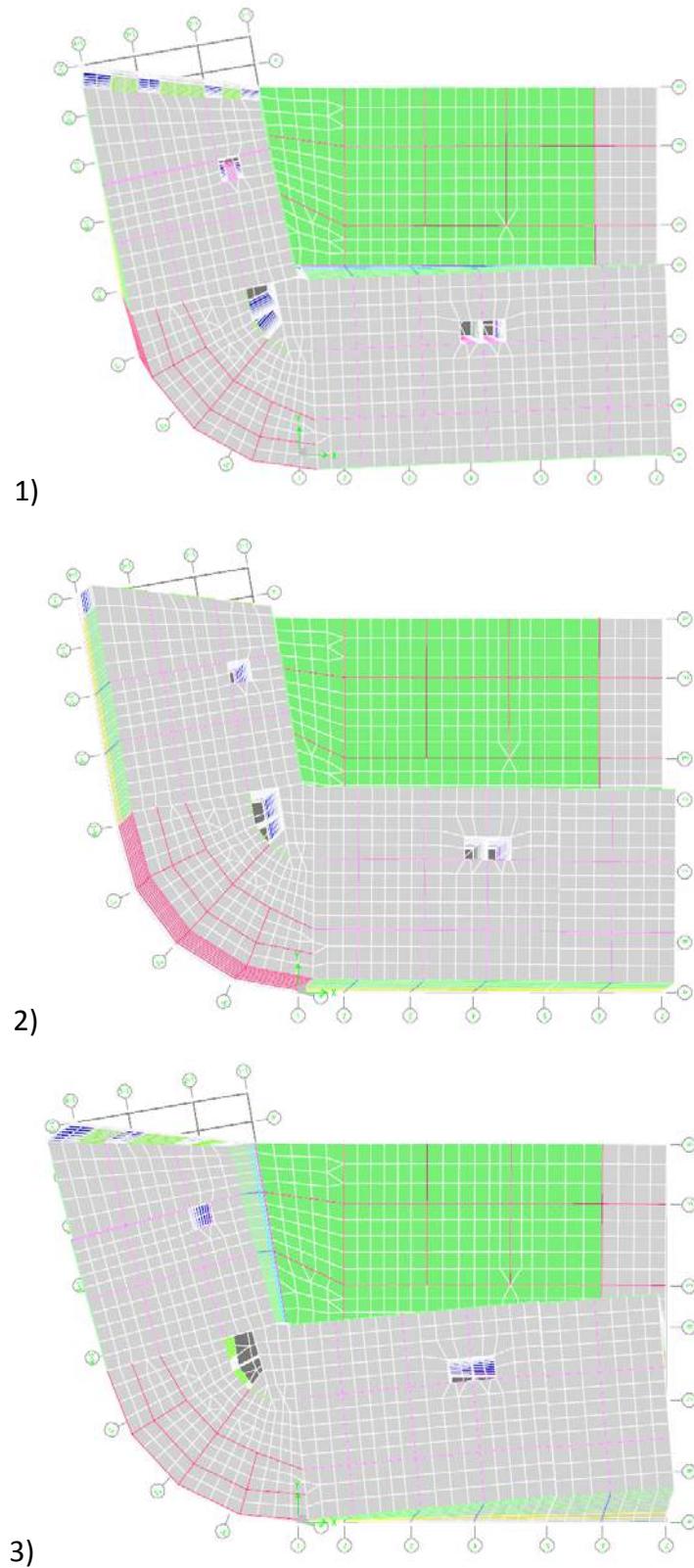


Figura 7.6. Tre modët e para për sistemin me bazë fikse

Zhvendosjet në nivel kati dhe deformimet relative në kat për kombinimin e ngarkesave DCON3 jepen në Tab. 7.3 të matura në cm.

Tabela 7.3. Zhvendosjet absolute dhe relative në kat prej DCON3 për strukturën me bazë fikse.

KUOTA	D _X	D _Y	d _X	d _Y
Kati 8	4.3	3.0	0.4	0.3
Kati 7	3.9	2.7	0.4	0.3
Kati 6	3.5	2.4	0.4	0.3
Kati 5	3.1	2.1	0.4	0.3
Kati 4	2.6	1.8	0.5	0.3
Kati 3	2.2	1.5	0.5	0.3
Kati 2	1.7	1.2	0.4	0.3
Kati 1	1.3	0.9	0.6	0.4
Kati 0	0.7	0.6	0.4	0.3
Kati (-1)	0.2	0.3	0.2	0.2
Kati (-2)	0.1	0.1	0.1	0.1

Ndërsa për kombinimin e ngarkesave DCON4 jepen në Tab. 7.4.

Tabela 7.4. Zhvendosjet absolute dhe relative në kat prej DCON4 për strukturën me bazë fikse.

KUOTA	D _X	D _Y	d _X	d _Y
Kati 8	2.8	4.7	0.3	0.4
Kati 7	2.5	4.3	0.3	0.4
Kati 6	2.2	3.8	0.3	0.5
Kati 5	2.0	3.4	0.3	0.5
Kati 4	1.7	2.9	0.3	0.5
Kati 3	1.4	2.4	0.3	0.5
Kati 2	1.1	1.9	0.3	0.5
Kati 1	0.8	1.5	0.4	0.6
Kati 0	0.4	0.9	0.3	0.5
Kati (-1)	0.2	0.4	0.1	0.3
Kati (-2)	0.1	0.1	0.1	0.1

Në Tab.7.5 jepen forcat e brendshme në kat të strukturës prej kombinimit DCON3. Paraqitja grafike e tyre jepet nga Fig. 7.7 deri Fig.7.9.

Tabela 7.5. Forcat e brendshme në kat prej DCON3 për strukturën me bazë fikse.

KATI	SEKSIONI		N	V _X	V _Y	T	M _X	M _Y
8	9	Max	8156.31	1697.48	1136.56	21354.24	97574.15	6502.536
	8	Max	9131.41	1697.48	1136.56	21354.24	112824.3	7596.03
7	8	Max	20044.93	3641.41	2343.46	50643.07	259574.1	46342.52
	7	Max	21536.99	3641.41	2343.46	50643.07	286278.7	49855.9
6	7	Max	32525.5	5274.84	3282.1	75487.99	436272.9	90250.86
	6	Max	34113.37	5274.84	3282.1	75487.99	467614	87249.48
5	6	Max	44882.71	6564.83	3951.46	94419.24	614564.7	126303.1
	5	Max	46658.23	6564.83	3951.46	94419.24	651155	119889.8
4	5	Max	57208.39	7615.89	4451.65	109519.6	794429.9	158647.1
	4	Max	59232.19	7615.89	4451.65	109519.6	836692.9	148650.7
3	4	Max	69563.17	8527.41	4899.12	122780.9	975909.9	187842.9
	3	Max	71774.63	8527.41	4899.12	122780.9	1023039	174622.7
2	3	Max	81886.42	9357.52	5373.09	135084.3	1157981	214761.8
	2	Max	84321.91	9357.52	5373.09	135084.3	1210514	198061
1	2	Max	94943.65	10186.34	5935.77	147702.9	1350496	246086
	1	Max	98868.24	10186.34	5935.77	147702.9	1437045	224350.5
0	1	Max	109976	10751.73	6405.4	156525.3	1584130	274146.4
	0	Max	114062.1	10751.73	6405.4	156525.3	1678369	247380.3
-1	0	Max	136283	10941.81	6692.54	160788.6	2086745	442566.8
	-1	Max	142812.3	10941.81	6692.54	160788.6	2221689	448105.4
-2	-1	Max	163230.5	10995.39	6784.11	162082.2	2583546	619502.8
	-2	Max	168171.6	10995.39	6784.11	162082.2	2686214	623286.6

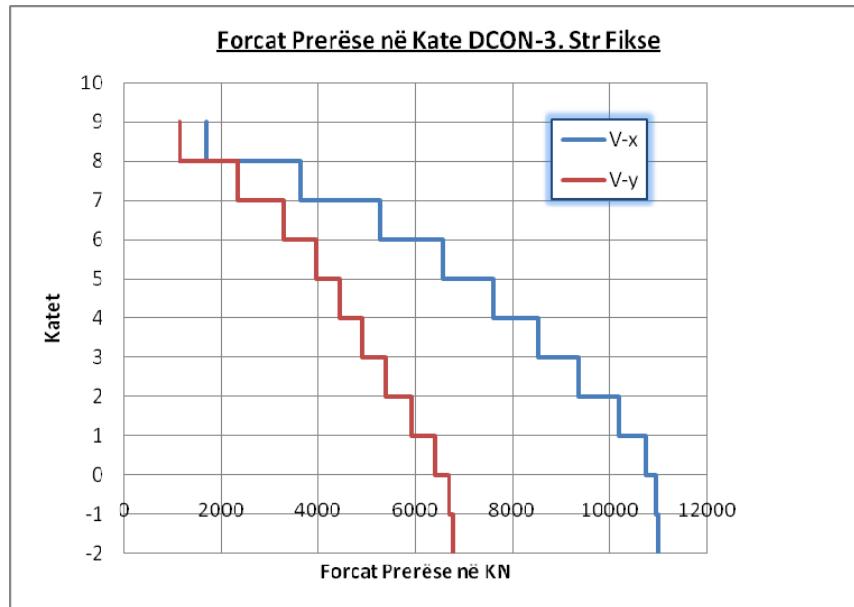


Figura 7.7. Forcat prerëse në kate për strukturën me bazë fikse prej DCON3.

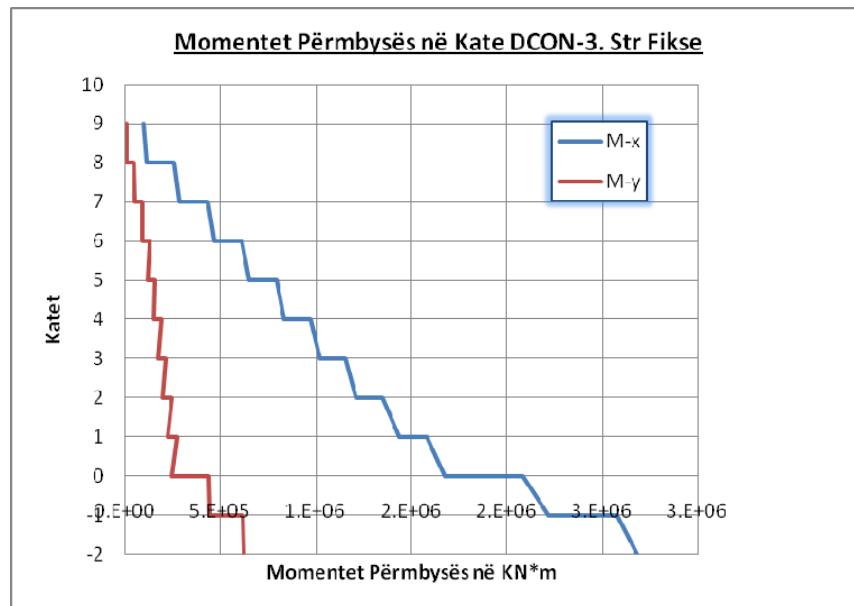


Figura 7.8. Momentet përbysës në kate për strukturën me bazë fikse prej DCON3.

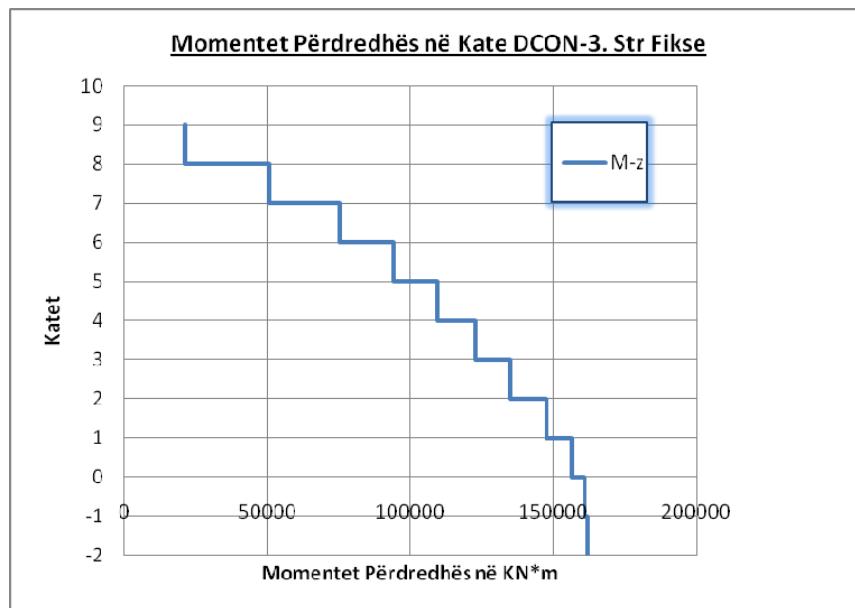


Figura 7.9. Momenti përdredhës në kate për strukturën me bazë fikse prej DCON3.

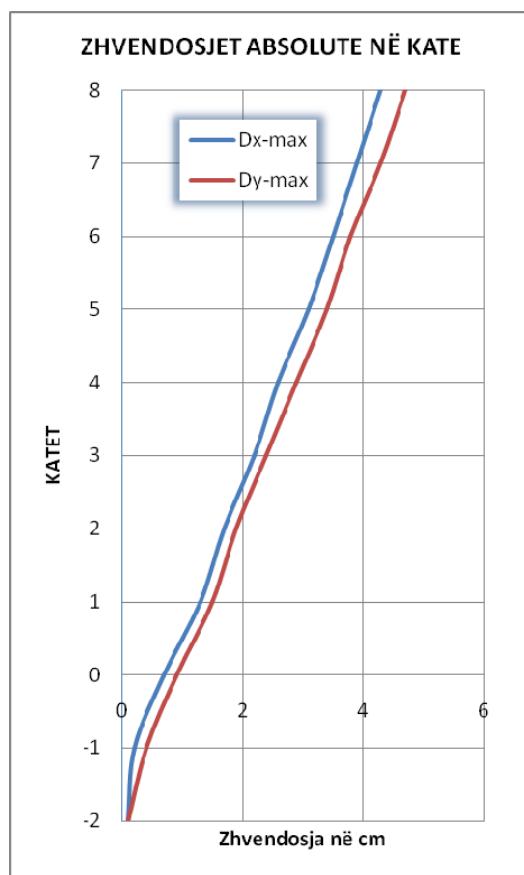


Figura 7.10. Zhvendosjet në kate për strukturën me bazë fikse prej DCON3&DCON4.

Në Tab.7.6 jepen forcat e brendshme në kat të strukturës prej kombinimit DCON4. Paraqitja grafike e tyre jepet nga Fig. 7.11 deri Fig.7.13.

Tabela 7.6. Forcat e brendshme në kat prej DCON4 për strukturën me bazë fiksë.

KATI	SEKSIONI		N	V _X	V _Y	T	M _X	M _Y
8	9	Max	8156.31	1055.17	1712.05	20683.91	97895.15	6877.441
	8	Max	9131.41	1055.17	1712.05	20683.91	114114.2	9066.772
7	8	Max	20044.93	2247.98	3612.98	52832.66	262078.7	49161.72
	7	Max	21536.99	2247.98	3612.98	52832.66	291246.3	55394.8
6	7	Max	32525.5	3219.5	5184.09	80809.39	443145.2	97866.29
	6	Max	34113.37	3219.5	5184.09	80809.39	478664.9	99391.32
5	6	Max	44882.71	3948.86	6403.75	102117.6	627769.6	140749.2
	5	Max	46658.23	3948.86	6403.75	102117.6	670369.9	140748
4	5	Max	57208.39	4518.34	7381.21	119091.2	815666.9	181639.4
	4	Max	59232.19	4518.34	7381.21	119091.2	865845.9	179995.4
3	4	Max	69563.17	5022.01	8233.72	133912.5	1006643	220841
	3	Max	71774.63	5022.01	8233.72	133912.5	1063622	217938.8
2	3	Max	81886.42	5526.58	9040.84	147525.8	1199452	259001.7
	2	Max	84321.91	5526.58	9040.84	147525.8	1263753	254557
1	2	Max	94943.65	6097.46	9895.98	161462.4	1403735	302582.1
	1	Max	98868.24	6097.46	9895.98	161462.4	1508114	299283
0	1	Max	109976	6540.69	10557.42	171154.7	1655199	349079
	0	Max	114062.1	6540.69	10557.42	171154.7	1768114	341406.8
-1	0	Max	136283	6720.12	10945.29	175879.1	2176491	536593.3
	-1	Max	142812.3	6720.12	10945.29	175879.1	2326972	557761.3
-2	-1	Max	163230.5	6773.04	11068.4	177368.8	2688828	729158.6
	-2	Max	168171.6	6773.04	11068.4	177368.8	2803356	744775.9

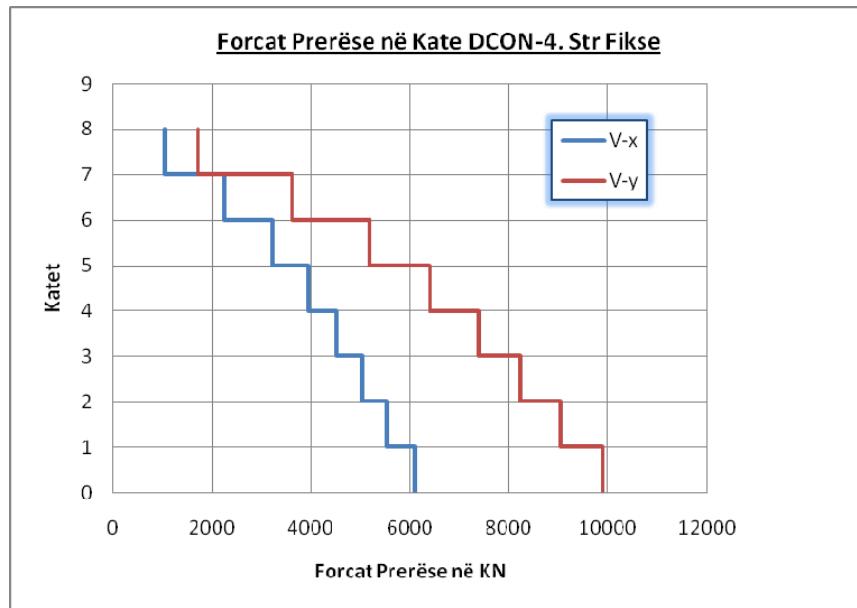


Figura 7.11. Forcat prerëse në kate për strukturën me bazë fikse prej DCON4.

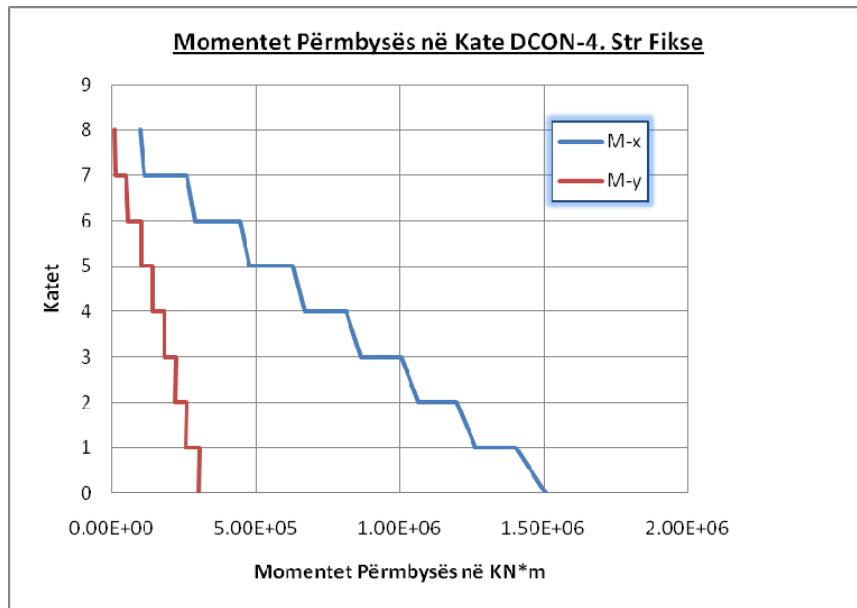


Figura 7.12. Momentet përmbyshës në kate për strukturën me bazë fikse prej DCON4.

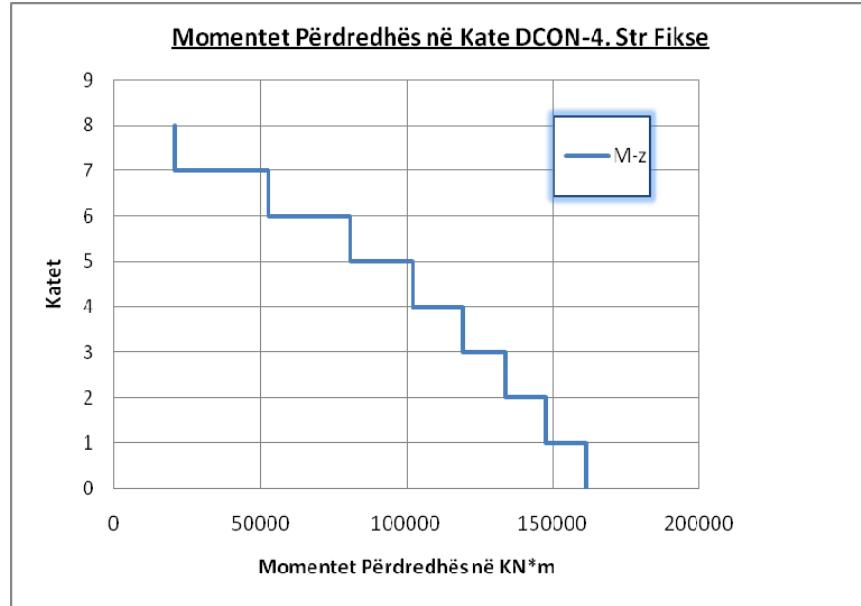


Figura 7.13. Momenti përdredhës në kate për strukturën me bazë fikse prej DCON3.

Elementët që do të shqyrtojmë jepen në Fig.7.14

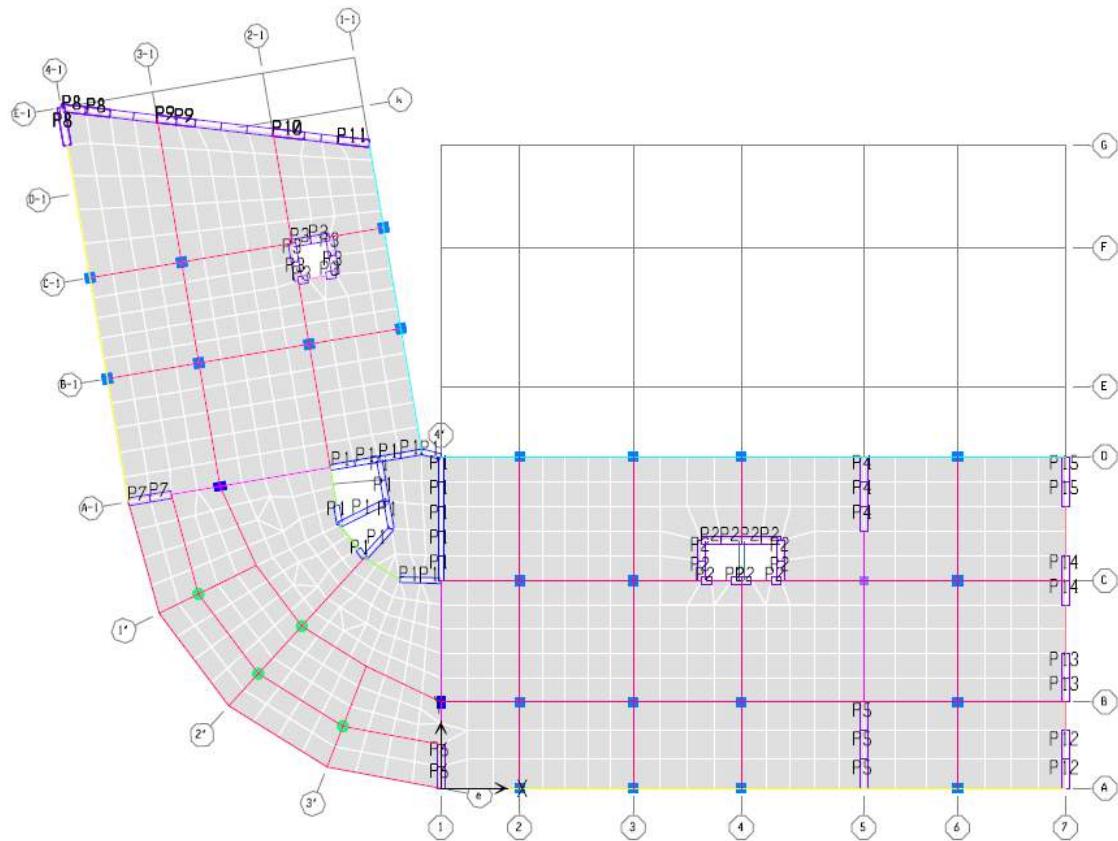


Figura 7.14. Plani i strukturave për strukturën. Modeli kompjuterik.

Forcat e brendshme për bërthamën P1, për kombinimin e ngarkesave sizmike EQX & EQY (analizë spektrale), jepen respektivisht në tabelat Tab.7.7 & Tab.7.8 dhe grafikisht në figurat nga Fig. 7.15 deri në Fig.7.22.

Tabela 7.7. Forcat e brendshme në bërthamën P1 prej EQX. Bazë fikse.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
8	9	548.34	506.81	558.21	1419.19	434.37	520.36
	8	548.34	506.81	558.21	1419.19	4716.75	4474.54
7	8	1133.75	970.10	1341.26	3296.50	5519.12	5088.23
	7	1133.75	970.10	1341.26	3296.50	7720.30	7892.00
6	7	1640.58	1496.52	2050.51	5420.62	8297.06	8224.42
	6	1640.58	1496.52	2050.51	5420.62	8007.82	9369.33
5	6	2015.62	1895.04	2579.93	7130.60	8328.95	9426.28
	5	2015.62	1895.04	2579.93	7130.60	7016.63	9651.49
4	5	2422.79	2180.77	2916.40	8788.05	7035.65	9577.30
	4	2422.79	2180.77	2916.40	8788.05	7883.42	10190.07
3	4	2654.21	2470.81	3169.75	9805.00	7259.73	9871.38
	3	2654.21	2470.81	3169.75	9805.00	11981.32	11545.50
2	3	2906.21	2682.11	3064.33	11168.16	10672.57	11055.15
	2	2906.21	2682.11	3064.33	11168.16	17039.82	14722.68
1	2	2716.29	2970.20	3494.55	10165.90	14668.59	13558.68
	1	2716.29	2970.20	3494.55	10165.90	28207.51	23097.56
0	1	2540.99	2261.21	3163.34	5822.71	26029.93	21886.91
	0	2540.99	2261.21	3163.34	5822.71	39251.56	30098.25
-1	0	2456.97	1653.18	2825.02	2497.75	38383.03	29463.23
	-1	2456.97	1653.18	2825.02	2497.75	28041.60	24905.80
-2	-1	2416.54	2244.35	3499.74	4720.60	27746.13	24598.24
	-2	2416.54	2244.35	3499.74	4720.60	18060.29	19439.18

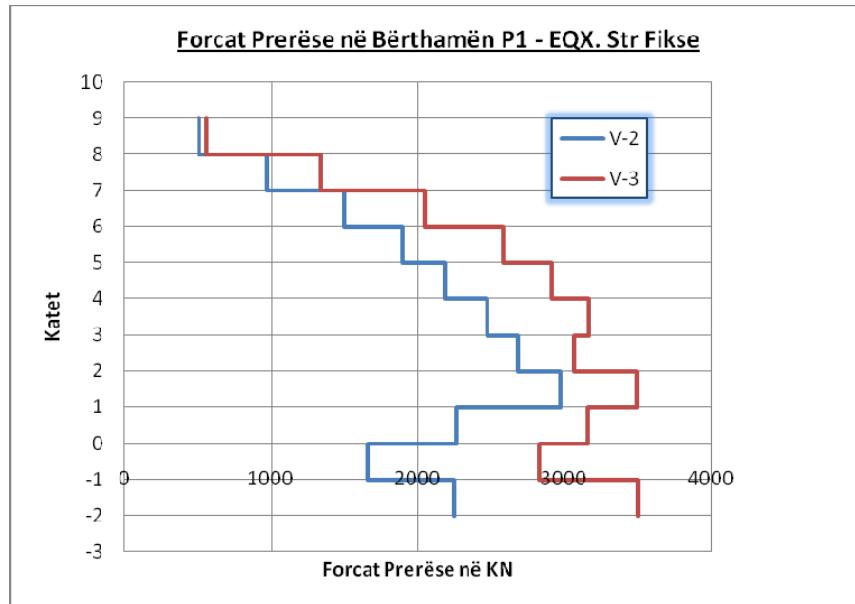


Figura 7.15. Forcat prerëse në kate për bërthamën P1 me bazë fikse prej EQX.

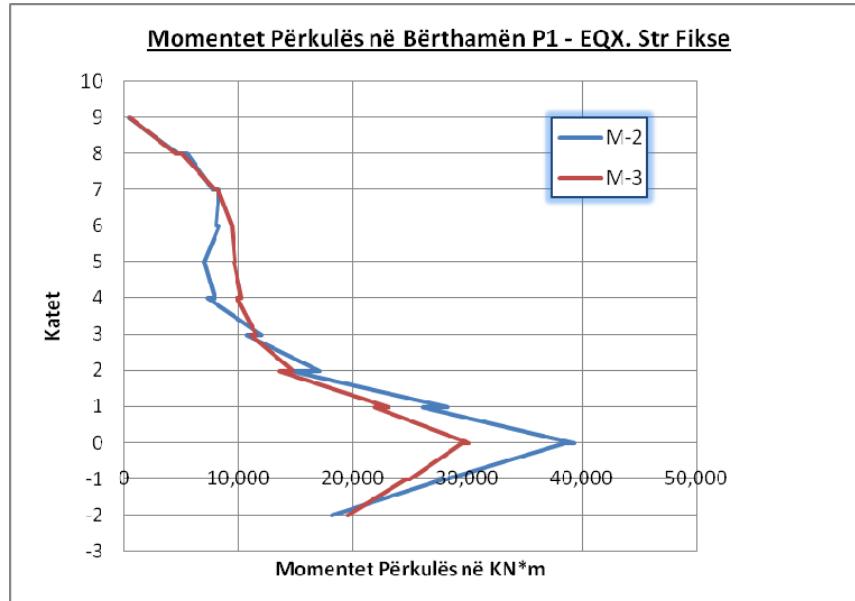


Figura 7.16. Momentet përkulës në kate për bërthamën P1 me bazë fikse prej EQX.

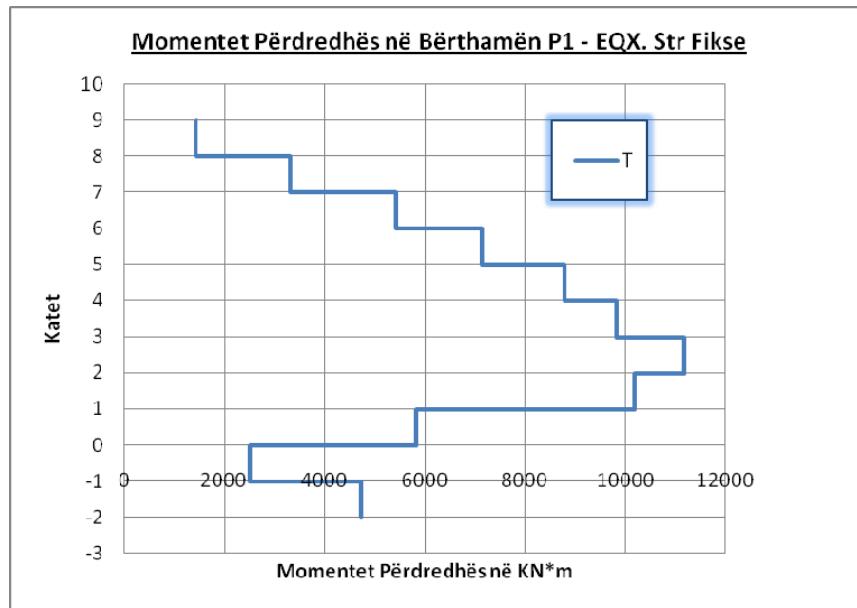


Figura 7.17. Momentet përdredhës në kate për bërthamën P1 me bazë fikse prej EQX.

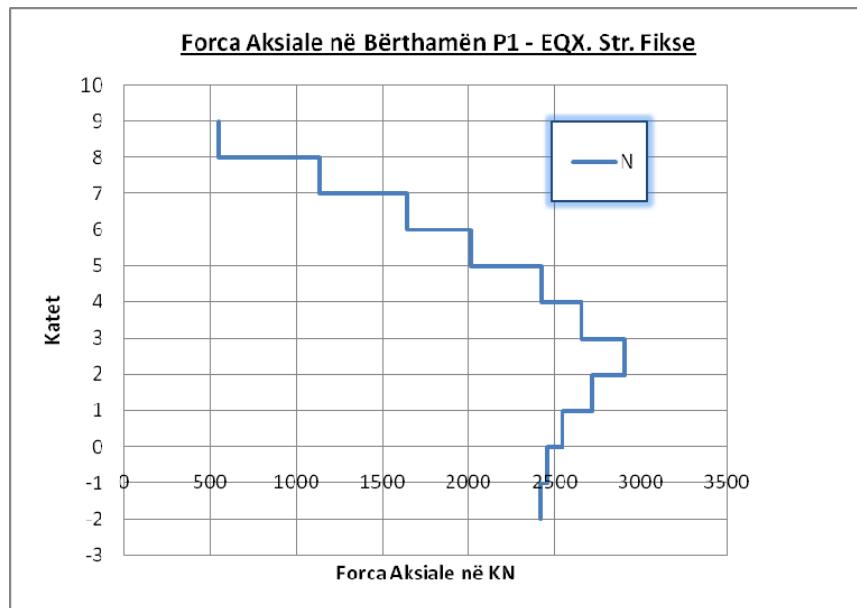


Figura 7.18. Forca aksiale në kate për bërthamën P1 me bazë fikse prej EQX.

Tabela 7.8. Forcat e brendshme në bërthamën P1 prej EQY. Bazë fikse.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
8	9	724.74	605.95	346.30	1582.51	271.62	893.10
	8	724.74	605.95	346.30	1582.51	2950.91	7477.17
7	8	1462.29	1240.04	826.45	2466.21	3410.44	8546.64
	7	1462.29	1240.04	826.45	2466.21	4962.23	12751.63
6	7	2080.57	2205.29	1242.19	4372.73	5241.30	13488.57
	6	2080.57	2205.29	1242.19	4372.73	5595.44	14000.46
5	6	2537.57	3016.25	1535.06	6070.33	5690.16	14425.56
	5	2537.57	3016.25	1535.06	6070.33	5680.69	12433.71
4	5	3029.58	3638.82	1709.37	7656.52	5712.09	12682.24
	4	3029.58	3638.82	1709.37	7656.52	6630.28	11728.94
3	4	3324.17	4196.69	1841.92	8776.58	6457.97	11481.32
	3	3324.17	4196.69	1841.92	8776.58	8461.93	15322.53
2	3	3634.25	4536.80	1795.62	10207.96	8100.86	14371.34
	2	3634.25	4536.80	1795.62	10207.96	10786.51	23372.90
1	2	3468.31	4949.71	2075.77	9751.44	9468.21	21057.39
	1	3468.31	4949.71	2075.77	9751.44	16296.89	40154.99
0	1	3310.81	3637.34	1928.99	5727.98	15055.86	37960.40
	0	3310.81	3637.34	1928.99	5727.98	22616.43	52584.36
-1	0	3222.07	2630.77	1616.42	2261.59	22124.54	51447.00
	-1	3222.07	2630.77	1616.42	2261.59	16386.91	43409.17
-2	-1	3177.42	3764.27	1988.05	3841.42	16208.71	42878.16
	-2	3177.42	3764.27	1988.05	3841.42	10962.56	33530.12

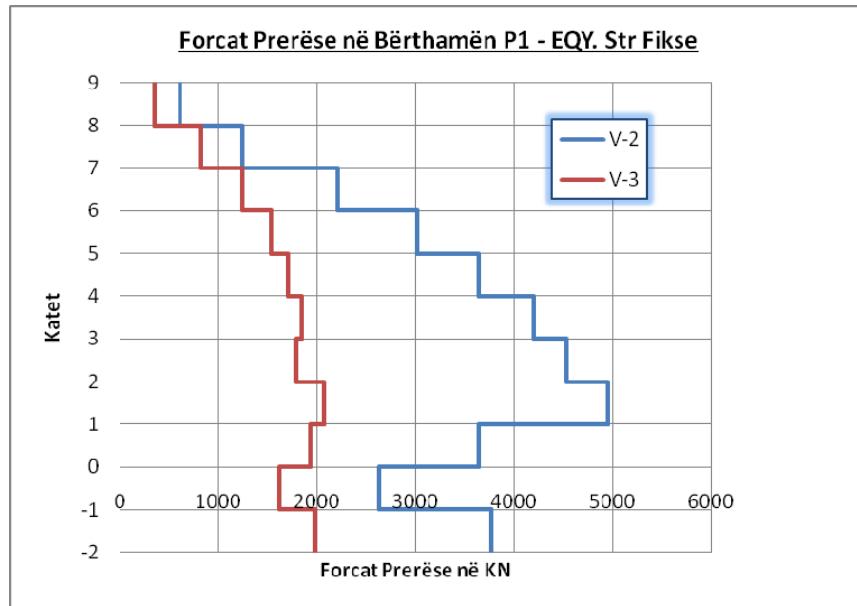


Figura 7.19. Forcat prerëse në kate për bërthamën P1 me bazë fiksë prej EQY.

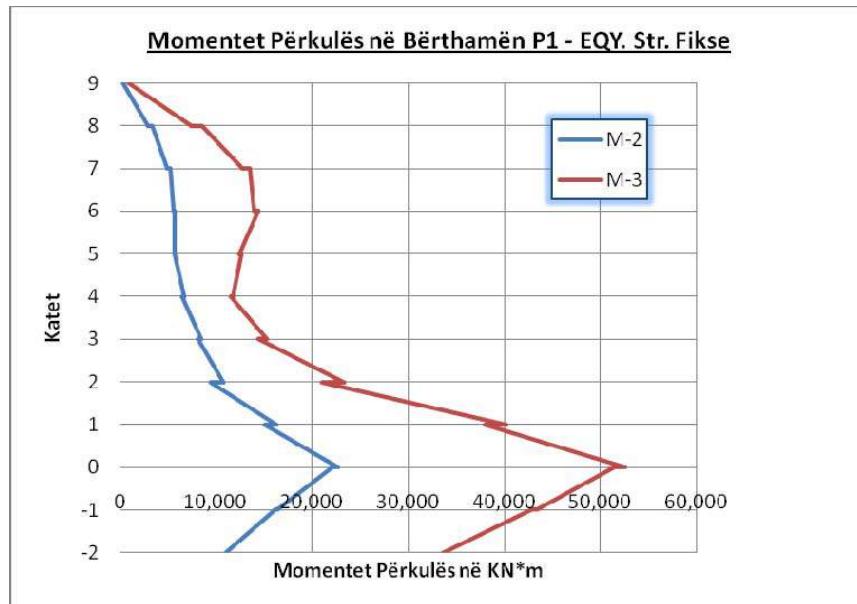


Figura 7.20. Momentet përkulës në kate për bërthamën P1 me bazë fiksë prej EQY.

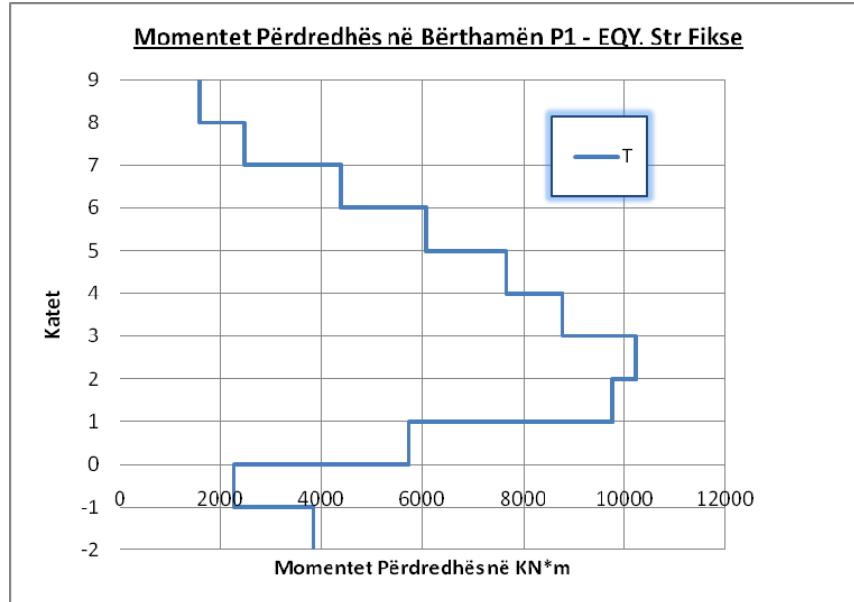


Figura 7.21. Momentet përbysës në kate për bërthamën P1 me bazë fikse prej EQY.

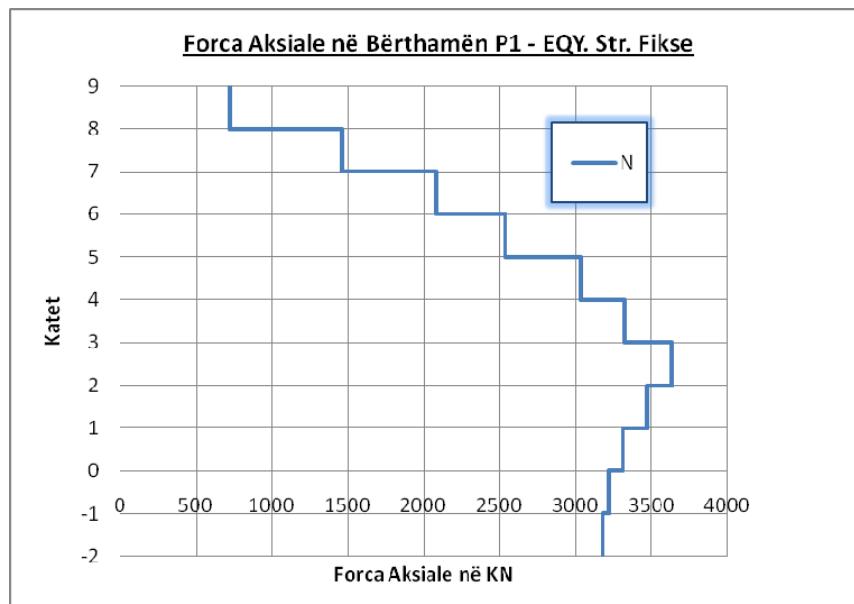


Figura 7.22. Forca aksiale në kate për bërthamën P1 me bazë fikse prej EQY.

Forcat e brendshme për bërthamën P2, për kombinimin e ngarkesave sizmike EQX & EQY (analizë spektrale), jepen respektivisht në tabelat Tab.7.9 & Tab.7.10 dhe grafikisht në figurat nga Fig. 7.23 deri në Fig.7.30.

Tabela 7.9. Forcat e brendshme në bërthamën P2 prej EQX. Bazë fikse.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
8	9	31.85	593.24	155.14	869.78	164.39	509.18
	8	31.85	593.24	155.14	869.78	800.73	2429.83
7	8	37.67	446.72	55.54	757.83	988.70	2966.65
	7	37.67	446.72	55.54	757.83	1052.89	4081.62
6	7	37.80	491.01	100.04	709.46	1173.23	4606.04
	6	37.80	491.01	100.04	709.46	970.80	4699.87
5	6	37.59	701.98	160.79	922.48	1051.68	5183.66
	5	37.59	701.98	160.79	922.48	747.45	4726.66
4	5	48.36	903.17	212.25	1218.24	793.64	5080.79
	4	48.36	903.17	212.25	1218.24	758.62	4718.30
3	4	71.24	1063.28	272.19	1550.08	751.34	4787.59
	3	71.24	1063.28	272.19	1550.08	1176.58	5648.48
2	3	92.81	1593.15	174.69	1953.38	1132.57	5307.87
	2	92.81	1593.15	174.69	1953.38	1566.17	8330.35
1	2	124.30	2356.11	189.90	2837.31	1591.46	7458.86
	1	124.30	2356.11	189.90	2837.31	2266.71	16579.60
0	1	164.33	2558.53	156.43	1790.56	2289.29	15630.52
	0	164.33	2558.53	156.43	1790.56	2759.80	26622.50
-1	0	175.89	2216.56	127.85	1355.35	2757.73	26030.07
	-1	175.89	2216.56	127.85	1355.35	2879.64	17906.51
-2	-1	173.05	2374.21	328.03	2340.54	2930.74	17685.85
	-2	173.05	2374.21	328.03	2340.54	3792.40	11158.43

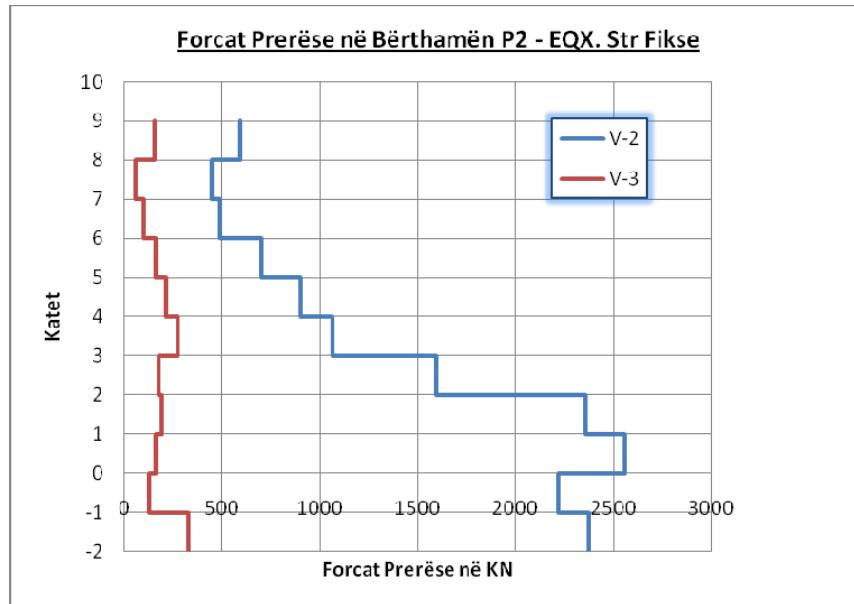


Figura 7.23. Forcat prerëse në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQX.

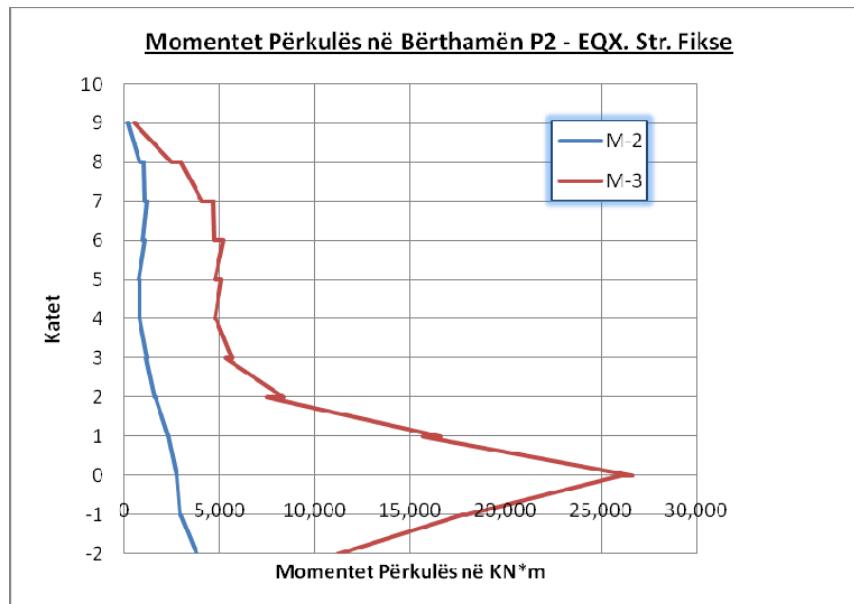


Figura 7.24. Momentet përkulës në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQX.

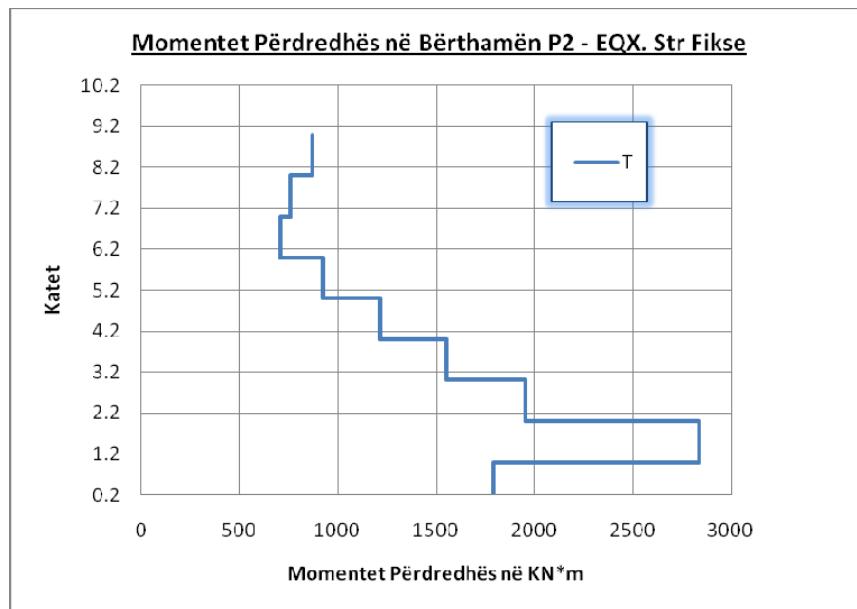


Figura 7.25. Momenti përdredhës në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQX.

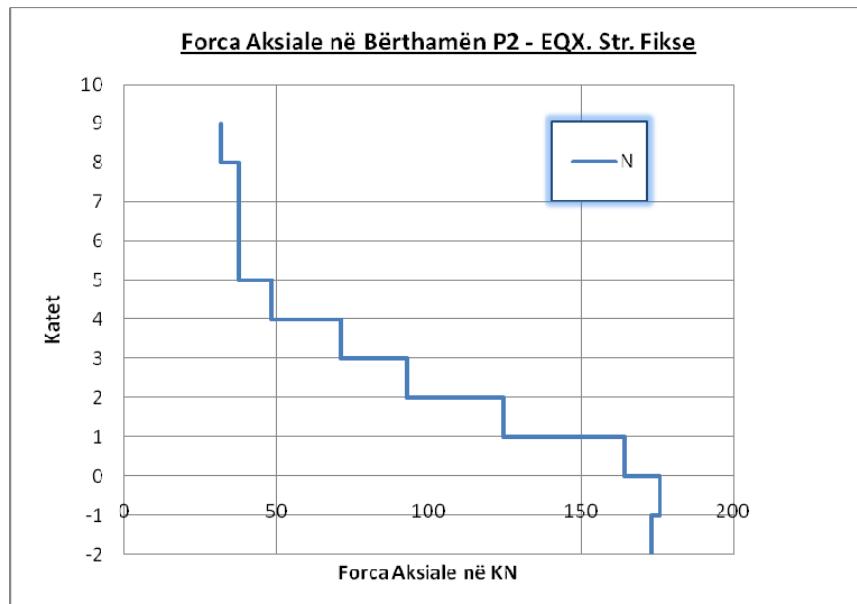


Figura 7.26. Forca aksiale në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQX.

Tabela 7.10. Forcat e brendshme në bërthamën P2 prej EQY. Bazë fikse.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
8	9	38.38	380.44	215.77	709.70	239.29	297.68
	8	38.38	380.44	215.77	709.70	1126.25	1466.45
7	8	52.13	327.11	66.57	685.99	1390.76	1734.83
	7	52.13	327.11	66.57	685.99	1523.06	2541.38
6	7	55.08	329.28	131.77	675.00	1691.32	2787.35
	6	55.08	329.28	131.77	675.00	1405.40	3052.02
5	6	50.31	426.15	216.07	763.79	1516.84	3261.90
	5	50.31	426.15	216.07	763.79	1059.62	3207.53
4	5	47.05	530.13	271.62	857.46	1132.68	3344.24
	4	47.05	530.13	271.62	857.46	964.67	3256.18
3	4	52.16	614.61	358.08	974.91	970.96	3261.83
	3	52.98	614.61	358.08	974.91	1406.89	3663.42
2	3	62.75	928.02	214.12	1174.14	1352.99	3484.09
	2	62.75	928.02	214.12	1174.14	1845.88	4948.31
1	2	75.20	1361.55	284.28	1704.07	1911.78	4484.12
	1	75.20	1361.55	284.28	1704.07	2949.27	9443.29
0	1	100.19	1487.37	252.43	1278.04	3092.63	8919.14
	0	100.19	1487.37	252.43	1278.04	4021.89	15030.57
-1	0	116.97	1275.15	169.84	838.82	4132.50	14696.44
	-1	116.97	1275.15	169.84	838.82	4580.63	10173.10
-2	-1	142.70	1381.83	555.94	1374.70	4734.79	10044.33
	-2	142.70	1381.83	555.94	1374.70	6275.63	6578.20

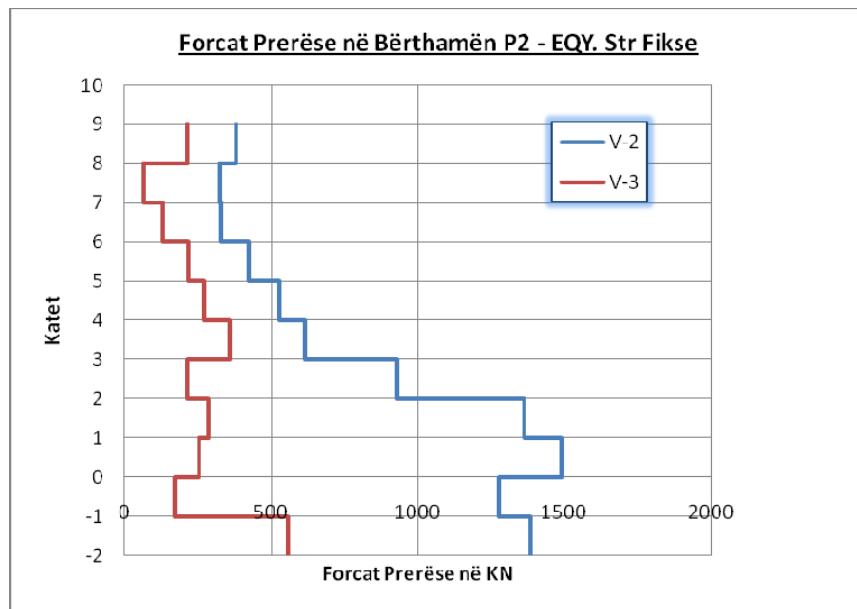


Figura 7.27. Forcat prerëse në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQY.

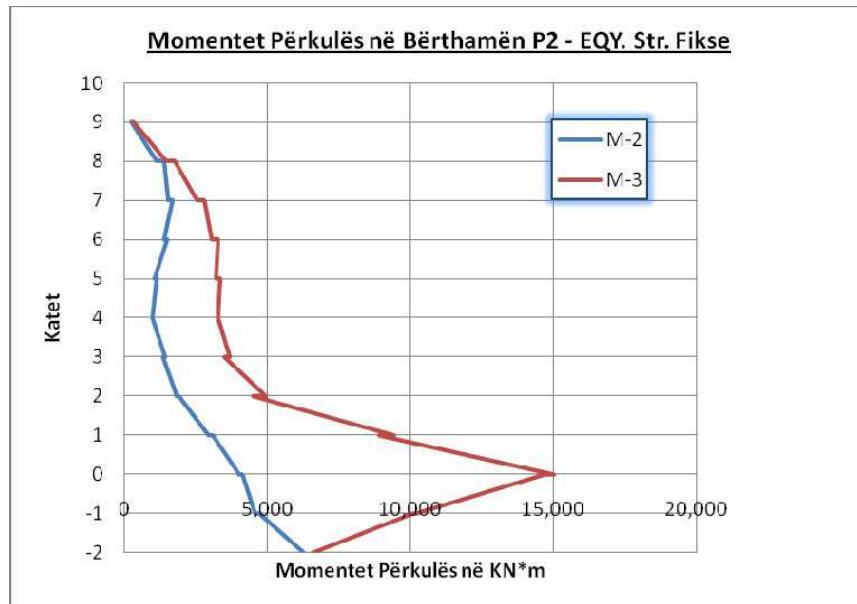


Figura 7.28. Momentet përkulës në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQY.

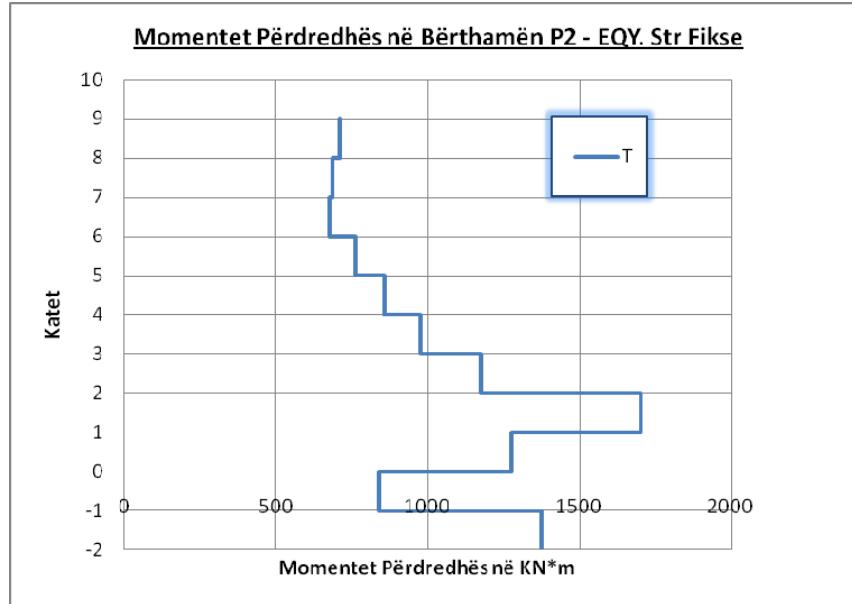


Figura 7.29. Momenti përdredhës në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQY.

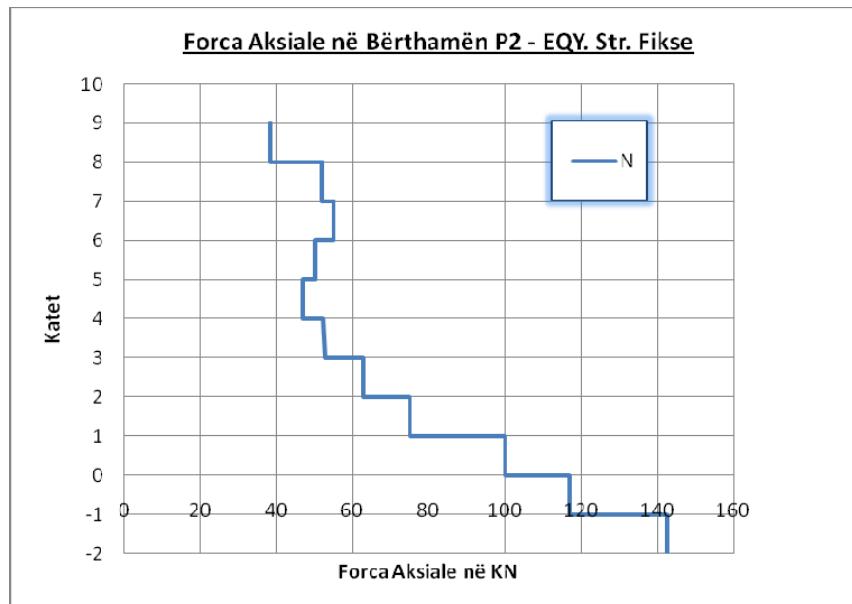


Figura 7.30. Forca aksiale në kate për bërthamën P2 me bazë fikse prej EQY.

Forcat e brendshme për bërthamën P3, për kombinimin e ngarkesave sizmike EQX & EQY (analizë spektrale), jepen respektivisht në tabelat Tab.7.11 & Tab.7.12 dhe grafikisht në figurat nga Fig. 7.31 deri në Fig.7.38.

Tabela 7.11. Forcat e brendshme në bërthamën P3 prej EQX. Bazë fikse.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
8	9	21.07	106.02	132.77	237.59	187.62	117.85
	8	21.07	106.02	132.77	237.59	398.87	449.99
7	8	38.76	127.11	60.82	215.30	501.43	640.94
	7	38.76	127.11	60.82	215.30	683.06	600.90
6	7	58.14	141.46	109.66	246.21	878.96	764.43
	6	58.14	141.46	109.66	246.21	757.90	695.85
5	6	83.91	151.25	225.78	364.29	962.79	822.57
	5	83.91	151.25	225.78	364.29	675.76	771.40
4	5	116.26	155.03	313.98	495.52	786.09	859.21
	4	116.26	155.03	313.98	495.52	875.07	775.38
3	4	153.71	188.23	425.51	565.02	725.15	832.72
	3	153.71	188.23	425.51	565.02	1655.67	766.86
2	3	193.90	203.71	272.51	386.30	1377.85	759.20
	2	193.90	203.71	272.51	386.30	2136.60	850.99
1	2	246.09	420.05	235.30	393.36	1728.50	740.19
	1	246.09	420.05	235.30	393.36	2596.51	1903.72
0	1	296.81	550.16	533.60	295.25	2237.47	1534.73
	0	296.81	550.16	533.60	295.25	4582.95	3837.44
-1	0	308.67	522.06	654.15	450.61	4438.81	3613.53
	-1	308.67	522.06	654.15	450.61	2054.68	1915.48
-2	-1	319.29	378.43	155.17	364.35	2012.22	1814.90
	-2	319.29	378.43	155.17	364.35	1937.96	2284.03

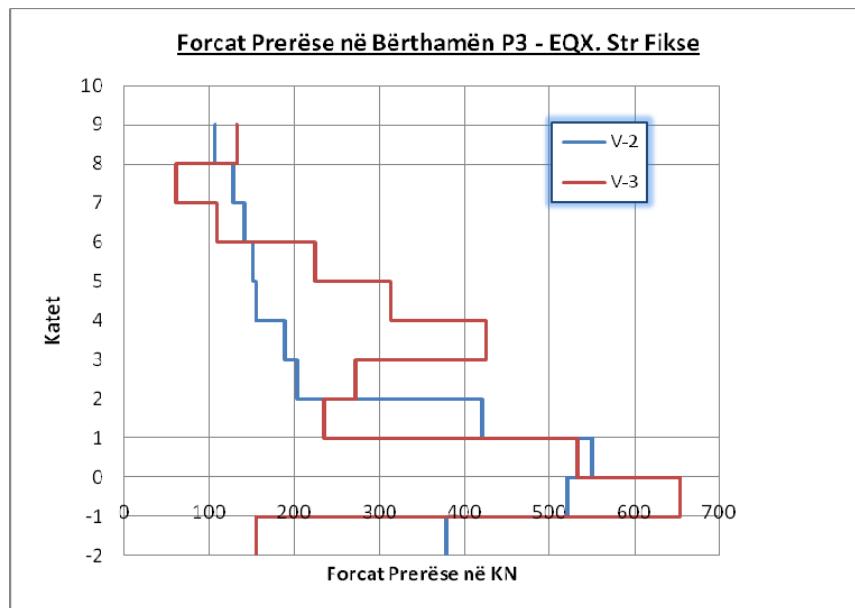


Figura 7.31. Forcat prerëse në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQX.

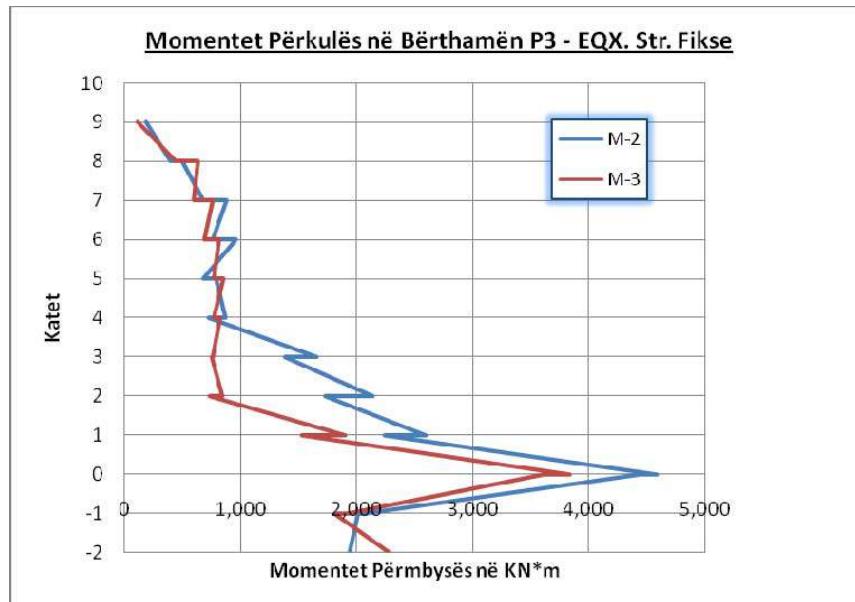


Figura 7.32. Momentet përkulës në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQX.

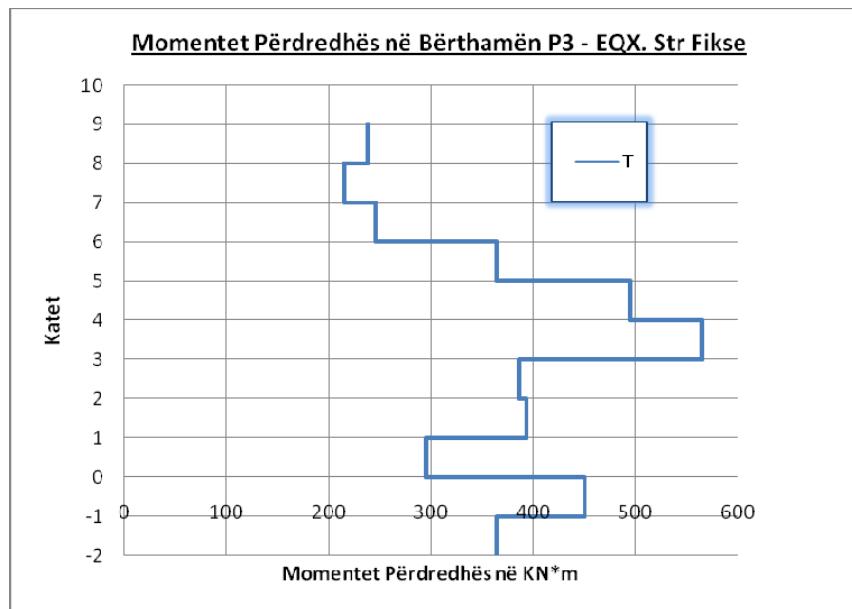


Figura 7.33. Momenti përdredhës në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQX.

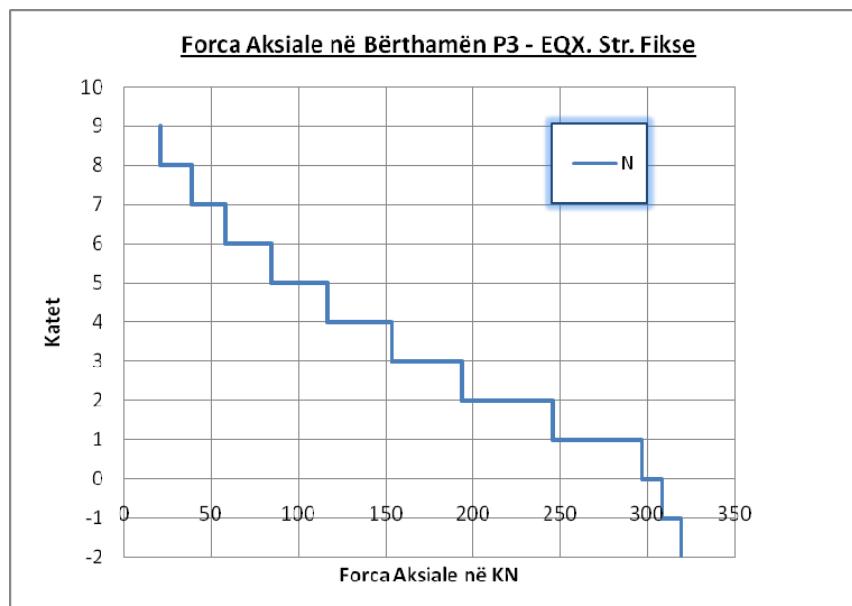


Figura 7.34. Forca aksiale në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQX.

Tabela 7.12. Forcat e brendshme në bërthamën P3 prej EQX. Bazë fikse.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
8	9	32.28	161.58	156.59	283.07	208.89	194.98
	8	32.28	161.58	156.59	283.07	473.69	732.25
7	8	53.65	144.88	49.70	221.67	580.78	1072.49
	7	53.65	144.88	49.70	221.67	696.77	818.01
6	7	72.10	200.63	141.56	368.18	890.63	1176.86
	6	72.10	200.63	141.56	368.18	747.23	773.89
5	6	92.48	235.27	243.42	543.47	927.25	1120.24
	5	92.48	235.27	243.42	543.47	770.94	726.38
4	5	114.89	242.33	332.37	702.38	815.44	1007.77
	4	114.89	242.33	332.37	702.38	1076.33	733.77
3	4	139.67	287.28	425.82	786.28	882.81	909.44
	3	139.67	287.28	425.82	786.28	1831.77	836.86
2	3	169.00	315.94	286.68	581.47	1536.68	802.06
	2	169.00	315.94	286.68	581.47	2308.69	1119.55
1	2	205.20	665.53	218.34	597.77	1874.38	820.27
	1	205.20	665.53	218.34	597.77	2595.19	3036.71
0	1	239.72	900.36	454.69	455.82	2224.61	2358.36
	0	239.72	900.36	454.69	455.82	4161.50	6284.03
-1	0	266.73	783.81	649.77	617.02	4027.84	5886.98
	-1	266.73	783.81	649.77	617.02	1664.10	3251.70
-2	-1	289.59	507.28	243.95	447.06	1628.80	3073.03
	-2	289.59	507.28	243.95	447.06	1246.36	3813.64

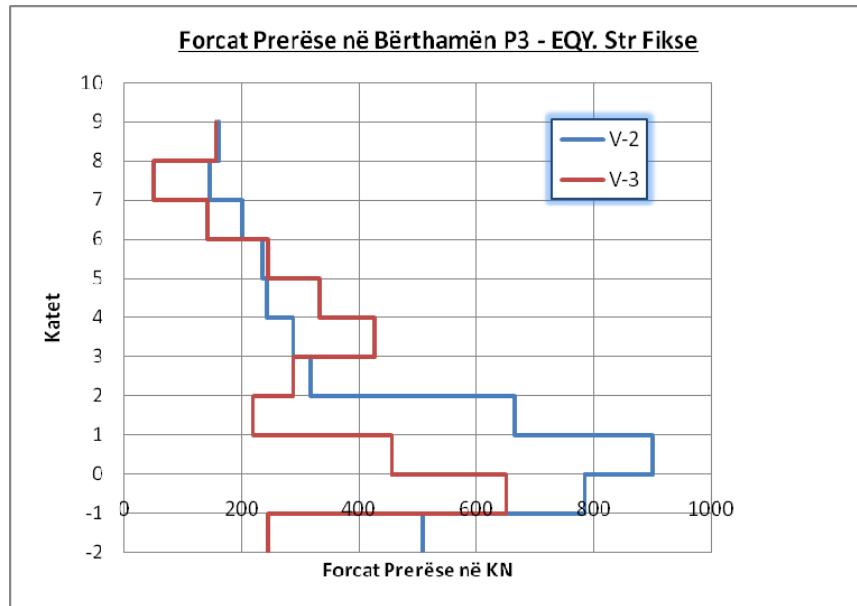


Figura 7.35. Forcat prerëse në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQY.

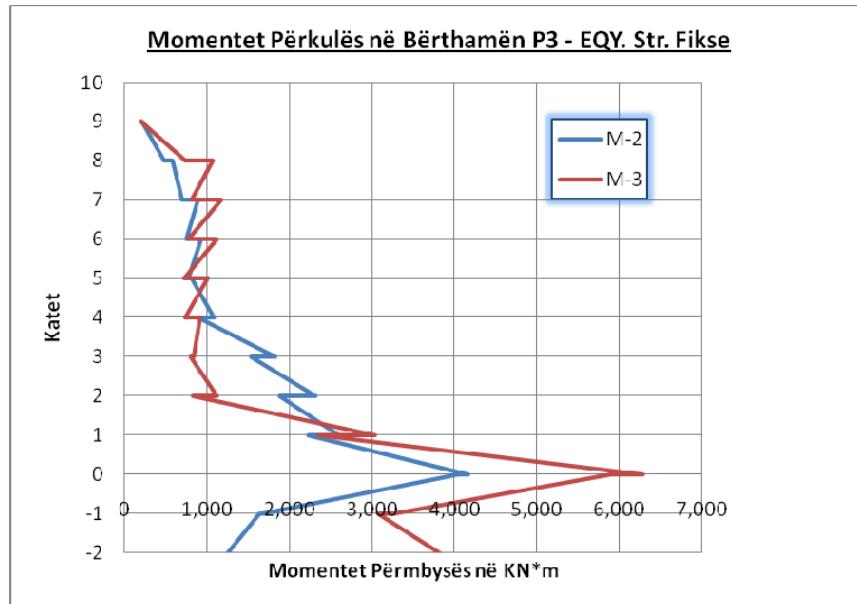


Figura 7.36. Momentet përkulës në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQY.

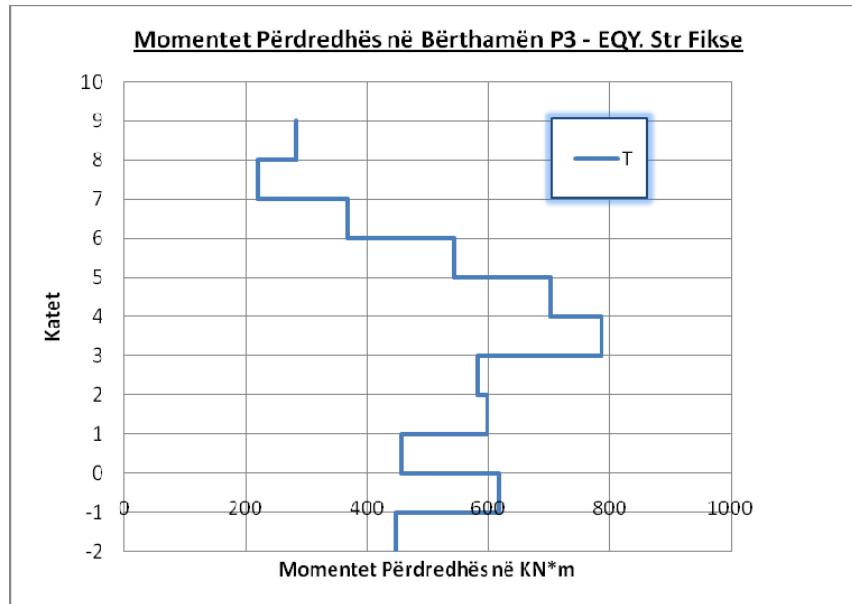


Figura 7.37. Momenti përdredhës në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQY.

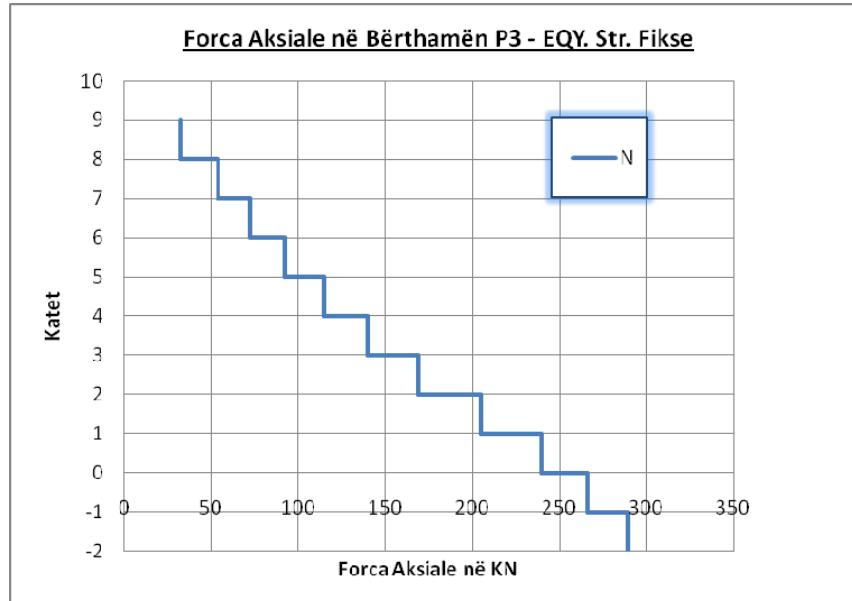


Figura 7.38. Forca aksiale në kate për bërthamën P3 me bazë fikse prej EQY.

Forcat e brendshme për bërthamën P3, për kombinimin e ngarkesave sizmike EQX & EQY (analizë spektrale), jepen respektivisht në tabelat Tab.7.13 & Tab.7.14 dhe grafikisht në figurat nga Fig. 7.39 deri në Fig.7.36.

Tabela 7.13. Forcat e brendshme në bërthamën P12 prej EQX. Bazë fikse.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
7	8	119.50	182.24	44.53	38.50	67.97	60.97
	7	119.50	182.24	44.53	38.50	52.35	762.34
6	7	167.86	191.47	46.05	41.73	76.19	1025.74
	6	167.86	191.47	46.05	41.73	62.55	511.90
5	6	350.81	362.01	50.11	49.32	81.52	1141.05
	5	350.81	362.01	50.11	49.32	71.39	281.88
4	5	662.26	449.75	52.32	53.94	84.84	961.17
	4	662.26	449.75	52.32	53.94	76.21	584.50
3	4	1045.82	535.56	55.78	53.58	86.87	664.06
	3	1045.82	535.56	55.78	53.58	86.10	1146.97
2	3	1426.68	537.53	50.22	46.69	72.73	294.90
	2	1426.68	537.53	50.22	46.69	90.34	1771.80
1	2	2278.83	552.24	40.57	56.22	109.49	636.83
	1	2278.83	552.24	40.57	56.22	76.14	1964.45
0	1	2991.87	624.52	102.89	67.02	153.43	322.04
	0	2991.87	624.52	102.89	67.02	315.06	2827.76
-1	0	1771.61	234.66	54.51	4.00	149.71	933.97
	-1	1771.61	234.66	54.51	4.00	52.69	328.28
-2	-1	679.99	322.04	47.82	4.91	57.55	426.88
	-2	679.99	322.04	47.82	4.91	78.20	484.46

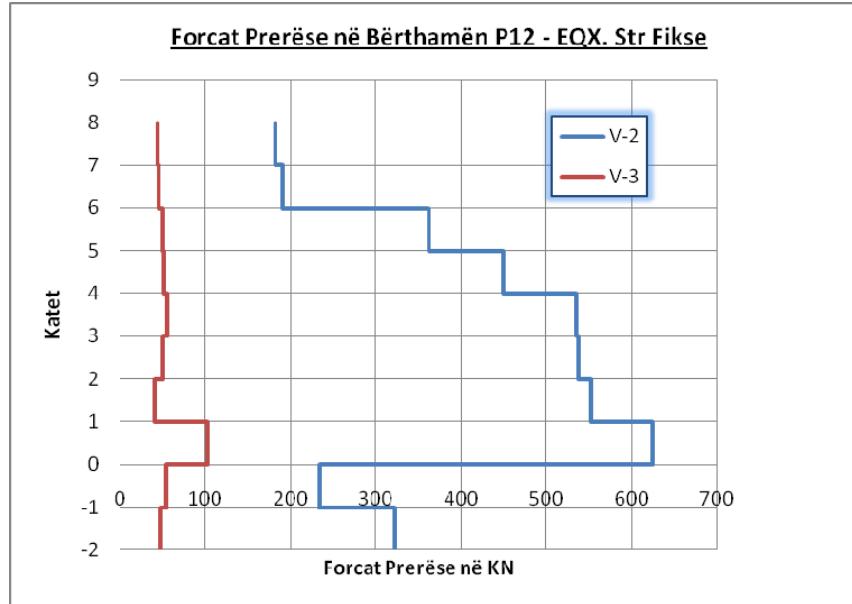


Figura 7.39. Forcat prerëse në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQX.

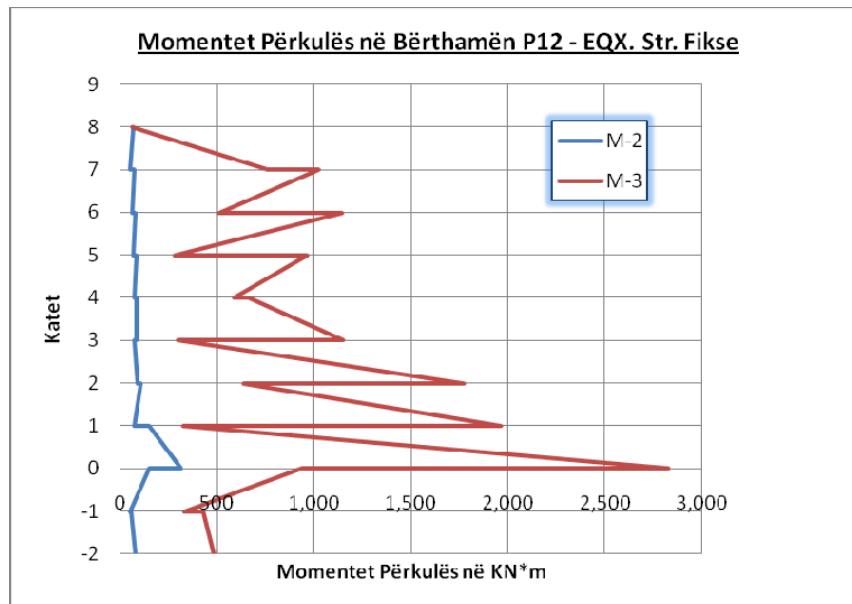


Figura 7.40. Momentet përkulës në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQX.

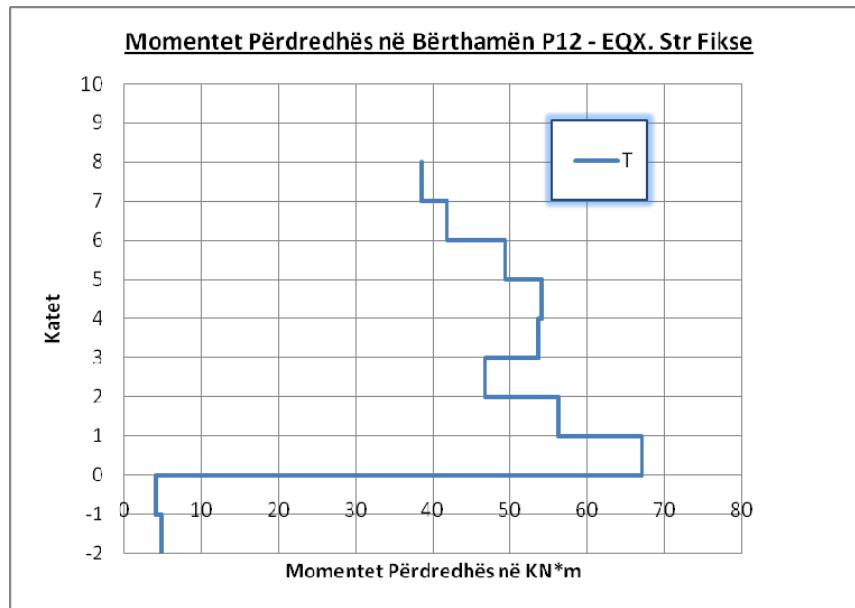


Figura 7.41. Momenti përdredhës në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQX.

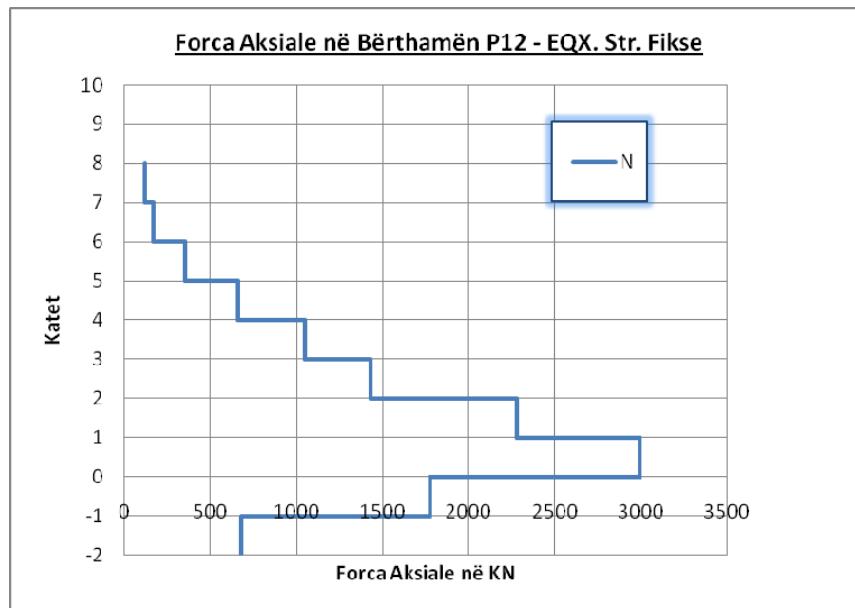


Figura 7.42. Forca aksiale në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQX.

Tabela 7.14. Forcat e brendshme në bërthamën P12 prej EQY. Bazë fikse.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
7	8	125.20	187.39	28.76	28.55	44.62	62.92
	7	125.20	187.39	28.76	28.55	33.77	785.35
6	7	186.79	196.15	30.05	31.16	50.16	1042.32
	6	186.79	196.15	30.05	31.16	40.83	516.17
5	6	402.91	369.15	32.87	37.24	53.70	1144.94
	5	402.91	369.15	32.87	37.24	46.98	283.09
4	5	745.18	452.82	34.20	40.65	55.51	941.72
	4	745.18	452.82	34.20	40.65	50.16	608.22
3	4	1155.21	531.32	36.00	39.96	56.18	627.43
	3	1155.21	531.32	36.00	39.96	55.95	1170.93
2	3	1556.64	527.40	32.40	34.47	46.42	305.12
	2	1556.64	527.40	32.40	34.47	58.82	1790.03
1	2	2408.25	517.83	25.88	43.07	67.98	545.91
	1	2408.25	517.83	25.88	43.07	51.37	1923.63
0	1	3087.05	525.08	62.69	47.01	95.30	373.19
	0	3087.05	525.08	62.69	47.01	190.97	2506.80
-1	0	1882.92	270.61	32.53	6.59	88.87	912.67
	-1	1882.92	270.61	32.53	6.59	34.31	425.35
-2	-1	821.10	412.25	48.65	8.40	47.24	539.78
	-2	821.10	412.25	48.65	8.40	90.93	633.84

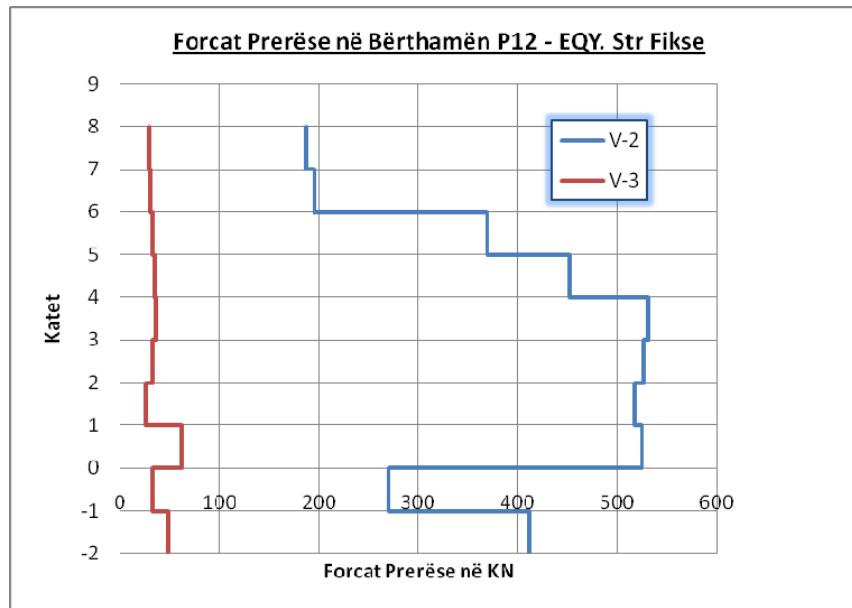


Figura 7.43. Forcat prerëse në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQY.

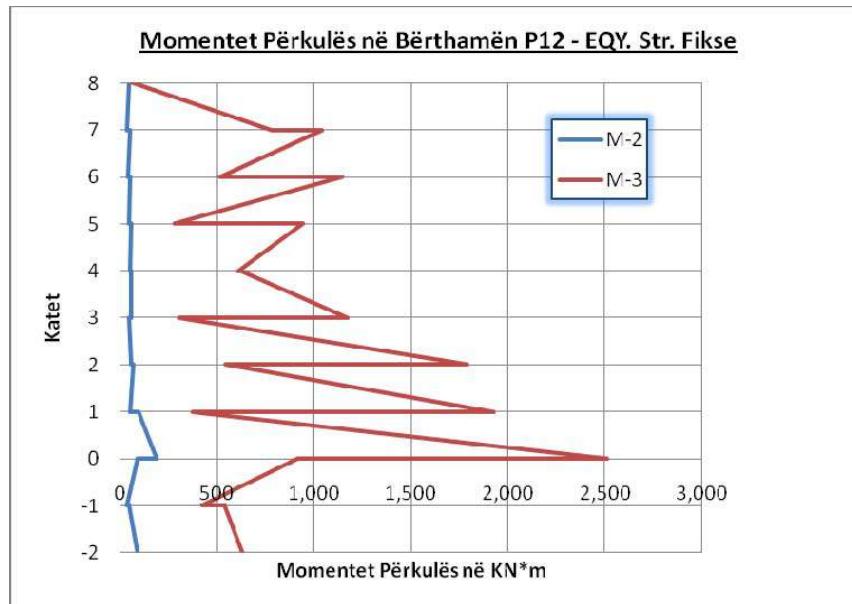


Figura 7.44. Momentet përkulës në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQY.

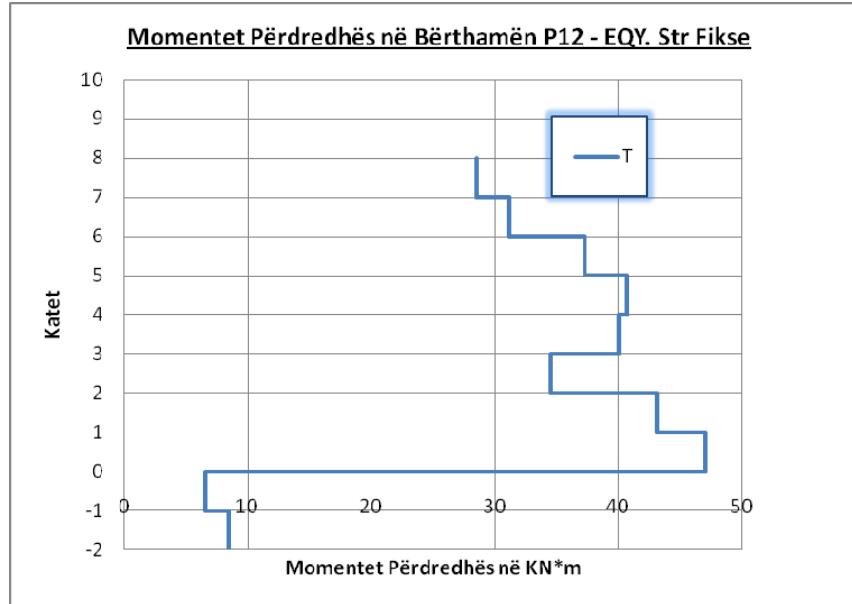


Figura 7.45. Momenti përdredhës në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQY.

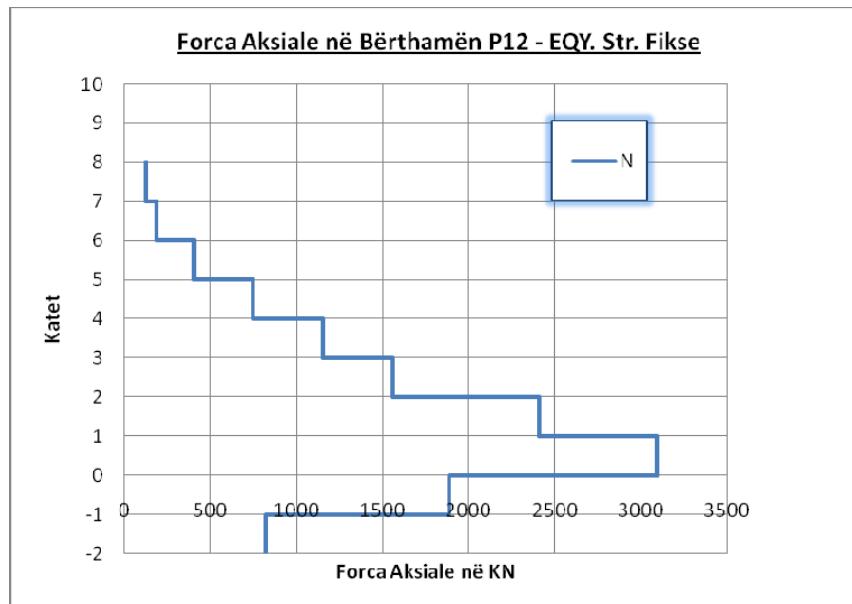


Figura 7.46. Forca aksiale në kate për bërthamën P12 me bazë fikse prej EQX.

2. Projektimi i sistemit të izolimit

2.1 Përzgjedha e sistemit të izolimit

Në rastin në fjalë, objekti fillimisht u projektua si strukturë me bazë fikse. Kur prej investorëve u morë vendimi për realizimin e një strukture të izoluar, kati “-2” ishte realizuar në vepër. Kështu që vendimi se çfarë sistemi izolimi do të përdorej, kishte shumë kufizime. U pa si më i përshtatshëm sistemi me pendula me fërkim, pasi nuk kishte nevojë për hapësira të mëdha montimi, mirëmbahej më lehtë dhe ishte më ekonomik. Ky do të ishte rasti i parë në Shqipëri i një strukture shumëkatëshe me izolim në bazë dhe rëndësi kishte dhe sugjerimi i Partnerit FIP Industriale që përveç prodhimit dhe testimit të izolatorëve, ka në monitorim të vazhdueshëm këtë sistem izolimi.

Parametrat kryesore në përzgjedhjen e izolatorëve janë:

- Forca vertikale statike
- Zhvendosja maksimale horizontale
- Forca vertikale maksimale dinamike
- Numri i sipërfaqeve të kurbëzuara
- Rreza e kurbaturës

Kjo e fundit duhet të jetë e tillë që të na japë perioda të lëkundjeve të lira brenda kufizimeve të kodit që përdoret (në rastin tonë EC-8).

Pozicioni i sistemit të izolimit ndodhet në kuotën +0.00, në kufi të bodrumit me katin përdhe. Mbi sistemin e izolimit, dyshemeja e katit përdhe shërben si themel për mbistrukturën që duhet të jetë mjaftueshmërisht e shtangët dhe të llogaritet në fazën elastike. Sistemi i izolimit mbështetet mbi rrjetin e elementeve vertikalë që janë të lidhur ndërmjet tyre. Ky sistem mbështetës llogaritet në fazë elastike dhe duhet të marrë parasysh dhe nevojën e ndërrimit të izolatorit në rast avarie.

2.2 Ngarkesat dhe veprimet

Ngarkesat statike në një ndërtesë me izolim në bazë janë të njëjta me ato të një ndërtese tradicionale. Ndryshim bëjnë vetëm ndërfaqet e sistemit të izolimit. Dyshemeja e katit përdhe ka peshë vetjake të lartë si pasojë e shtangësisë të kërkuar.

Forcat sizmike llogariten nëpërmjet spektrit elastik të nxitimeve dhe jo atij të projektimit. Mbistruktura duhet të punojë në fazë elastike, pra ajo nuk mund të përthithë energji si pasojë e deformimeve plastike. Faktori i sjelljes “ q ” merret i barabartë me njësi. Spektri elastik i nxitimeve jepet në Fig. 7.47

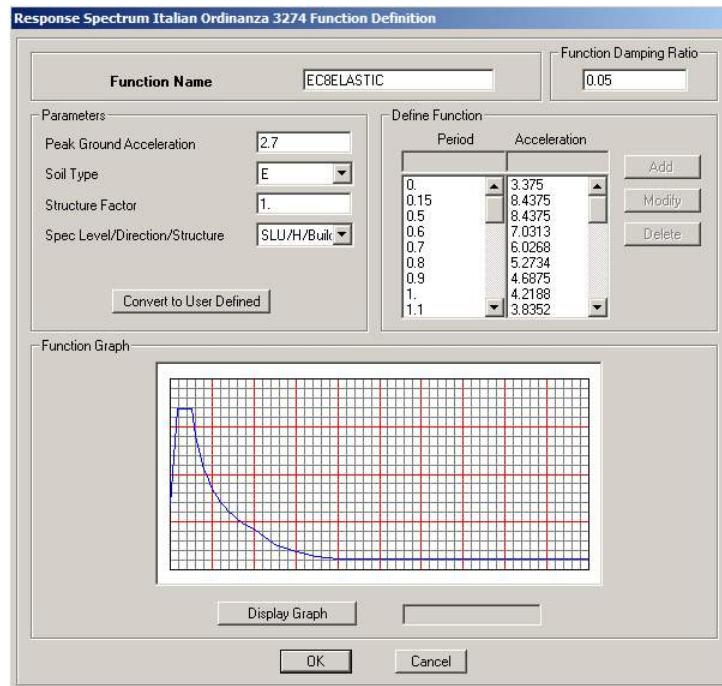


Figura 7.47. Spektri elastik i nxitimeve

2.3 Modeli dhe analizat kompjuterike

Nënstruktura, që në këtë rast janë dy katet bodrum, mund të konsiderohet si bazament fiks, pasi ka shtangësi shumë të lartë. Modelimi i saj, si pjesë e pandarë e gjithë ndërtesës, nuk është i nevojshëm, pra konsiderohet truall për sistemin e izolimit. Vetë nënstruktura do të llogaritet në fazën elastike me forcat që vijnë nga sistemi i izolimit. Modelimi i nënstrukturës është bërë veçmas si në Fig7.48.

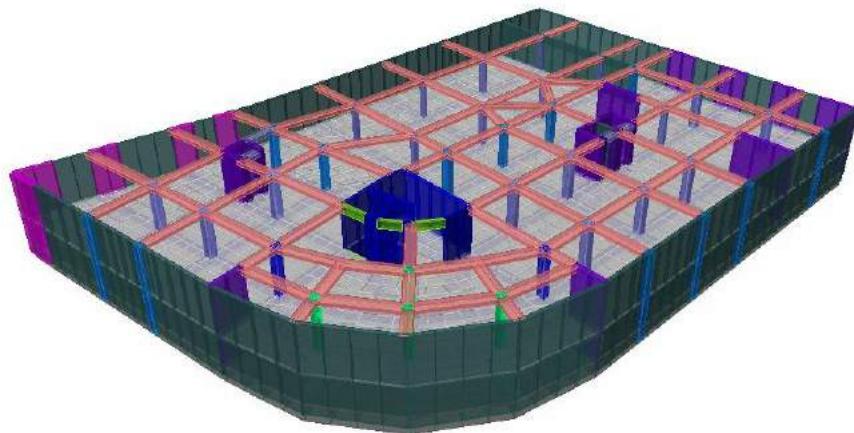


Figura 7.48. Modelimi i nënstrukturës me MEF.

Modelimi i sistemit të izolimit dhe mbistrukturës do të bëhet në një model të vetëm. Pjesa e mbistrukturës do të modelohet me elementët e fundëm si në rastin e strukturës tradicionale me bazë fikse. Në figurën Fig.7.49 jepet modeli 3-dimisional me elementë të fundëm.

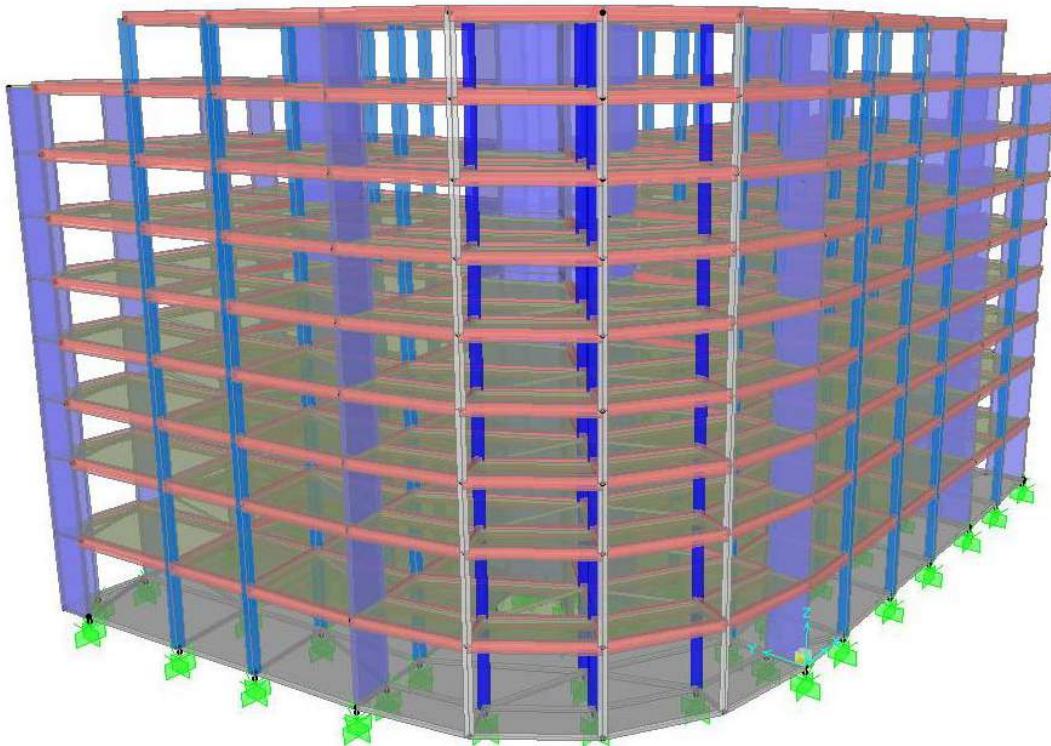


Figura 7.49. Modelimi i strukturës të izoluar me MEF.

Izolatorët do të modelohen me elementë lidhës jolinearë, me dy nyje. Parametrat e izolatorëve të përdorur merren nga provat laboratorike. Parametrat pranohen si të saktë kur janë testuar jo më pak se 20% e izolatorëve të zgjedhur në mënyrë rastësore. Në Fig.7.50 janë dhënë shkallët e lirisë aktive të izolatorit të përdorur.

Elementi lidhës jolinear në rastin e pëgjithshëm ka 6 sh.k.l. Në rastin tonë vetëm tre prej tyre janë efektivë (tre sh.k.l translative). Sipas drejtimit vertikal sjellja e izolatorit është elastike, por për arsyesh analizash do ta konsiderojmë jolineare.

Dy shkallët e tjera u₂ dhe u₃ janë realisht jolineare. Pendulat e përdorur janë me dy kurbëzime dhe del e nevojshme marrja e dy koeficientëve të fërkimit, për shpejtësi të lartë dhe atë të ulët. Parametrat sipas këtyre sh.k.l jepen në figurën Fig.7.51

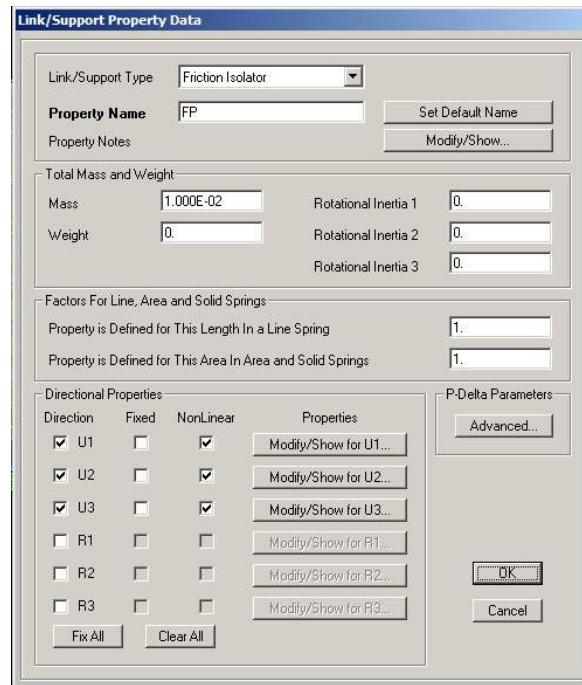


Figura 7.50. Modelimi i izolatorit pendul me fërkim me element lidhës jolinear.

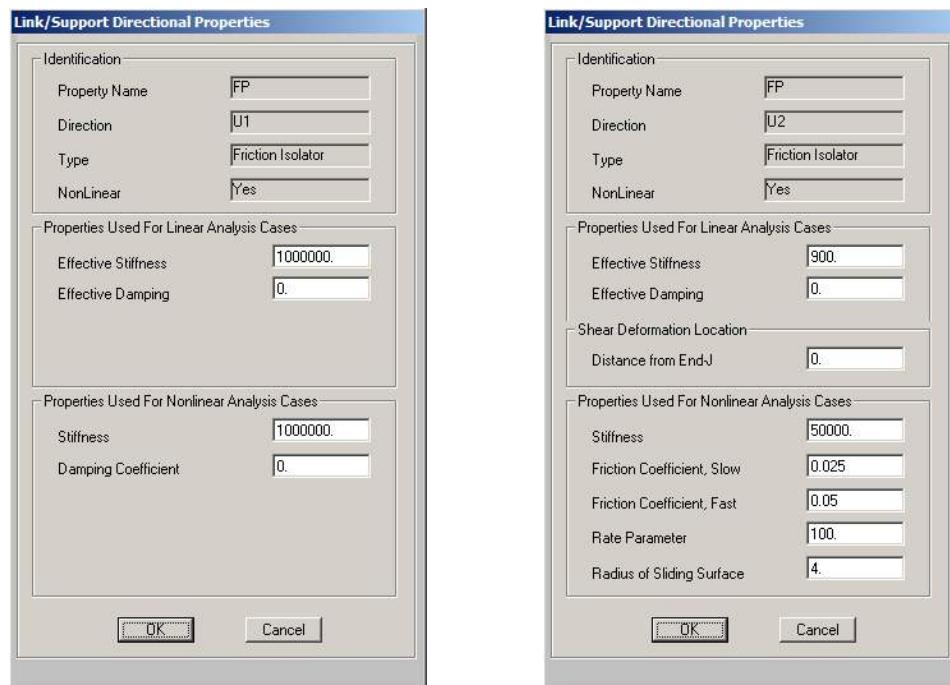


Figura 7.51. Parametrat sipas sh.k.l aktive të izolatorit pendul me fërkim.

Analizat kompjuterike që do të përdorim janë si më poshtë:

- Analiza statike jolineare për ngarkesat vertikale
- Analiza modale me vektorët e Ritz
- Analiza jolineare në fushën kohore modale – Fast nonlinear analysis (FNA)

Për analizat FNA, si sinjal hyrës duhet të përdorim minimumi tre akselerograma të normalizuar me $PGA=2.7\text{m/s}^2$. Akselerogramat duhet të përfaqësojnë tërmetet e mundshëm për territorin në fjalë.

Në figurat Fig. 7.52-53-54 jepen tre akselerogramat përfaqësuese.

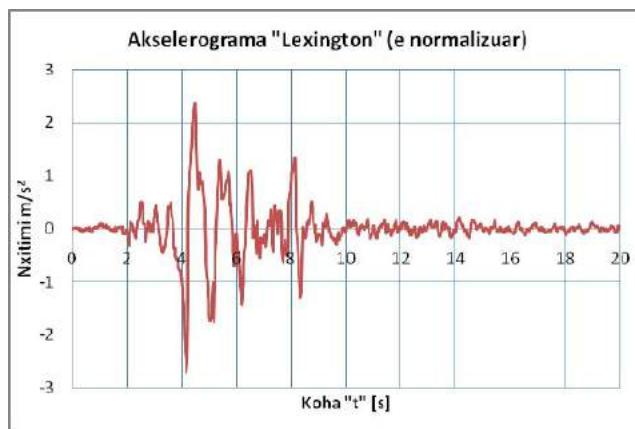


Figura 7.52. Akselerogram me frekuencë të ulët.

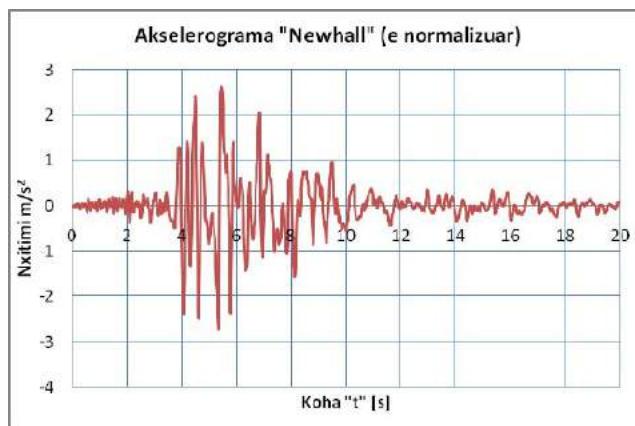


Figura 7.53. Akselerogram me periodë të ulët.

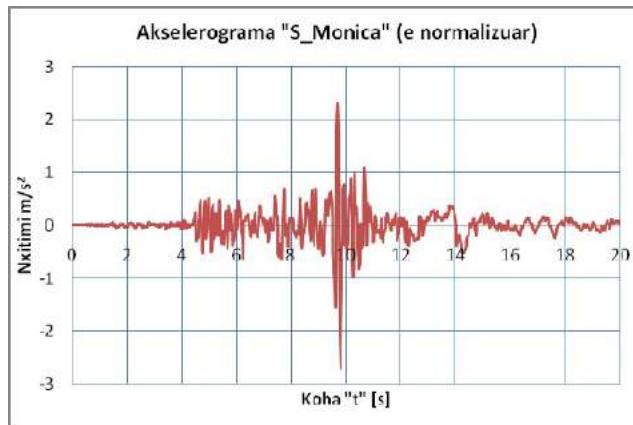


Figura 7.54. Akselerogram me një goditje.

2.4 Reagimi sizmik i sistemit të izolimit

Si reagim sizmik do të analizojmë parametrat e mëposhtëm:

- Modët e strukturës të izoluar
- Zhvendosjet e sistemit të izolimit
- Forcat maksimale aksiale në izolatorë
- Kurbat histeretike në izolatorë
- Bilancin energjistik të strukturës

Në tab.7. 15 jepen katër modët e para të lëkundjeve të lira. Në figurat Fig.7.55-56-57-58 jepen paraqitjet grafike të tyre.

Tabela 7.15. Periodat e katër tonëve të parë për strukturën e izoluar.

Toni	Moda - 1	Moda - 2	Moda - 4	Moda - 5
Perioda (s)	2.78	2.75	0.46	0.40
Lloji	Trans.	Trans.	Trans.	Trans.

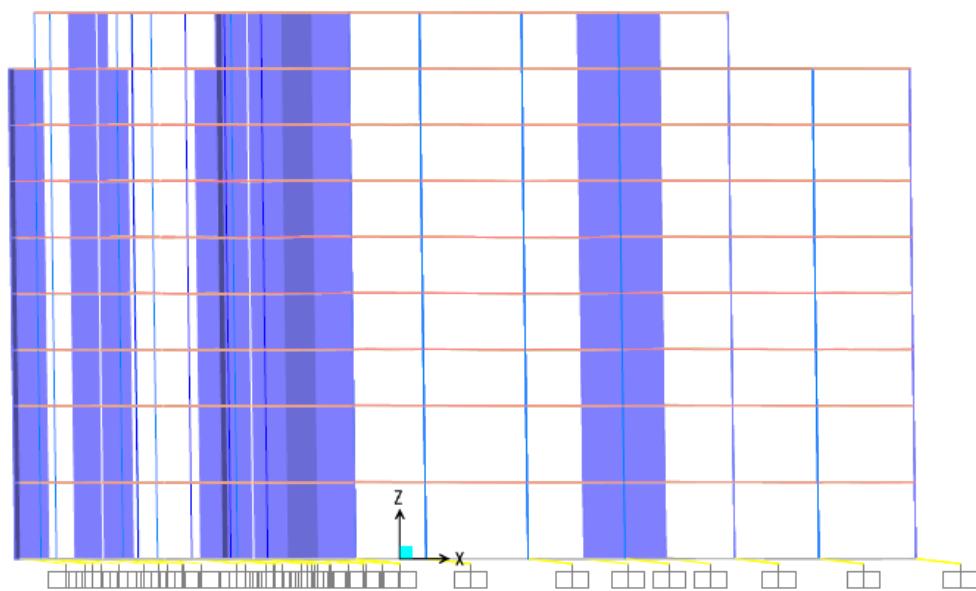


Figura 7.55. Modi i parë i lëkundjeve i strukturës së izoluar. Modeli jolinear.

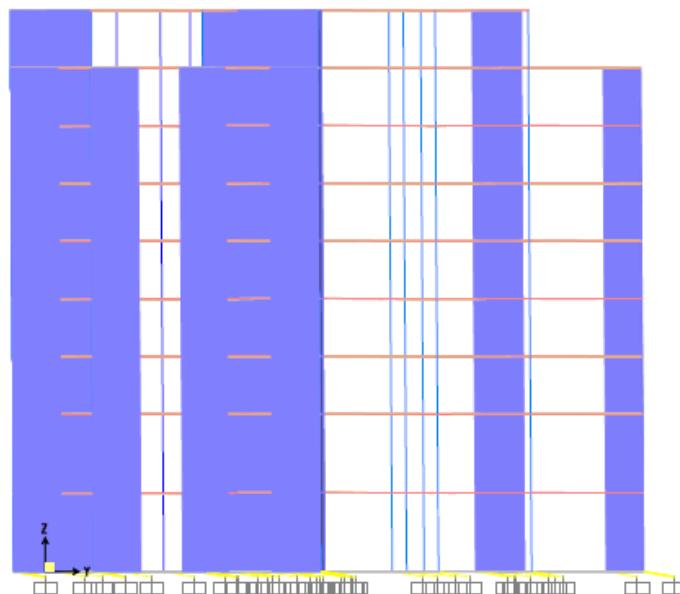


Figura 7.56. Modi i dytë i lëkundjeve i strukturës së izoluar. Modeli jolinear.

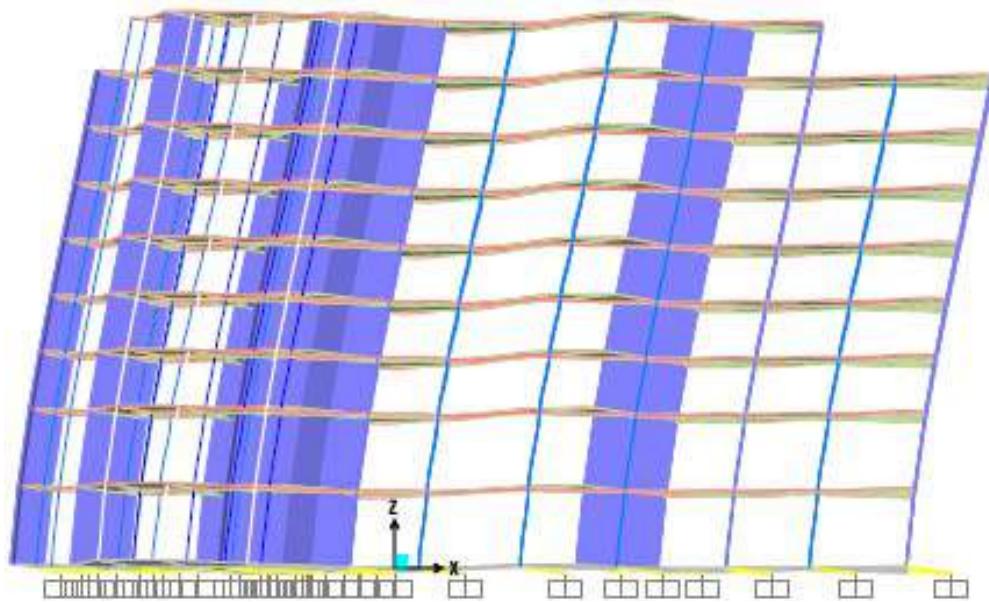


Figura 7.57. Modi i tretë i lëkundjeve i strukturës së izoluar. Modeli jolinear.

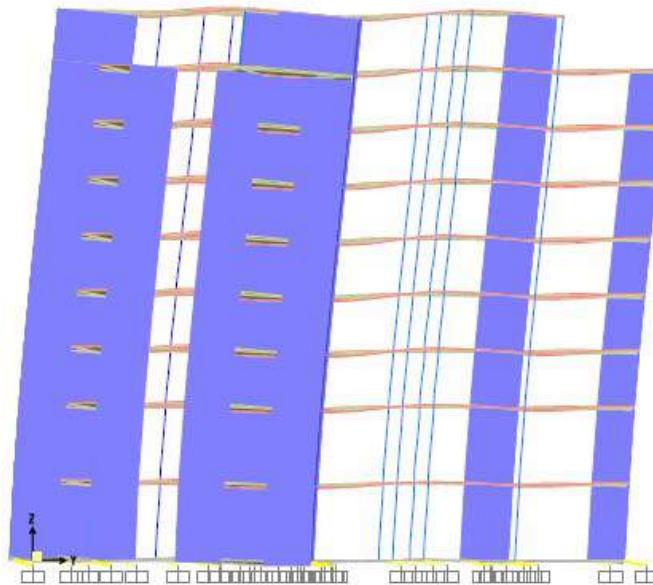


Figura 7.58. Modi i katërt i lëkundjeve i strukturës së izoluar. Modeli jolinear.

Në figurat Fig. 7.59-7.60-7.61 jepen zhvendosjet në kohë sipas drejtimit gjatësor shkaktuar prej tërmeteve në studim.

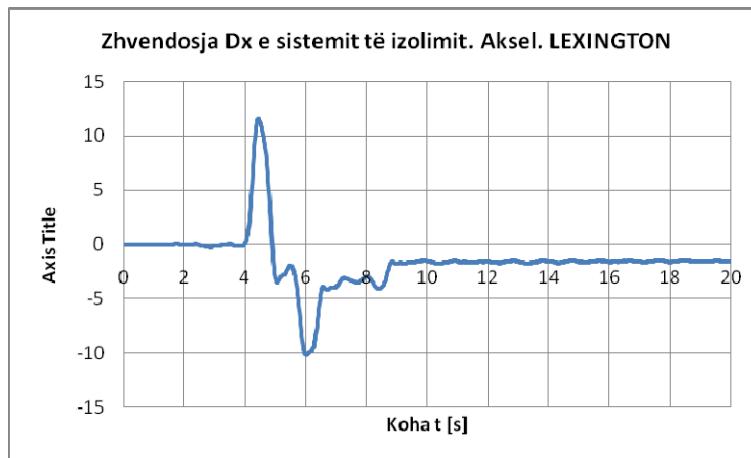


Figura 7.59. Zhvendosja në kohë Dx prej akselerogramës Lexington.

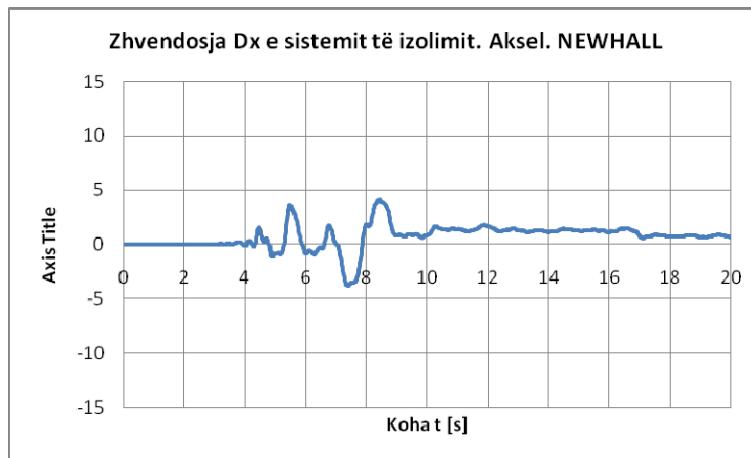


Figura 7.60. Zhvendosja në kohë Dx prej akselerogramës Newhall.

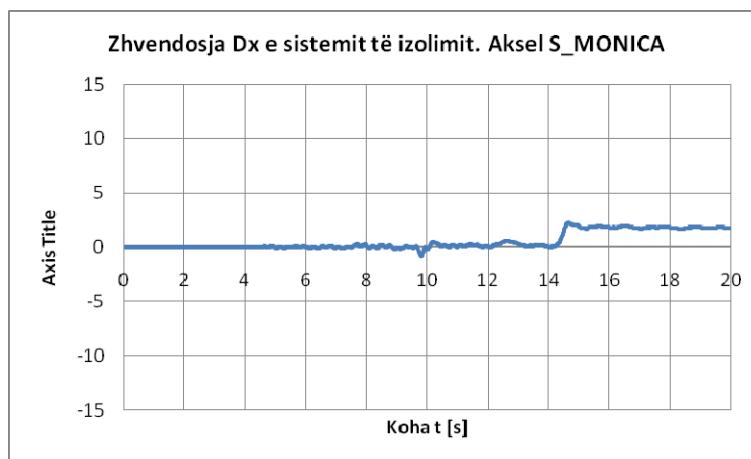


Figura 7.61. Zhvendosja në kohë Dx prej akselerogramës S_Monica.

Në figurën Fig.7.62 janë paraqitur ecuritë e forcave aksiale në kohë për tre izolatorë të ndryshëm. Izolatori FP-6 ndodhet nën akset A3 dhe mbështet një kolonë perimetrale. Izolatori FP-7 ndodhet nën akset B3 dhe mbështet një kolonë qendrore. Izolatori FP-10 ndodhet nën akset A5 dhe mbështet një mur tip diafragmë në ekstremitetin perimetral të tij. Siç duket dhe nga grafikët, izolatorët perimetralë kanë luhatje të forcës aksiale. Kjo luhatje është më e ndjeshme nën muret b/a dhe varet nga shtangësia e murit kundrejt pllakës së mbistrukturës.

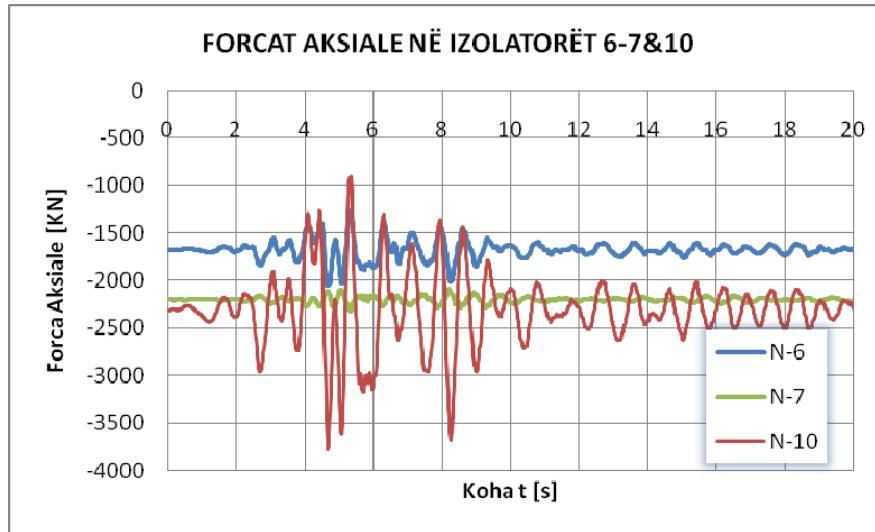


Figura 7.62. Forcat aksiale në izolatorët 6; 7 dhe 10 prej Lexington sipas u2.

Në figurat Fig. 7.63-64-65 jepen kurbat histeretike të izolatorëve pendul me fërkim FP-6, FP-7 dhe FP-10. Duket që qëndrueshmëria e tyre varet drejtpërdrejt prej oshilacioneve të forcës aksiale dinamike variabël.

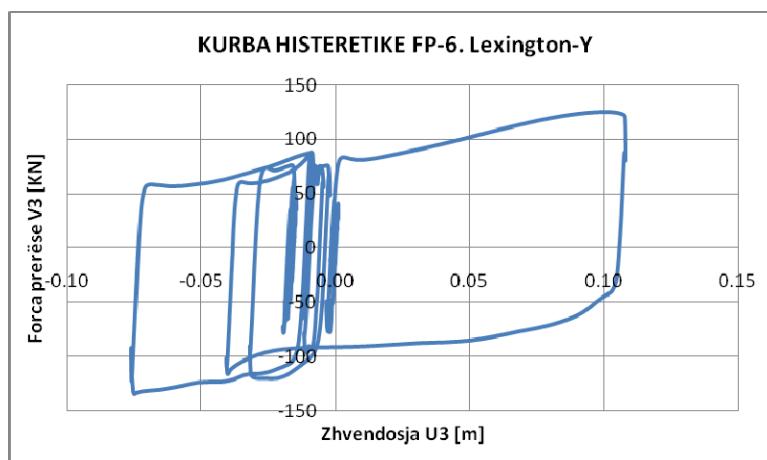


Figura 7.63. Kurba histeretike në izolatorin FP-6.

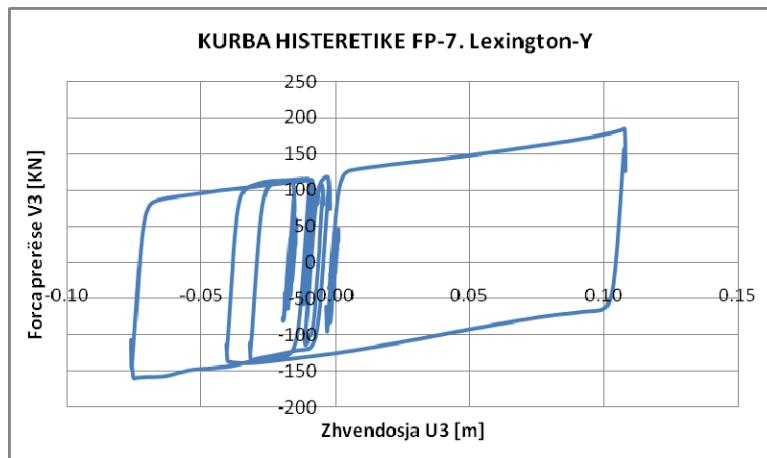


Figura 7.64. Kurba histeretike në izolatorin FP-7.

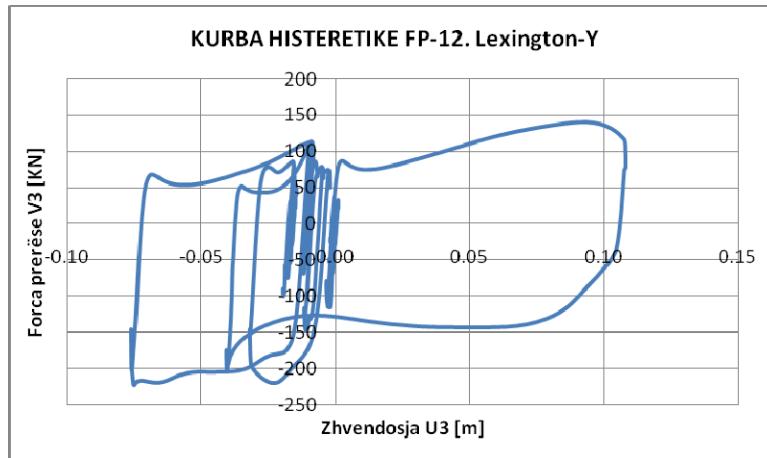


Figura 7.65. Kurba histeretike në izolatorin FP-10.

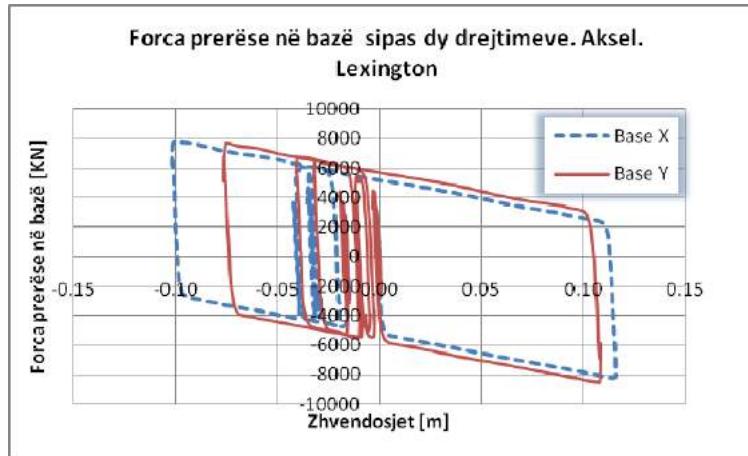


Figura 7.66. Kurba histeretike e forcave prerëse në bazë sipas dy drejtimeve.

Në figurën Fig.7.66 jepen kurbat histeretike të forcave prerëse në bazë prej veprimit të akselerogramës Lexington të normalizuar që vepron sipas dy drejtimeve kryesore. Këto kurba, në tërësinë e tyre, janë të qëndrueshme.

Në figurat Fig.7.67-68-69 jepen bilancet energjitike përgjatë tre tërmeteve të zgjedhur. Nga grafikët duket se tërmeti Lexington që ka frekuencë të ulta, indukton më shumë energji në strukturë. Për dy tërmetet e parë, shuarja histeretike është në rendin e 83%. Ndërsa në rastin e tretë, ku dhe energjia hyrëse është e vogël, shuarja histeretike arrin në 70%.

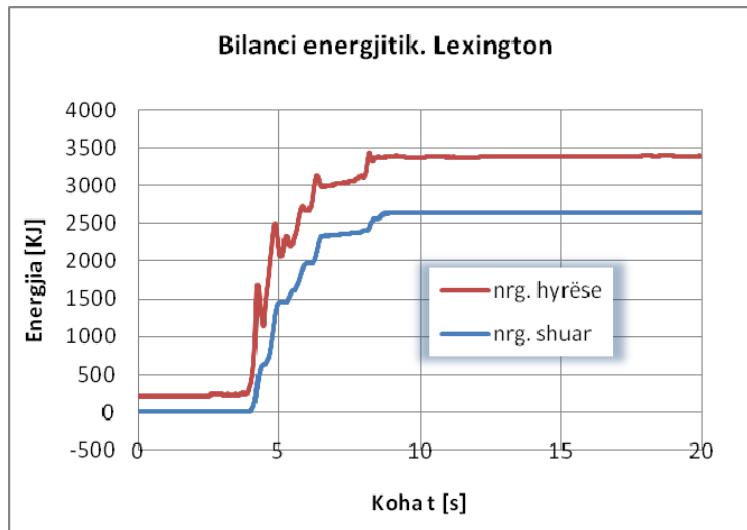


Figura 7.67. Bilanci energjistik gjatë tërmetit Lexington.

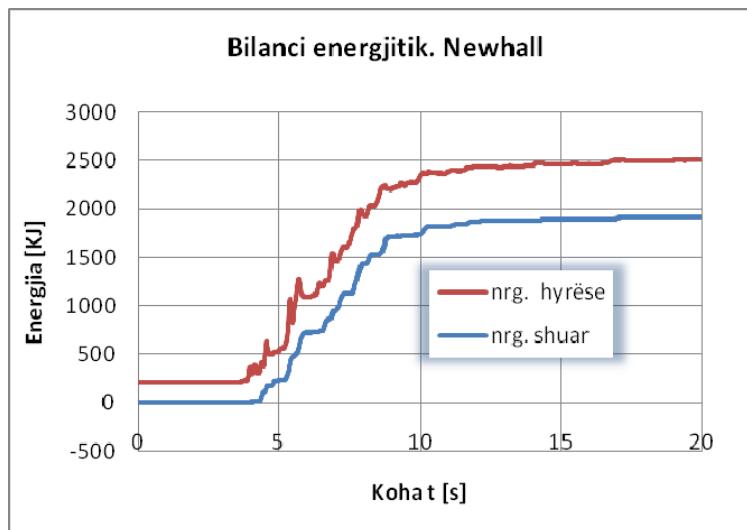


Figura 7.68. Bilanci energjistik gjatë tërmetit Newhall.

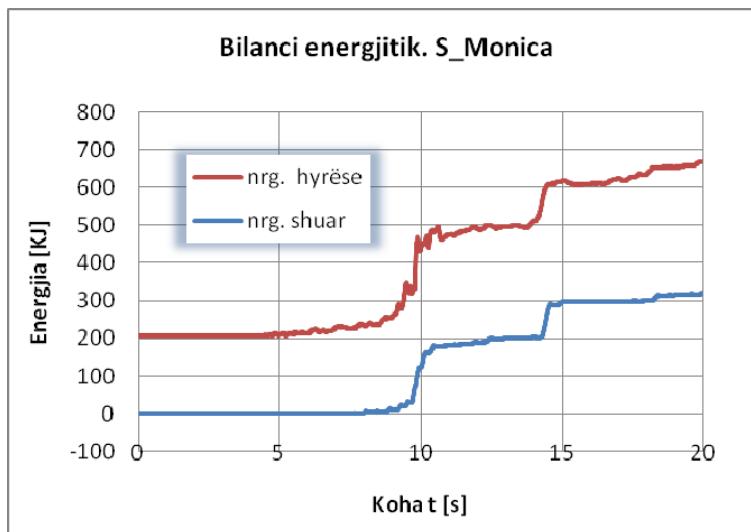


Figura 7.69. Bilanci energjitik gjatë tërmetit Santa Monica.

3. Projektimi i mbistrukturës së izoluar

3.1 Modeli dhe analizat kompjuterike

Projektimi i mbistrukturës do të kryhet nëpërmjet analizave lineare ekuivalente. Mbistruktura mbështetet mbi izolatorët, të cilët modelohen me elementë lidhës linearë. Shtangësia ekuivalente dhe shuarja ekuivalente e tyre llogaritet nga kurbat histeretike të marra nga analizat jolineare të sistemit të izolimit. Më tej, mbistruktura modelohet si një strukturë standarde tradicionale me bazë të fiksuar. Forcat sizmike llogariten nga spektri elastik i shpejtimeve.

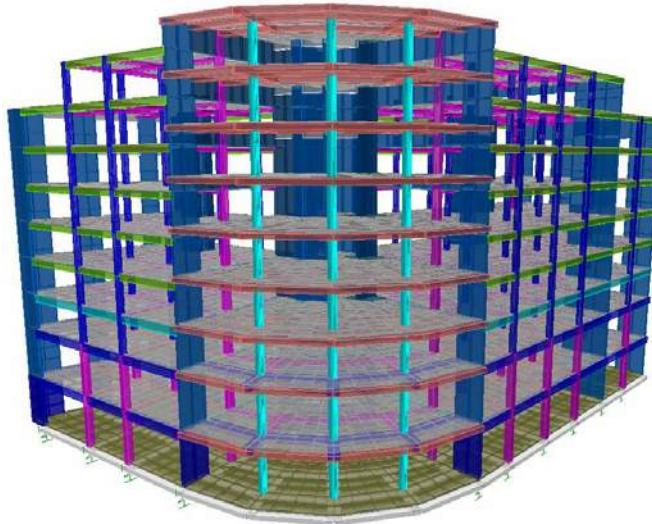


Figura 7.70. Modelimi i mbistrukturës me MEF për analiza lineare.

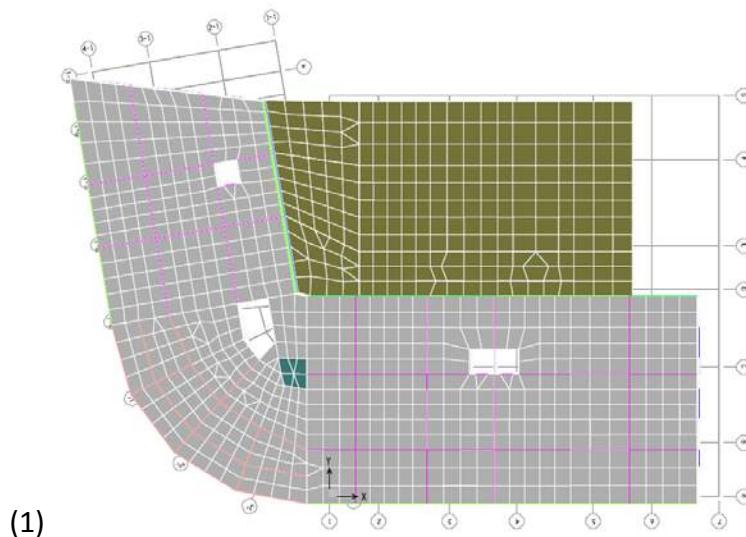
3.2 Reaqimi sizmik i mbistrukturës

Edhe për këto analiza, në reagimin sizmik do të shohim strukturën si të tërë dhe elementë të saj në veçanti. Do të zgjedhim elementët vertikalë tip bërthamë, diafragmë dhe një ramë qendrore. Do të studiojmë modët e lëkundjeve të lira, zhvendosjet e kateve dhe forcat në to. Për elementët e veçantë do të analizojmë forcat e brendëshme. Rezultatet e marra do t'i krahasojmë me ato të strukturës me bazë fiksë.

Në Tab.7.16 jepen modët e lëkundjeve të lira për mbistrukturën me bazë të izoluar. Ndërsa në Fig.7.71 jepen paraqitjet grafike të katër tonëve të parë.

Tabela 7.16. Modët e lëkundjeve për mbistrukturën.

Toni	Moda - 1	Moda - 2	Moda - 3	Moda - 4
Perioda (s)	2.64	2.62	0.51	45
Lloji	Trans.	Trans.	Trans.	Trans.



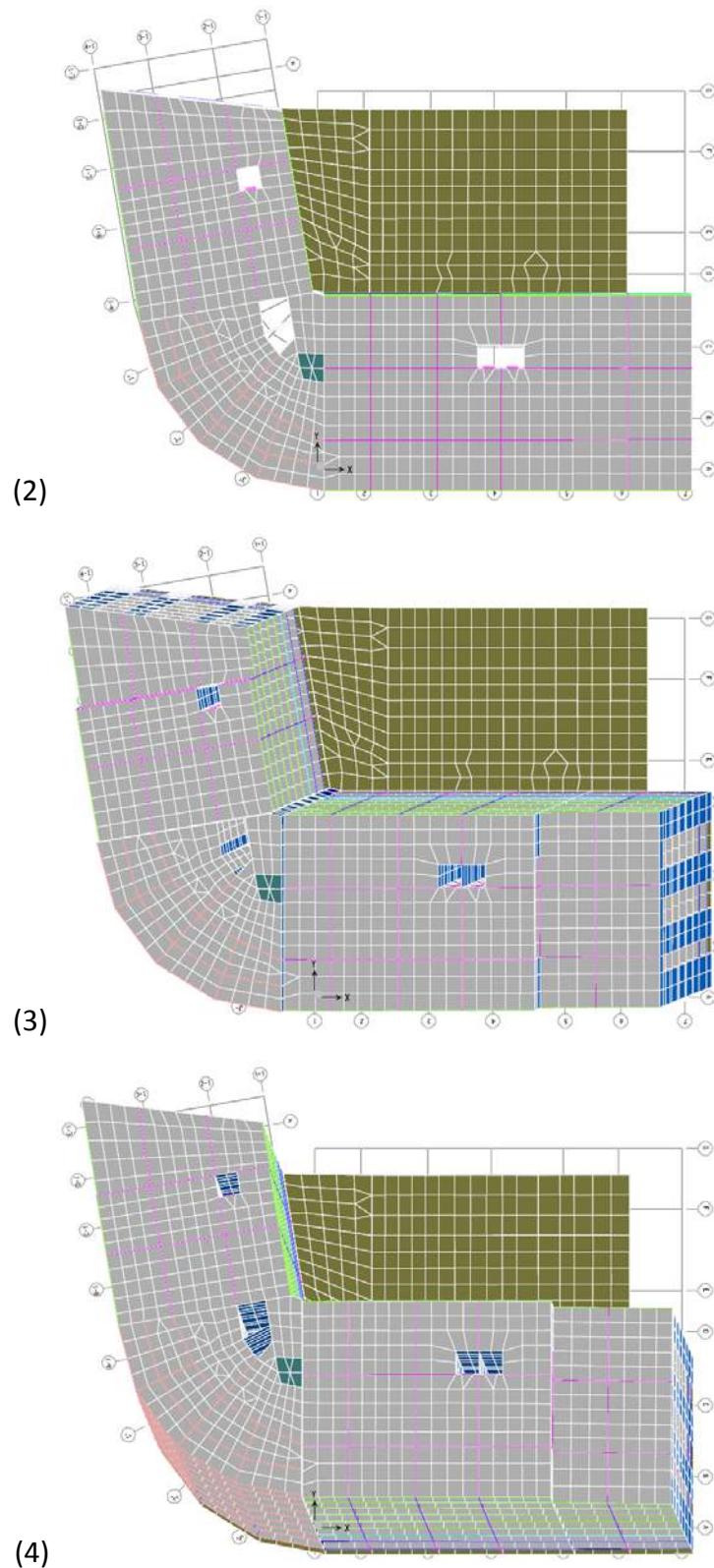


Figura 7.71. Katër Modët e para të lëkundjeve të lira për mbistrukturën.

Zhvendosjet në nivel kati dhe deformimet relative në kat për kombinimin e ngarkesave DCON3 jepen në Tab. 7.17 të matura në cm.

Tabela 7.17. Zhvendosjet absolute dhe relative në kat prej DCON3 për mbistrukturën.

KUOTA	D _X	D _Y	d _X	d _Y
Kati 8	18.0	5.8	0.3	0.1
Kati 7	17.7	5.6	0.3	0.1
Kati 6	17.4	5.5	0.3	0.1
Kati 5	17.1	5.4	0.3	0.1
Kati 4	16.8	5.2	0.3	0.1
Kati 3	16.5	5.1	0.3	0.1
Kati 2	16.1	5.0	0.4	0.1
Kati 1	15.8	4.8	0.5	0.2
Kati 0	15.3	4.7	0.4	0.6
S.Izol	14.9	4.1	14.9	4.1
NënStr	0	0	0	0

Ndërsa, për kombinimin e ngarkesave DCON4 jepen në Tab. 7.18.

Tabela 7.18. Zhvendosjet absolute dhe relative në kat prej DCON4 për mbistrukturën.

KUOTA	D _X	D _Y	d _X	d _Y
Kati 8	5.7	18.1	0.1	0.3
Kati 7	5.5	17.8	0.1	0.3
Kati 6	5.4	17.5	0.1	0.3
Kati 5	5.3	17.2	0.1	0.3
Kati 4	5.2	16.9	0.1	0.3
Kati 3	5.0	16.6	0.1	0.3
Kati 2	4.9	16.3	0.1	0.3
Kati 1	4.8	15.9	0.2	0.4
Kati 0	4.6	15.5	0.1	0.4
S.Izol	4.5	15.1	4.5	15.1
NënStr	0	0	0	0

Në Tab.7.19 jepen forcat e brendshme në kat të mbistrukturës prej kombinimit DCON3.

Paraqitja grafike e tyre jepet nga Fig. 7.72 dhe Fig.7.73.

Tabela 7.19. Forcat e brendshme në kat prej DCON3 për mbistrukturën.

KATI	SEKSIONI	N	V _X	V _Y	M _X	M _Y
8	9 Max	7637.69	819.85	251.25	91467.77	1783.119
	8 Max	8554.43	819.85	251.25	104392.4	4337.322
7	8 Max	19017.39	1929.66	586.95	243269.4	43181.35
	7 Max	20427.39	1929.66	586.95	265485.2	49571.37
6	7 Max	30965.64	3020.66	916.97	407034.5	90373.1
	6 Max	32460.44	3020.66	916.97	431976.5	91793.24
5	6 Max	42790.51	4040.88	1226.51	570614.5	131276.3
	5 Max	44461.98	4040.88	1226.51	599262	130369
4	5 Max	54583.86	4990.97	1516	734806.7	169138.6
	4 Max	56492.61	5010.36	1521.94	767963.3	165238.3
3	4 Max	66406.31	5908.81	1797.02	900249.7	203840.6
	3 Max	68491.72	5928.92	1803.2	937332.1	196915.5
2	3 Max	78257.04	6801.49	2071.33	1067075	236264.7
	2 Max	80555.48	6801.49	2071.33	1108609	225783.1
1	2 Max	90854.09	7787.32	2374.76	1245863	270745.6
	1 Max	94314.88	7787.32	2374.76	1309187	253562.5
0	1 Max	104963.6	8820.3	2692.45	1451632	299707.7
	0 Max	108580.5	8820.3	2692.45	1520479	276211.9

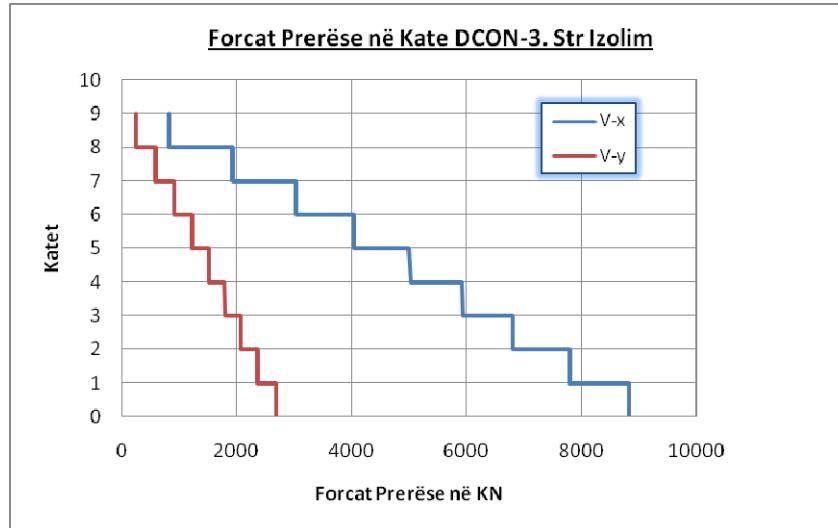


Figura 7.72. Forcat prerëse në kate për mbistrukturën prej DCON3.

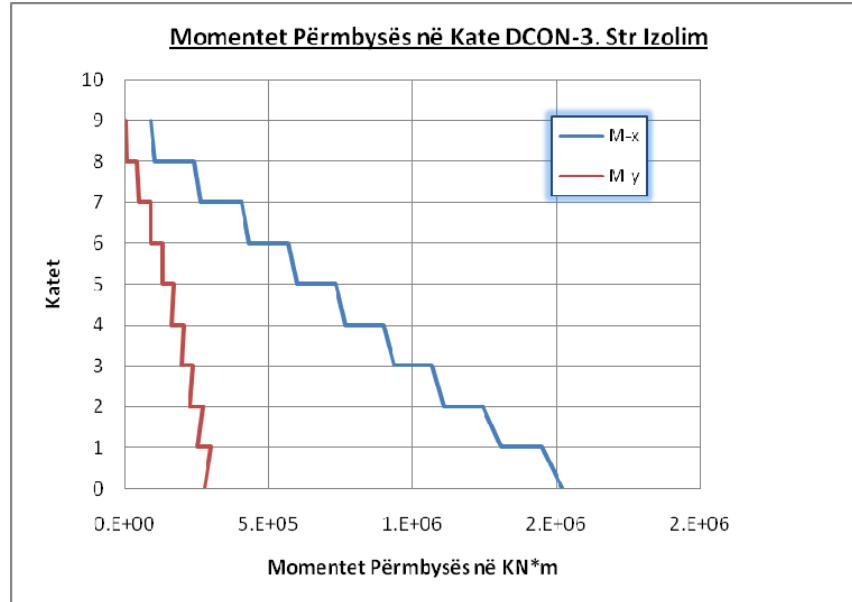


Figura 7.73. Momentet përbysës në kate për mbistrukturën prej DCON3.

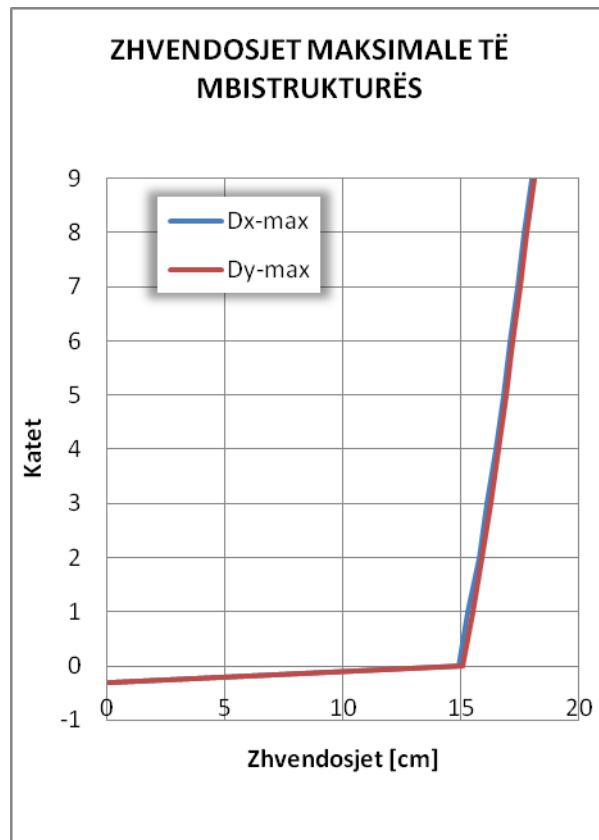


Figura 7.74. Zhvendosjet në kate për mbistrukturën prej DCON3&DCON4.

Në Tab.7.20 jepen forcat e brendshme në kat të mbistrukturës prej kombinimit DCON4.

Paraqitja grafike e tyre jepet nga Fig. 7.75 de Fig.7.76.

Tabela 7.20. Forcat e brendshme në kat prej DCON4 për mbistrukturën.

KATI	SEKSIONI	N	V _X	V _Y	M _X	M _Y
8	9 Max	7637.69	246.58	806.95	91777.3	2090.321
	8 Max	8554.43	249.3	815.16	105646.2	5598.286
7	8 Max	19017.39	586.14	1912.96	245724	45651.17
	7 Max	20427.39	586.14	1912.96	270511.7	54646.32
6	7 Max	30965.64	915.9	3000.55	414066.3	97474.01
	6 Max	32460.44	915.9	3000.55	443587.1	103519
5	6 Max	42790.51	1222.89	4029.1	584598.7	145393.9
	5 Max	44461.98	1222.89	4029.1	620126.2	151402.7
4	5 Max	54583.86	1507.69	4997.92	757999.6	192508.6
	4 Max	56492.61	1513.5	5017.75	800625	198074.1
3	4 Max	66406.31	1781.99	5943.42	934814.5	238575.7
	3 Max	68491.72	1788	5964.06	984222.8	243902
2	3 Max	78257.04	2048.15	6869.53	1115085	284362.6
	2 Max	80555.48	2054.87	6892.71	1172084	289166.9
1	2 Max	90854.09	2341.76	7894.78	1309339	334129.4
	1 Max	94314.88	2348.09	7915.14	1397547	341417
0	1 Max	104963.6	2649.06	8966.56	1539992	387562.2
	0 Max	108580.5	2657.61	8993.95	1637034	391673.8

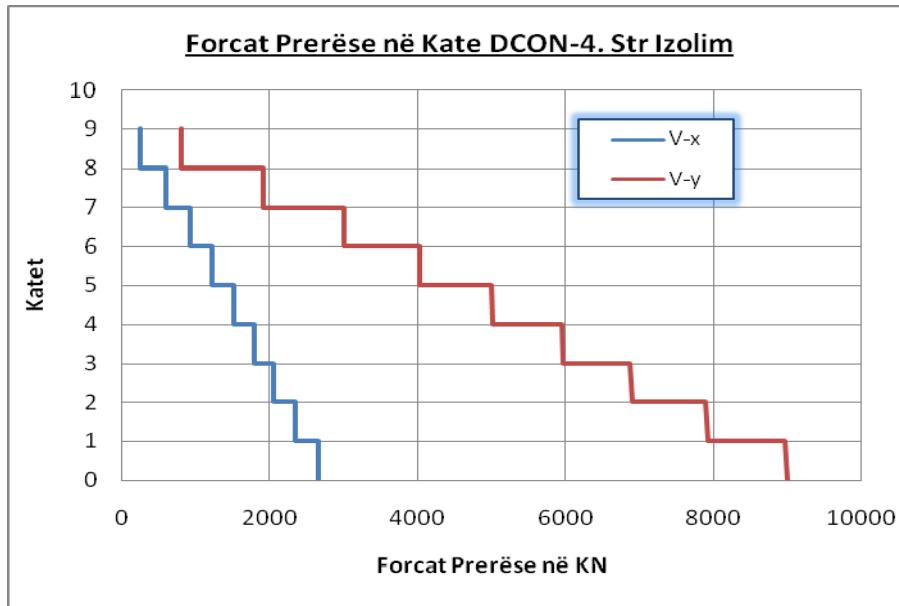


Figura 7.75. Forcat prerëse në kate për mbistrukturën prej DCON4.

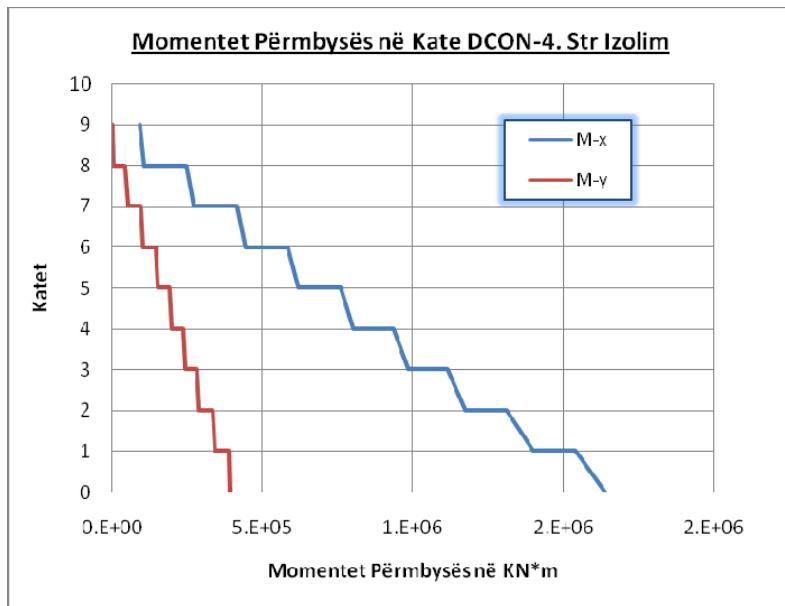


Figura 7.76. Momentet përbysës në kate për mbistrukturën prej DCON4.

Tabela 7.21. Forcat e brendshme në bërthamën P1 prej EQX. Bazë të izoluar.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
8	9	431.47	180.00	179.88	411.51	4252.02	1672.79
	8	431.47	180.00	179.88	411.51	4037.52	1692.81
7	8	923.22	201.63	673.76	1449.55	8061.94	3314.66
	7	923.22	201.63	673.76	1449.55	6846.30	3019.28
6	7	1367.45	346.28	1154.03	2980.96	9955.05	4256.52
	6	1367.45	346.28	1154.03	2980.96	7567.36	3542.65
5	6	1726.43	503.42	1569.12	4324.92	9827.82	4399.04
	5	1726.43	503.42	1569.12	4324.92	6268.90	3247.39
4	5	2125.28	647.10	1920.62	5879.34	6802.30	3158.59
	4	2125.28	647.10	1920.62	5879.34	4412.17	2768.84
3	4	2388.24	783.72	2251.34	7077.88	4480.69	2512.96
	3	2388.24	783.72	2251.34	7077.88	3402.09	2213.97
2	3	2685.37	917.47	2568.84	9125.16	3024.36	2178.74
	2	2685.37	917.47	2568.84	9125.16	7357.85	3419.37
1	2	2526.93	1156.27	3418.30	10166.35	4946.57	2812.21
	1	2526.93	1156.27	3418.30	10166.35	19385.31	7003.00
0	1	2335.62	1102.74	3647.24	9525.22	17066.81	6458.90
	0	2335.62	1102.74	3647.24	9525.22	33313.74	11193.92

Forcat e brendshme për bërthamën P1, për kombinimin e ngarkesave sizmike EQX & EQY (analizë spektrale), jepen respektivisht në tabelat Tab.7.21 & Tab.7.22 dhe grafikisht në figurat nga Fig. 7.77 deri në Fig.7.84.

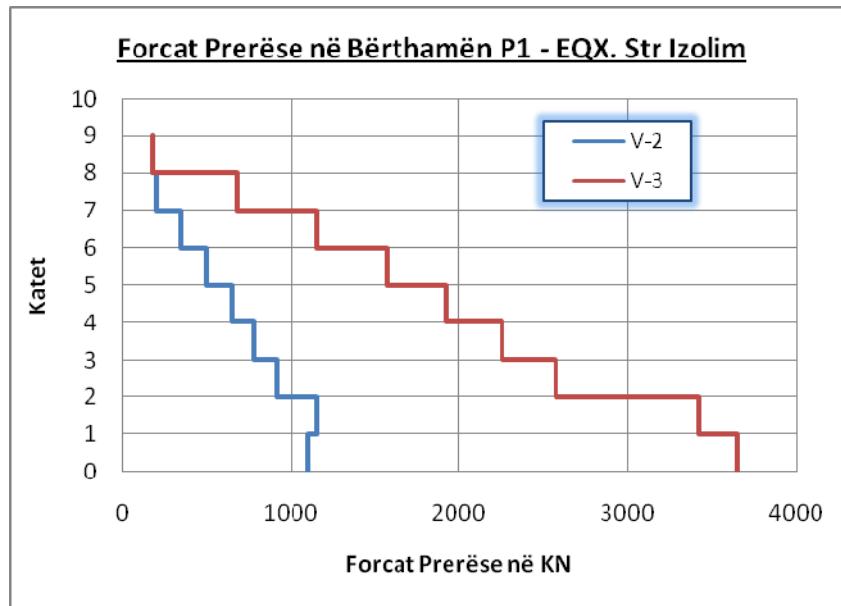


Figura 7.77. Forcat prerëse në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQX.

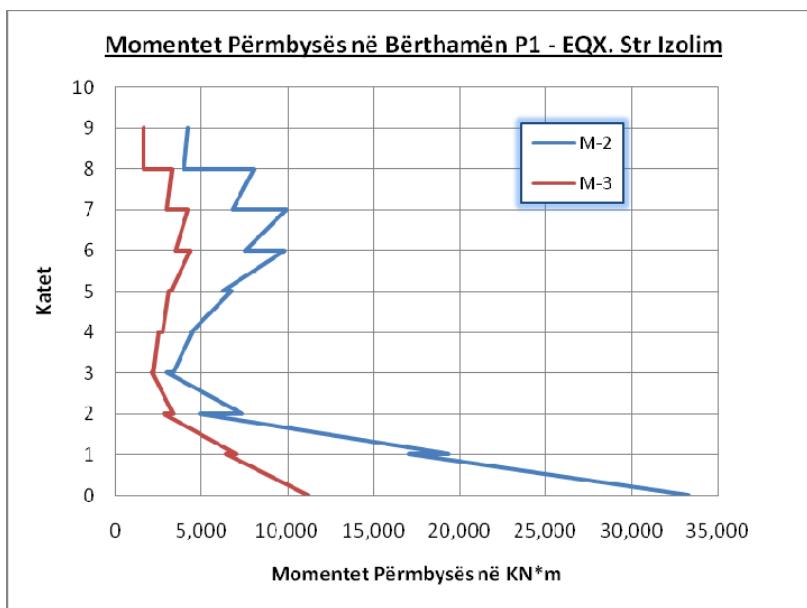


Figura 7.78. Momentet përkulës në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQX.

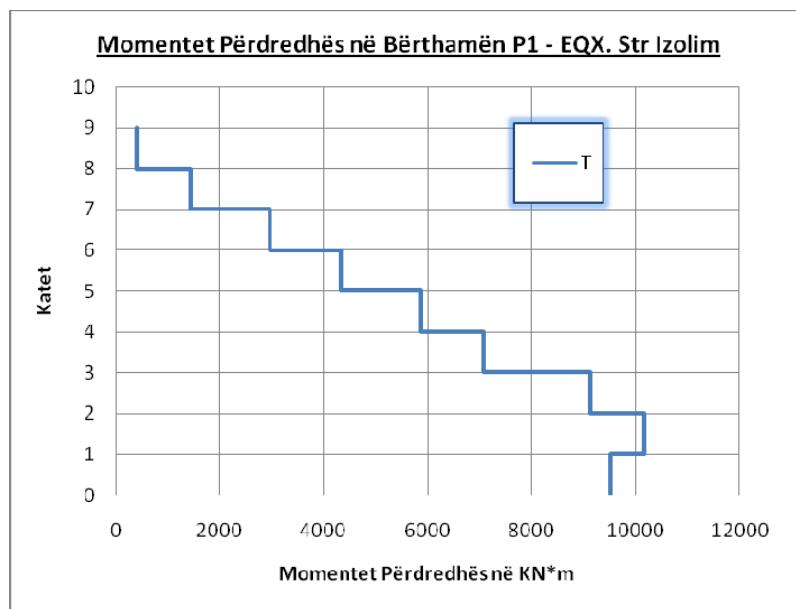


Figura 7.79. Momentet përdredhës në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQX.

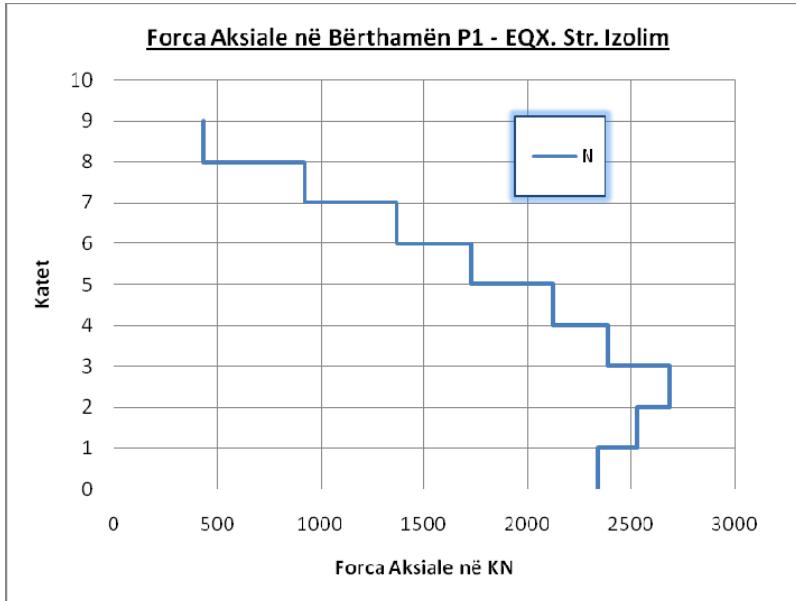


Figura 7.80. Forca aksiale në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQX.

Tabela 7.22. Forcat e brendshme në bërthamën P1 prej EQY. Bazë të izoluar.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
8	9	539.13	302.40	134.68	277.36	1482.57	4817.34
	8	539.13	302.40	134.68	277.36	1330.40	5282.48
7	8	1094.37	366.79	256.70	1212.77	2752.59	9751.67
	7	1094.37	366.79	256.70	1212.77	2288.74	9189.07
6	7	1580.31	950.54	385.18	2462.17	3414.13	12379.72
	6	1580.31	950.54	385.18	2462.17	2618.73	10434.63
5	6	1969.64	1500.37	503.20	3514.51	3452.37	12490.26
	5	1969.64	1500.37	503.20	3514.51	2356.61	9033.23
4	5	2394.42	2000.70	605.69	4626.13	2329.31	9377.72
	4	2394.42	2000.70	605.69	4626.13	2103.63	6300.63
3	4	2685.51	2494.79	699.23	5541.31	1885.58	6158.31
	3	2685.51	2494.79	699.23	5541.31	1918.60	3338.18
2	3	3002.74	3004.74	785.34	6819.66	1748.39	3192.25
	2	3002.74	3004.74	785.34	6819.66	2829.69	8498.54
1	2	2926.35	3745.44	1035.11	7149.15	1840.72	6740.96
	1	2926.35	3745.44	1035.11	7149.15	5896.39	22938.86
0	1	2830.96	3532.02	1128.71	4922.50	5187.63	21177.37
	0	2830.96	3532.02	1128.71	4922.50	10100.27	36948.48

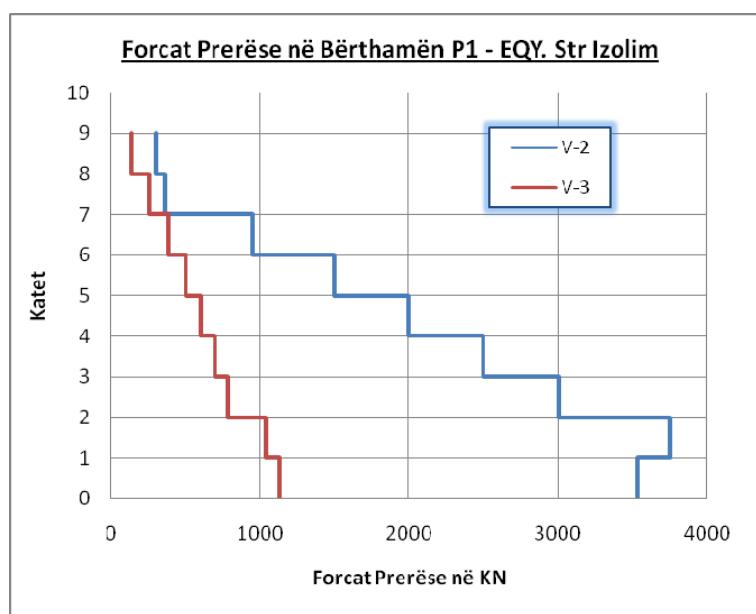


Figura 7.81. Forcat prerëse në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQY.

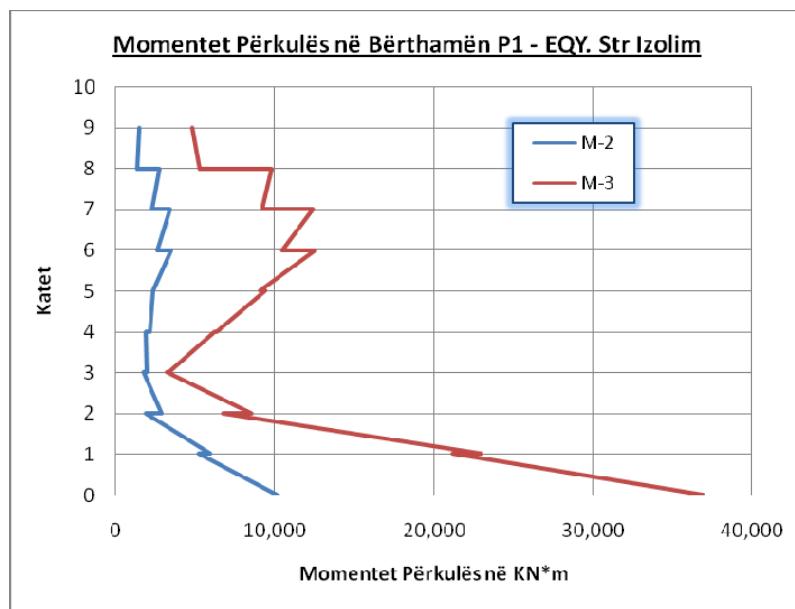


Figura 7.82. Momentet përkulës në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQY.

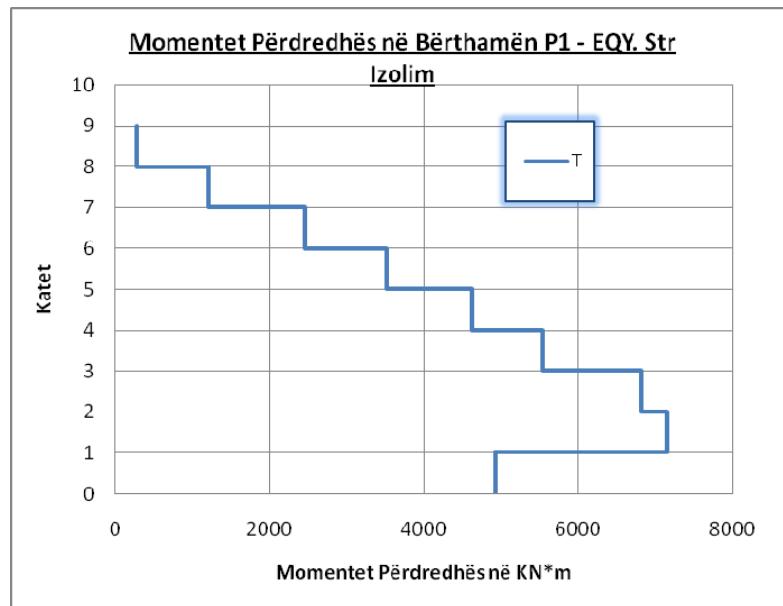


Figura 7.83. Momentet përbysës në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQY.

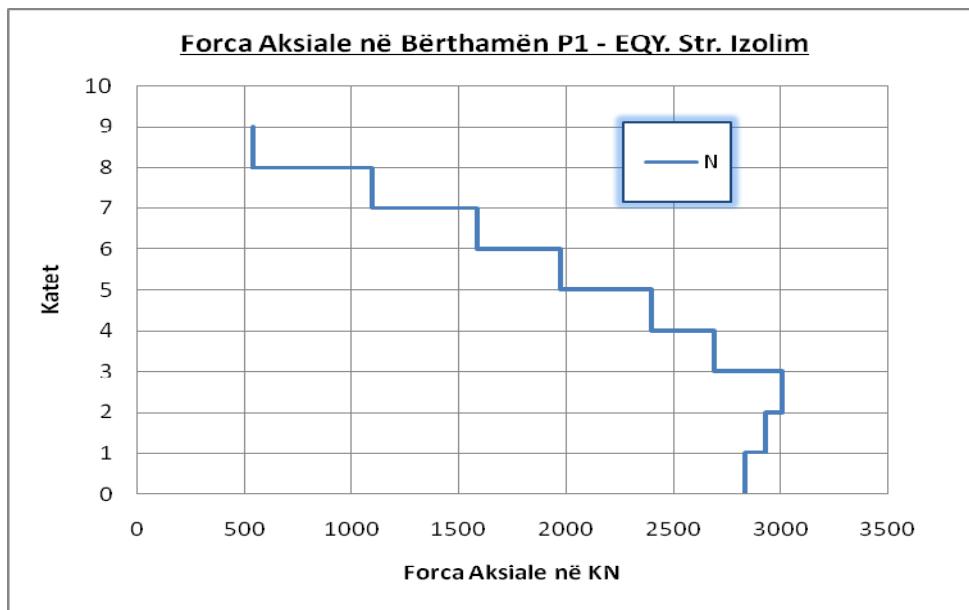


Figura 7.84. Forca aksiale në kate për bërthamën P1 me bazë të izoluar prej EQY.

Forcat e brendshme për bërthamën P2, për kombinimin e ngarkesave sizmike EQX & EQY (analizë spektrale), jepen respektivisht në tabelat Tab.7.23 & Tab.7.24 dhe grafikisht në figurat nga Fig. 7.85 deri në Fig.7.92.

Tabela 7.23. Forcat e brendshme në bërthamën P2 prej EQX. Bazë të izoluar.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
8	9	13.98	435.03	37.68	625.84	55.77	318.92
	8	13.98	435.03	37.68	625.84	215.56	1766.90
7	8	22.62	316.05	11.92	477.04	278.74	2137.40
	7	22.62	316.05	11.92	477.04	318.03	3186.76
6	7	27.39	115.57	15.71	183.84	366.61	3575.12
	6	27.39	115.57	15.71	183.84	344.59	3703.23
5	6	28.98	272.54	37.93	426.52	380.54	4121.75
	5	28.98	272.54	37.93	426.52	282.04	3430.65
4	5	27.08	456.87	57.17	753.47	307.25	3871.61
	4	27.08	456.87	57.17	753.47	193.37	2557.19
3	4	22.61	575.39	83.07	1027.64	202.08	2982.75
	3	22.61	575.39	83.07	1027.64	195.50	1572.62
2	3	22.66	904.81	49.61	1231.79	173.82	1787.31
	2	22.66	904.81	49.61	1231.79	281.00	2443.48
1	2	22.66	1264.09	63.00	1650.53	265.78	1854.85
	1	22.66	1264.09	63.00	1650.53	529.00	6886.59
0	1	30.61	1567.63	119.52	1688.43	445.42	6031.18
	0	30.61	1567.63	119.52	1688.43	957.39	12959.32

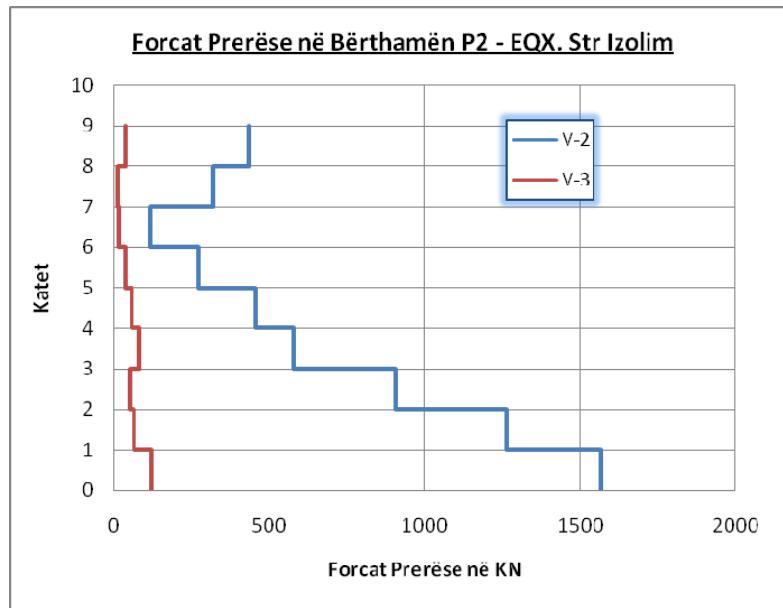


Figura 7.85. Forcat prerëse në kate për bërthamën P2 me bazë të izoluar prej EQX.

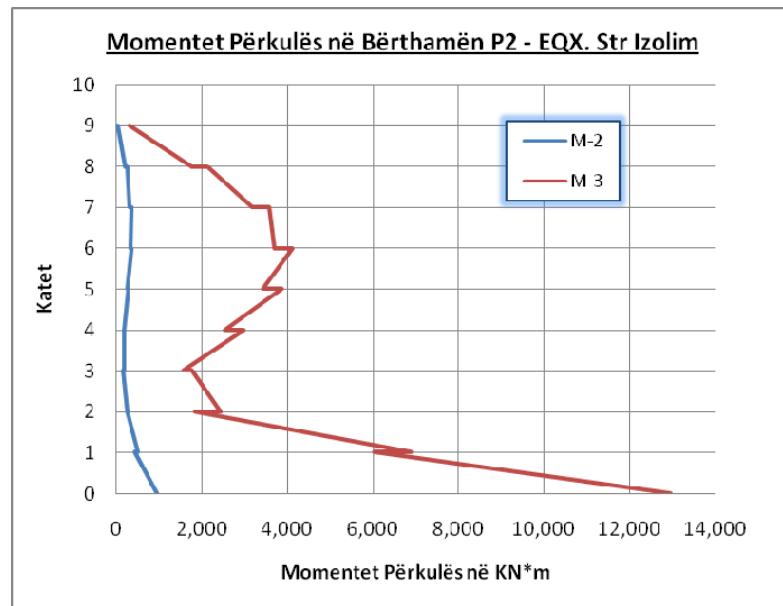


Figura 7.86. Momentet përkulës në kate për bërthamën P2 me bazë të izoluar prej EQX.

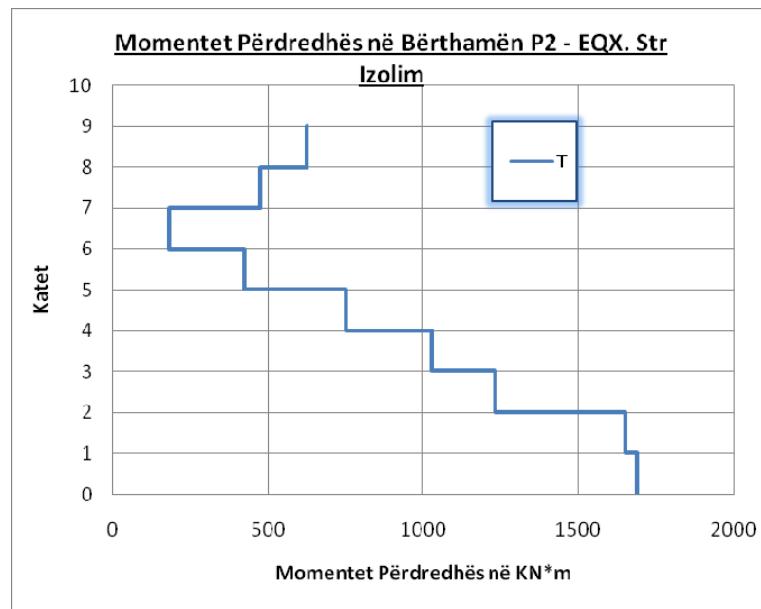


Figura 7.87. Momenti përdredhës në kate për bërthamën P2 me bazë të izoluar prej EQX.

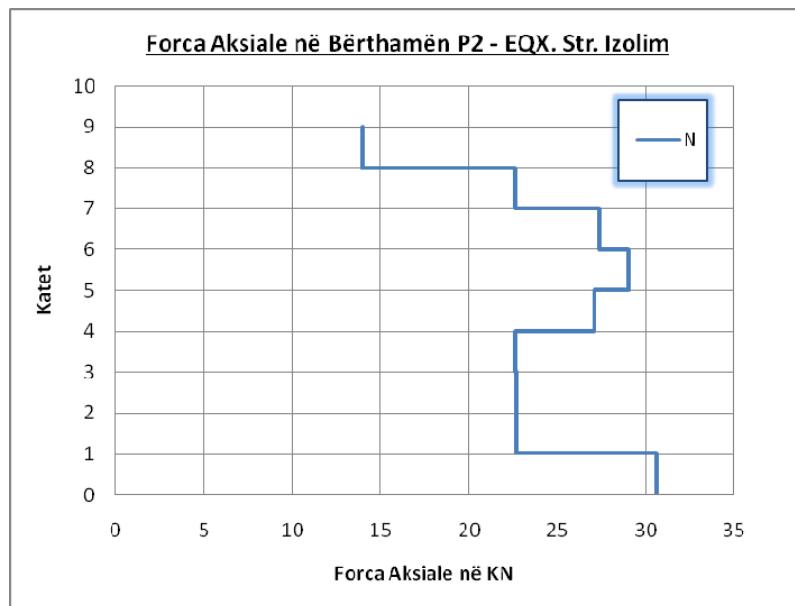


Figura 7.88. Forca aksiale në kate për bërthamën P2 me bazë të izoluar prej EQX.

Tabela 7.24. Forcat e brendshme në bërthamën P2 prej EQY. Bazë të izoluar.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
8	9	29.05	135.47	123.72	188.90	179.96	117.04
	8	29.05	135.47	123.72	188.90	707.87	535.83
7	8	50.08	111.96	26.42	157.03	911.91	647.59
	7	50.08	111.96	26.42	157.03	1053.62	973.68
6	7	61.80	64.62	35.26	87.54	1212.71	1081.28
	6	61.80	64.62	35.26	87.54	1143.23	1141.97
5	6	60.96	99.46	113.01	142.36	1264.27	1251.79
	5	60.96	99.46	113.01	142.36	921.40	1086.36
4	5	50.13	148.26	174.43	231.52	1015.23	1191.83
	4	50.13	148.26	174.43	231.52	531.91	886.56
3	4	33.99	180.21	261.66	311.97	600.41	965.26
	3	33.99	180.21	261.66	311.97	349.16	723.03
2	3	31.64	275.15	154.62	374.00	320.90	711.23
	2	31.64	275.15	154.62	374.00	657.90	950.55
1	2	11.25	380.81	187.61	498.10	672.66	743.82
	1	11.25	380.81	187.61	498.10	1470.48	2163.98
0	1	72.71	474.29	396.40	520.40	1302.55	1888.89
	0	72.71	474.29	396.40	520.40	3071.22	3968.92

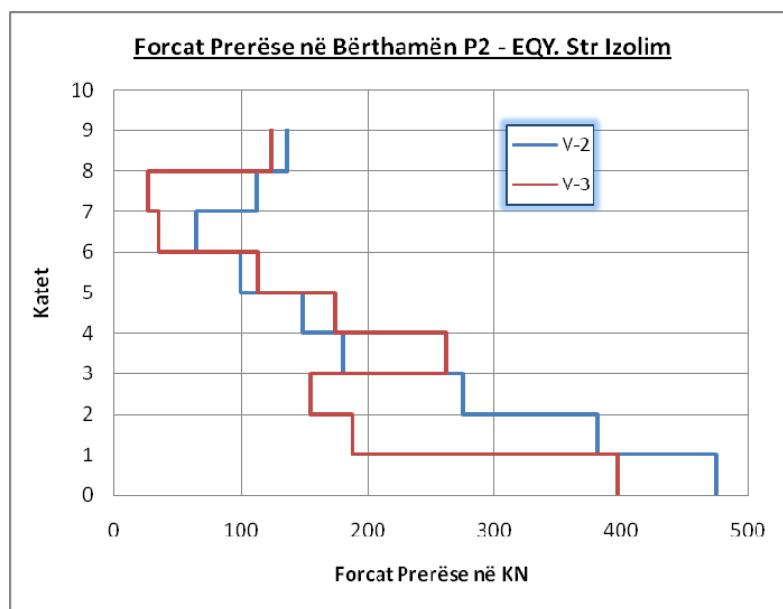


Figura 7.89. Forcat prerëse në kate për bërthamën P2 me bazë të izoluar prej EQY.

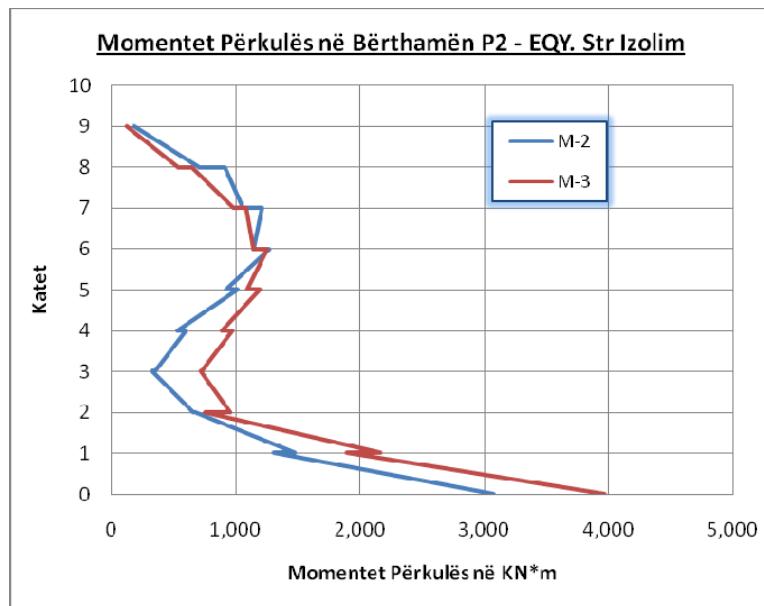


Figura 7.90. Momentet përkulës në kate për bërthamën P2 me bazë të izoluar prej EQY.

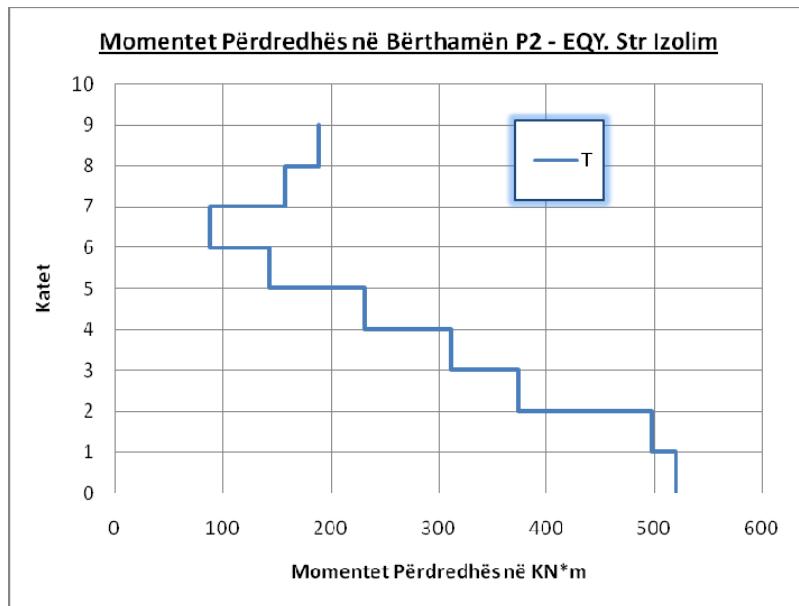


Figura 7.91. Momenti përdredhës në kate për bërthamën P2 me bazë të izoluar prej EQY.

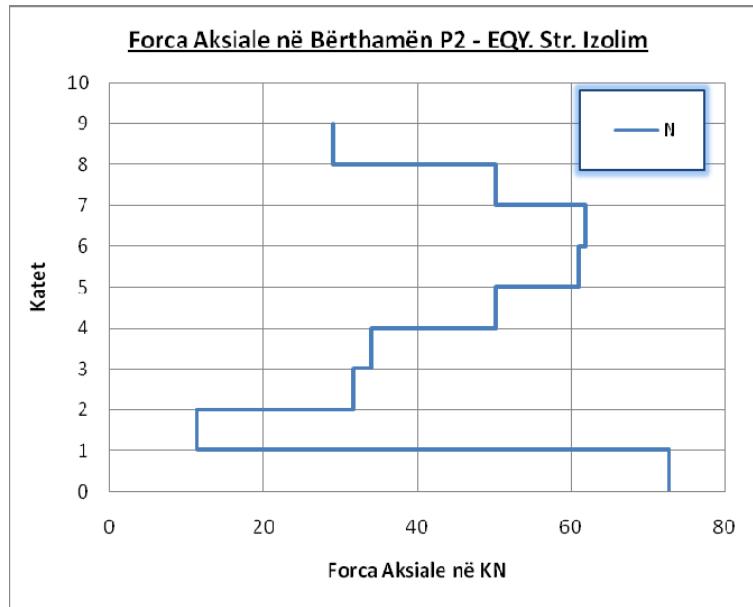


Figura 7.92. Forca aksiale në kate për bërthamën P2 me bazë të izoluar prej EQY.

Forcat e brendshme për bërthamën P3, për kombinimin e ngarkesave sizmike EQX & EQY (analizë spektrale), jepen respektivisht në tabelat Tab.7.25 & Tab.7.26 dhe grafikisht në figurat nga Fig. 7.93 deri në Fig.7.100.

Tabela 7.25. Forcat e brendshme në bërthamën P3 prej EQX. Bazë të izoluar.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
8	9	5.56	107.57	30.29	158.03	26.03	96.57
	8	5.56	107.57	30.29	158.03	117.33	457.26
7	8	11.17	58.52	26.90	100.03	164.56	593.20
	7	11.17	58.52	26.90	100.03	213.07	796.03
6	7	13.06	42.90	21.36	60.49	258.92	956.41
	6	13.06	42.90	21.36	60.49	232.62	869.74
5	6	10.68	130.03	31.85	184.58	279.65	1063.21
	5	10.68	130.03	31.85	184.58	222.91	695.03
4	5	13.08	190.87	44.68	298.83	268.33	916.90
	4	13.08	190.87	44.68	298.83	148.40	399.19
3	4	28.41	272.33	52.21	333.36	196.22	618.77
	3	28.41	272.33	52.21	333.36	81.63	410.75
2	3	50.96	108.51	56.17	177.39	116.96	289.07
	2	50.96	108.51	56.17	177.39	201.40	470.97
1	2	95.11	349.79	73.69	427.99	204.46	330.03
	1	95.11	349.79	73.69	427.99	349.09	1477.79
0	1	156.91	531.77	242.49	393.90	275.25	990.62
	0	156.91	531.77	242.49	393.90	1018.32	3365.56

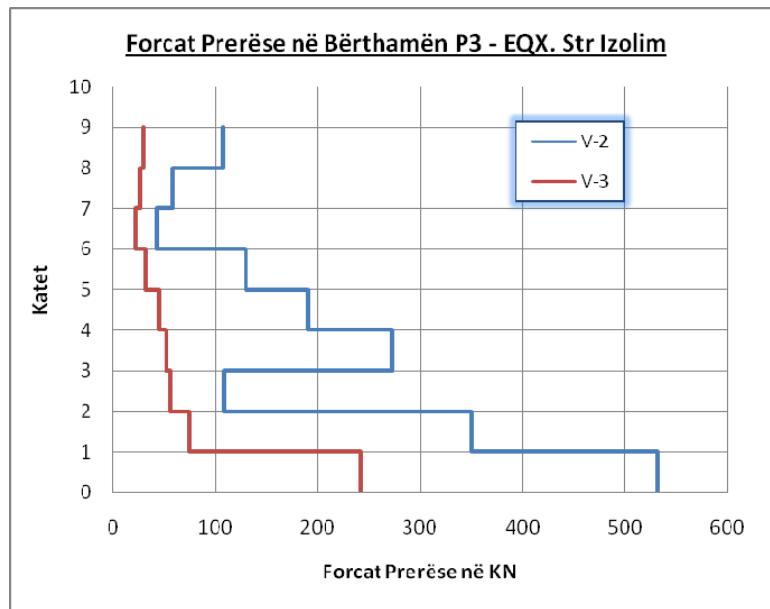


Figura 7.93. Forcat prerëse në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQX.

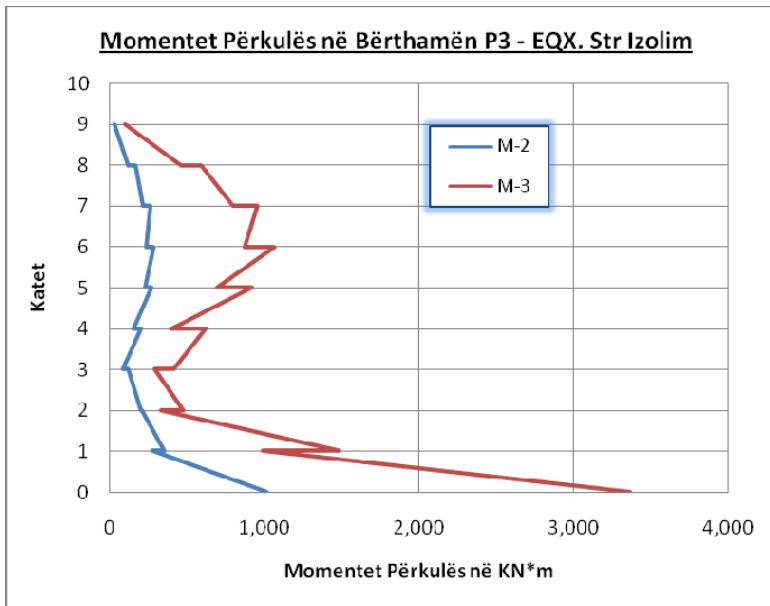


Figura 7.94. Momentet përkulës në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQX.

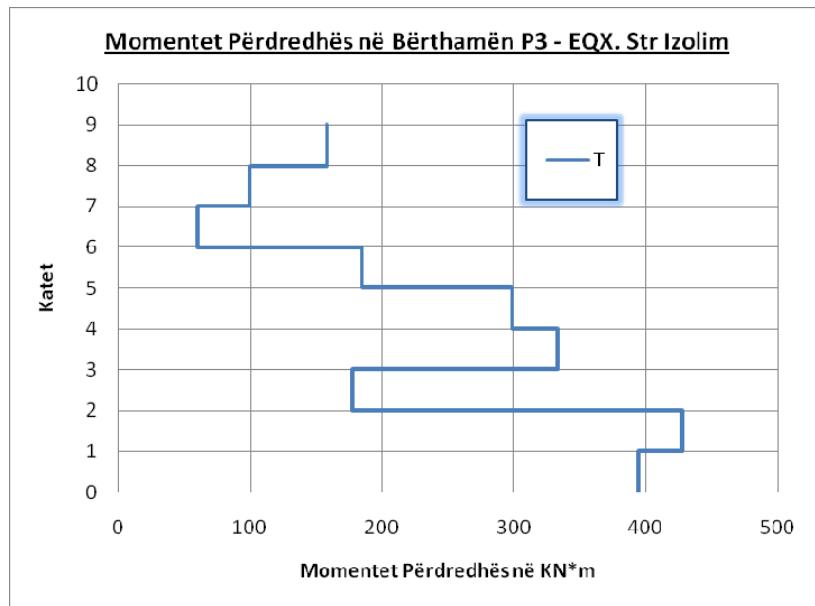


Figura 7.95. Momenti përdredhës në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQX.

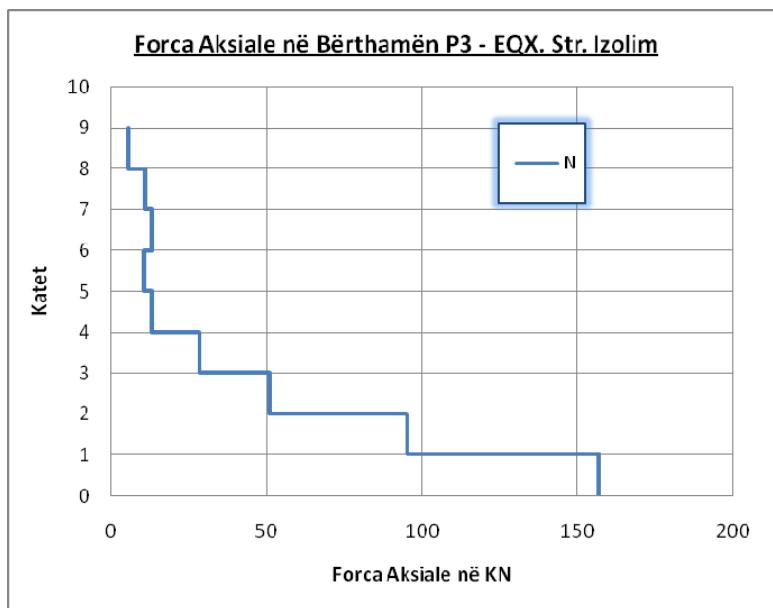


Figura 7.96. Forca aksiale në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQX.

Tabela 7.26. Forcat e brendshme në bërthamën P3 prej EQY. Bazë të izoluar.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
8	9	11.62	32.56	71.62	48.32	80.89	55.34
	8	11.62	32.56	71.62	48.32	327.01	150.09
7	8	15.69	22.70	16.98	37.44	491.15	217.10
	7	15.69	22.70	16.98	37.44	478.45	253.22
6	7	17.44	33.54	67.37	46.30	664.51	325.07
	6	17.44	33.54	67.37	46.30	475.89	267.94
5	6	19.66	54.90	104.28	78.27	683.54	347.06
	5	19.66	54.90	104.28	78.27	383.94	212.03
4	5	22.51	71.70	125.05	108.74	609.41	295.54
	4	22.51	71.70	125.05	108.74	262.69	134.85
3	4	26.63	95.62	151.81	122.27	491.02	203.08
	3	26.63	95.62	151.81	122.27	172.18	171.08
2	3	32.39	60.32	133.24	108.51	322.11	115.73
	2	32.39	60.32	133.24	108.51	252.22	222.70
1	2	42.98	135.66	237.01	192.45	351.01	132.89
	1	42.98	135.66	237.01	192.45	811.07	572.96
0	1	61.19	207.77	564.07	215.66	383.07	345.67
	0	61.19	207.77	564.07	215.66	2865.23	1261.99

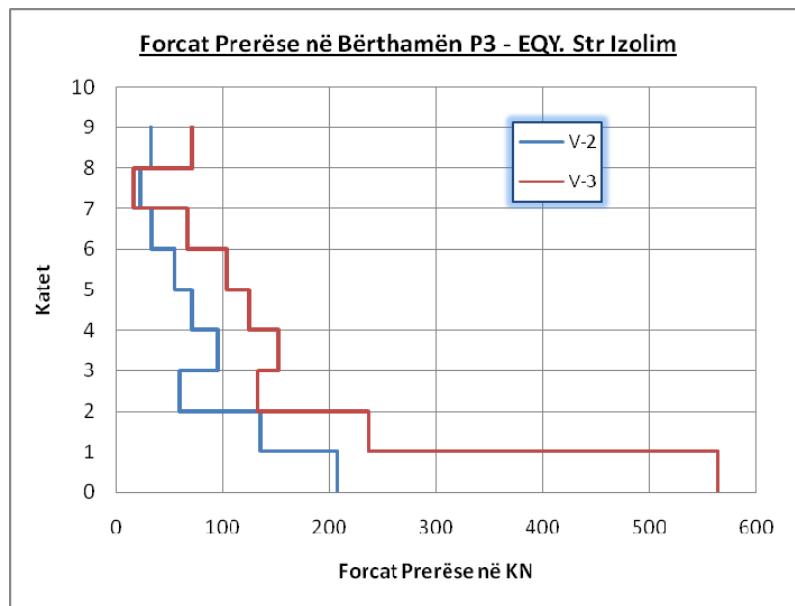


Figura 7.97. Forcat prerëse në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQY.

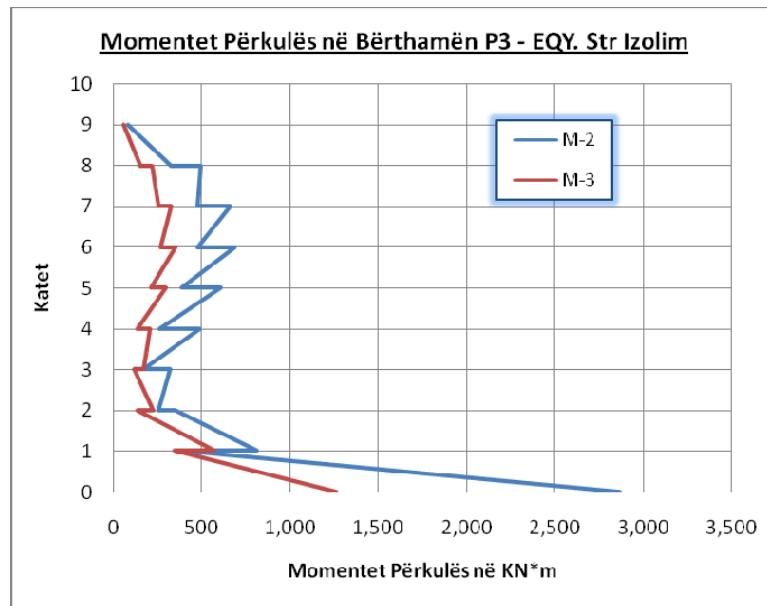


Figura 7.98. Momentet përkulës në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQY.

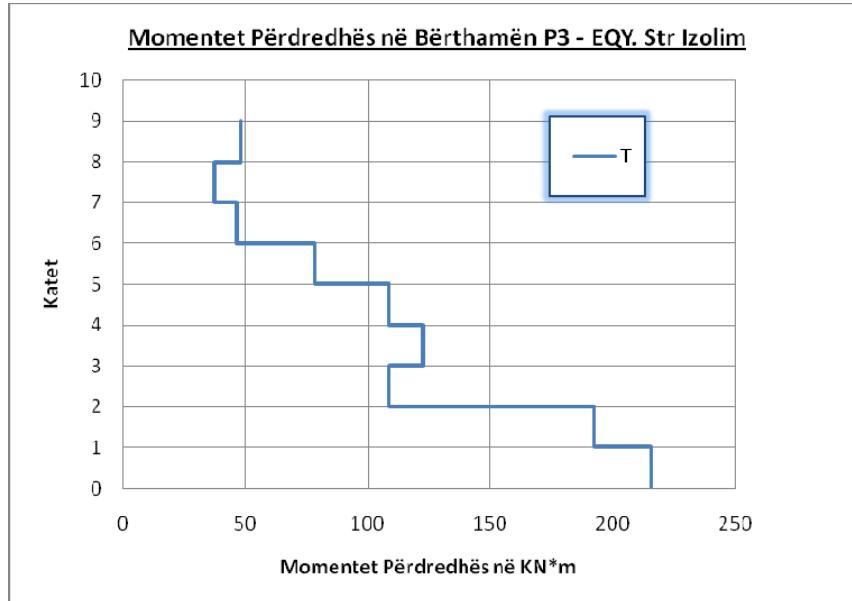


Figura 7.99. Momenti përdredhës në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQY.

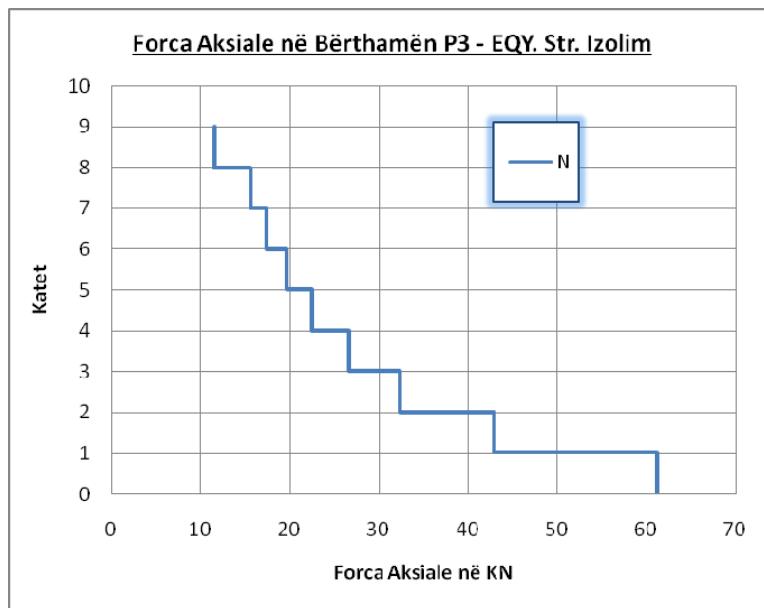


Figura 7.100. Forca aksiale në kate për bërthamën P3 me bazë të izoluar prej EQY.

Forcat e brendshme për bërthamën P3, për kombinimin e ngarkesave sizmike EQX & EQY (analizë spektrale), jepen respektivisht në tabelat Tab.7.27 & Tab.7.28 dhe grafikisht në figurat nga Fig. 7.101 deri në Fig.7.108.

Tabela 7.27. Forcat e brendshme në bërthamën P12 prej EQX. Bazë të izoluar.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
7	8	15.00	43.04	20.04	12.26	28.03	14.42
	7	14.85	43.04	20.04	12.26	21.75	167.30
6	7	19.38	41.30	18.94	17.17	29.66	223.00
	6	19.38	41.30	18.94	17.17	24.05	105.82
5	6	59.37	73.18	21.02	21.94	32.60	237.59
	5	59.37	73.18	21.02	21.94	27.40	46.51
4	5	126.26	88.02	22.32	26.41	34.53	197.33
	4	126.26	88.02	22.32	26.41	29.31	98.20
3	4	208.11	105.05	26.27	40.57	37.94	140.32
	3	208.11	105.05	26.27	40.57	38.32	205.37
2	3	289.40	99.98	30.52	22.02	45.28	43.04
	2	289.40	99.98	30.52	22.02	53.65	300.21
1	2	441.51	85.36	18.79	13.70	43.75	116.50
	1	441.51	85.36	18.79	13.70	41.83	278.89
0	1	584.89	73.39	34.32	9.08	58.77	117.54
	0	584.89	73.39	34.32	9.08	97.42	220.01

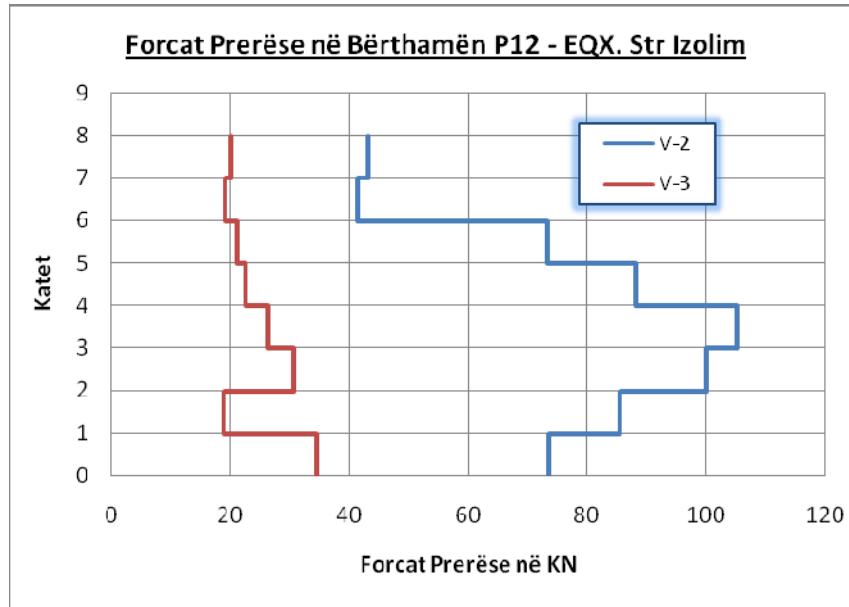


Figura 7.101. Forcat prerëse në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQX.

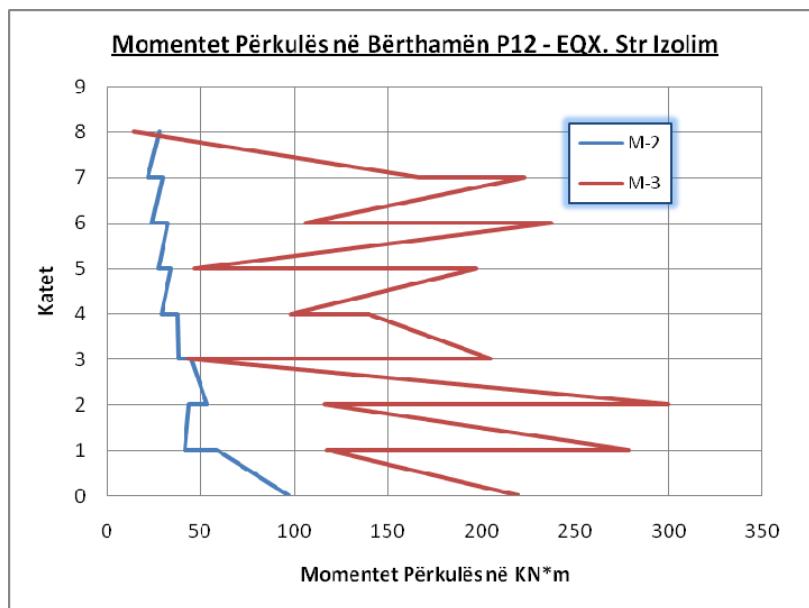


Figura 7.102. Momentet përkulës në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQX.

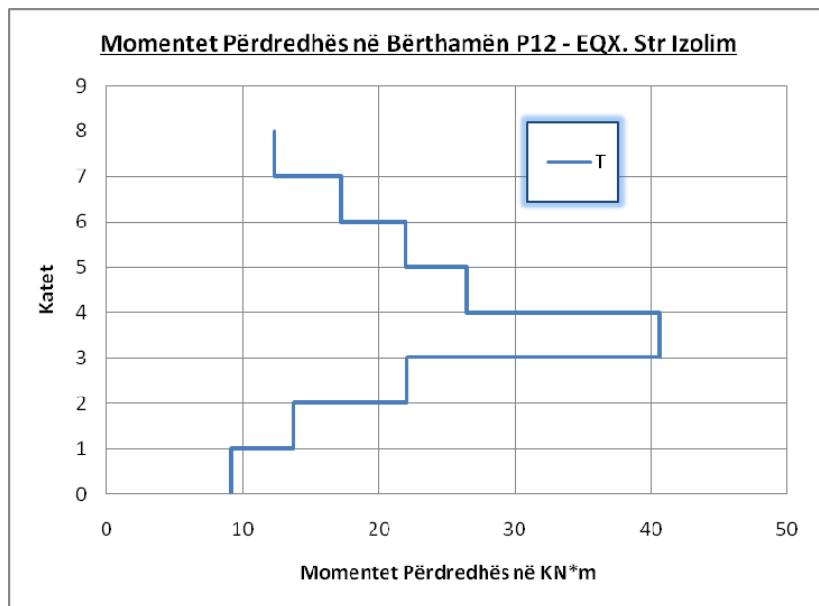


Figura 7.103. Momenti përdredhës në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQX.

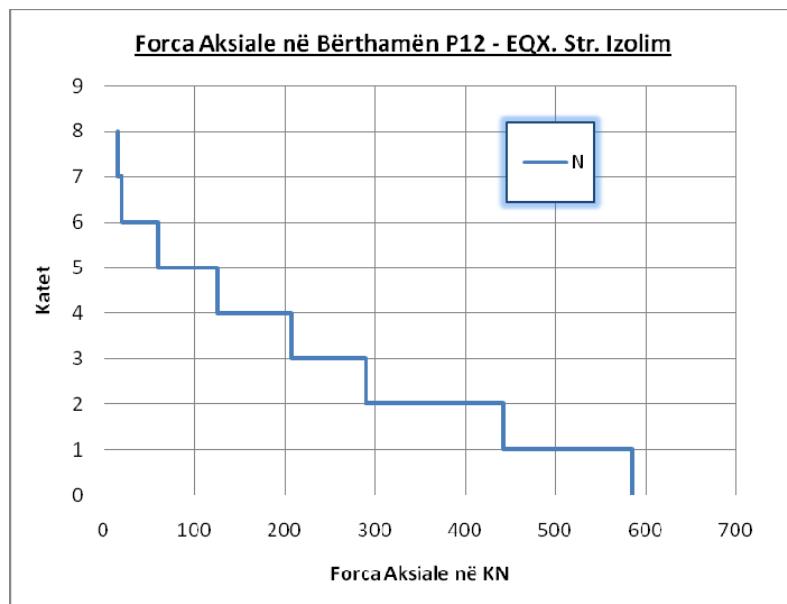


Figura 7.104. Forca aksiale në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQX.

Tabela 7.28. Forcat e brendshme në bërthamën P12 prej EQY. Bazë të izoluar.

Kati	Sekzioni	P	V2	V3	T	M2	M3
7	8	42.03	142.12	17.17	15.80	25.04	30.85
	7	38.55	142.12	17.17	15.80	20.11	500.28
6	7	50.57	97.33	12.92	20.74	20.95	643.11
	6	50.57	97.33	12.92	20.74	19.97	347.52
5	6	182.31	206.63	13.89	26.25	22.37	730.55
	5	182.31	206.63	13.89	26.25	21.61	102.96
4	5	400.28	264.19	13.90	33.18	22.24	631.15
	4	400.28	264.19	13.90	33.18	21.71	231.74
3	4	668.97	327.32	15.82	45.65	23.20	459.95
	3	668.97	327.32	15.82	45.65	26.88	600.85
2	3	939.89	316.79	20.29	19.05	29.02	126.16
	2	939.89	316.79	20.29	19.05	36.76	930.75
1	2	1445.73	267.67	10.45	10.74	24.91	357.20
	1	1445.73	267.67	10.45	10.74	22.67	872.23
0	1	1925.49	225.25	20.38	10.21	37.44	344.71
	0	1925.49	225.25	20.38	10.21	55.34	685.65

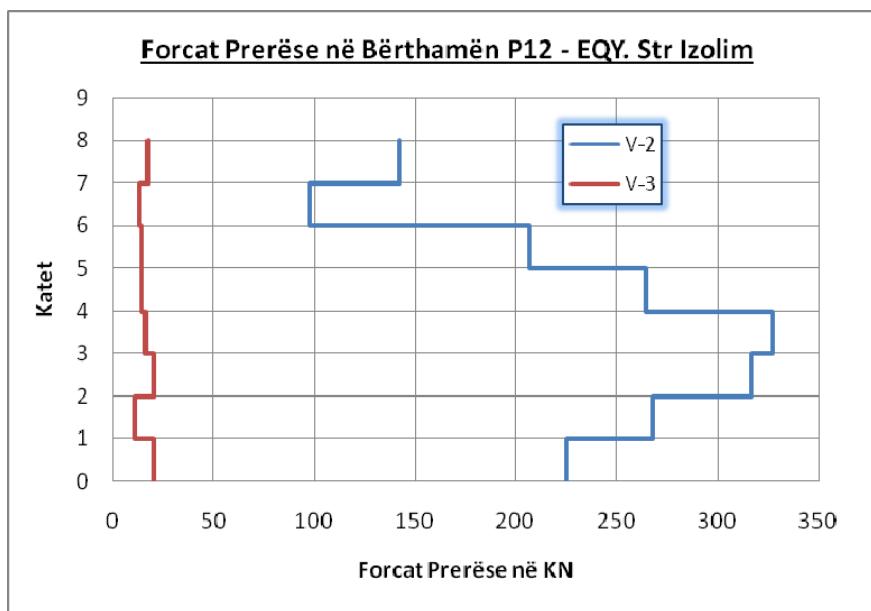


Figura 7.105. Forcat prerëse në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQY.

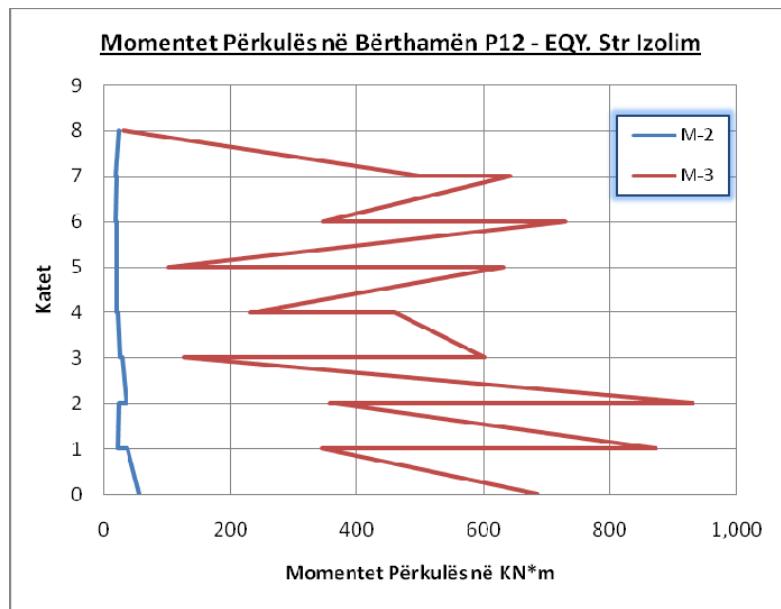


Figura 7.106. Momentet përkulës në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQY.

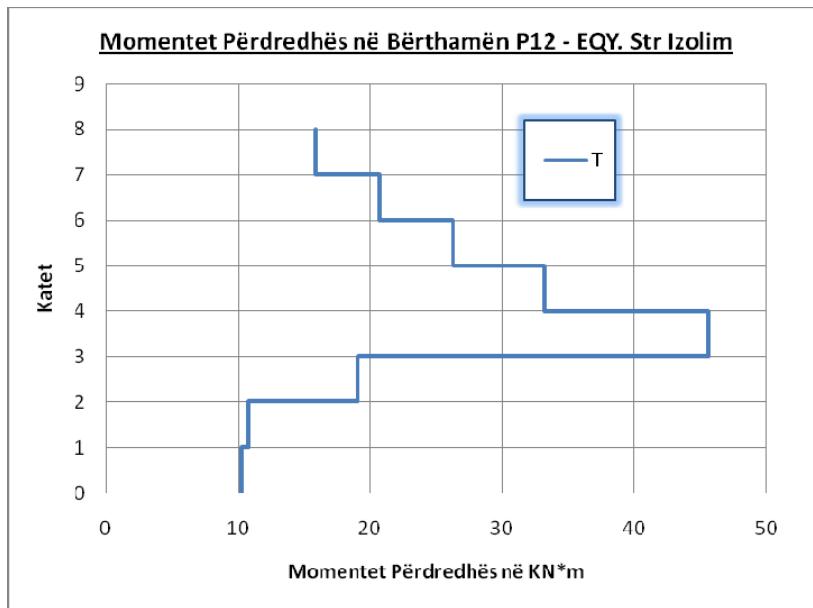


Figura 7.107. Momenti përdredhës në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQY.

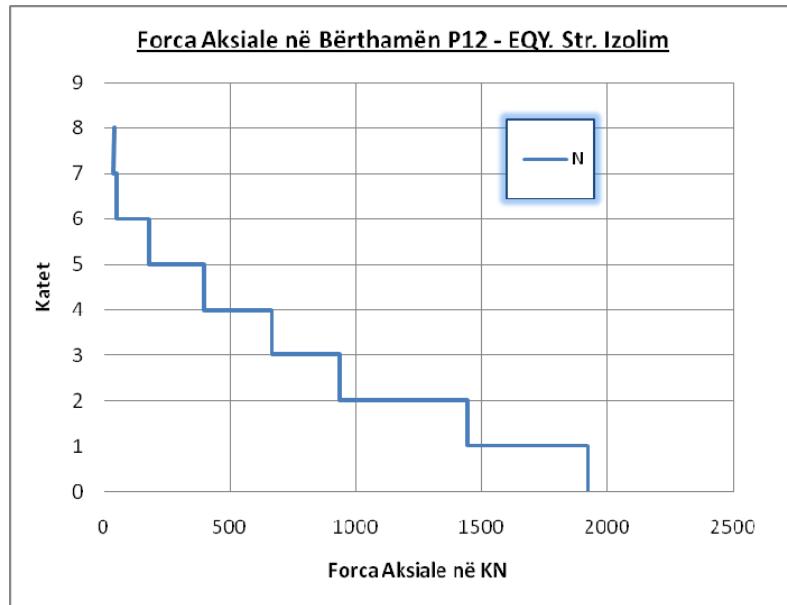


Figura 7.108. Forca aksiale në kate për bërthamën P12 me bazë të izoluar prej EQX.

3.3 Krahasime

Në Fig.7.109 jepen forcat prerëse në kat për strukturën me bazë fikse dhe bazë të izoluar. Në strukturën e izoluar forcat prerëse reduktohen me 18%.

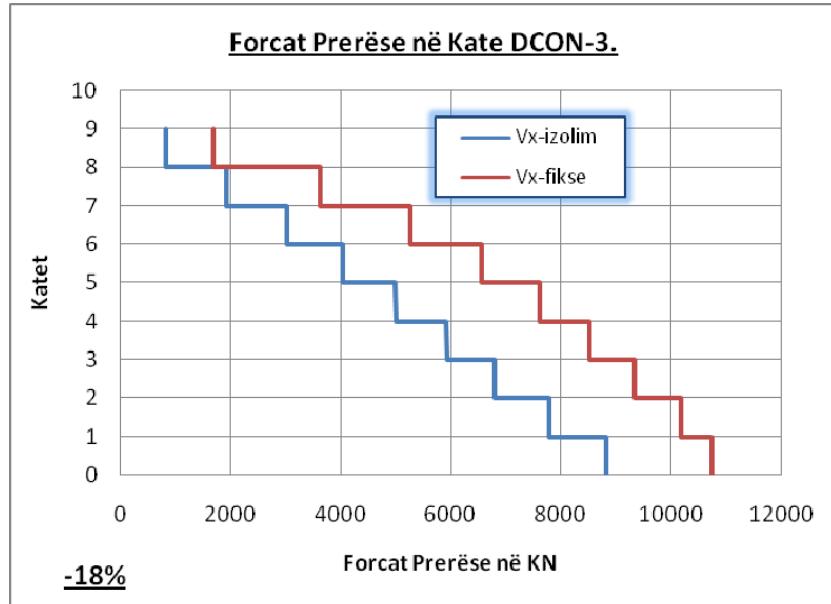


Figura 7.109. Forcat prerëse në kat për strukturën me dhe pa izolim.

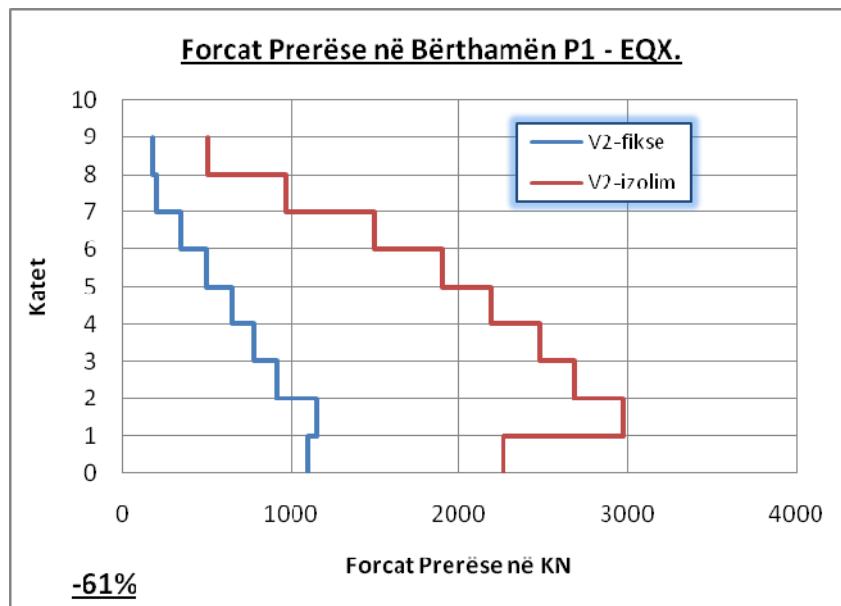


Figura 7.110. Forcat prerëse në kat për P1 me dhe pa izolim.

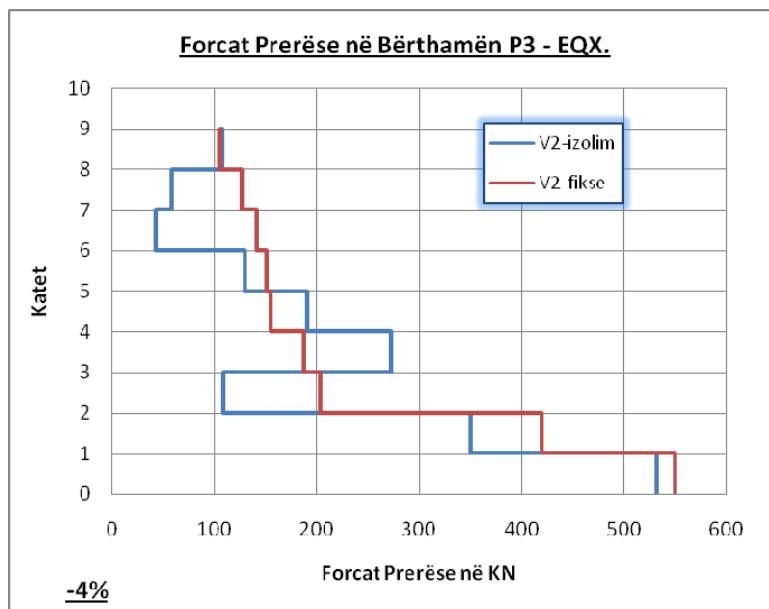


Figura 7.111. Forcat prerëse në kat për P3 me dhe pa izolim.

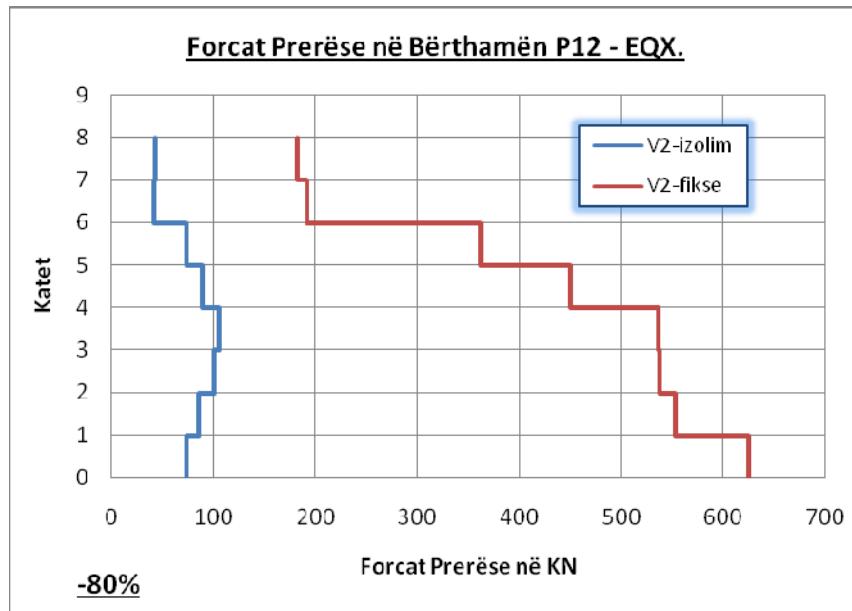


Figura 7.112. Forcat prerëse në kat për P12 me dhe pa izolim.

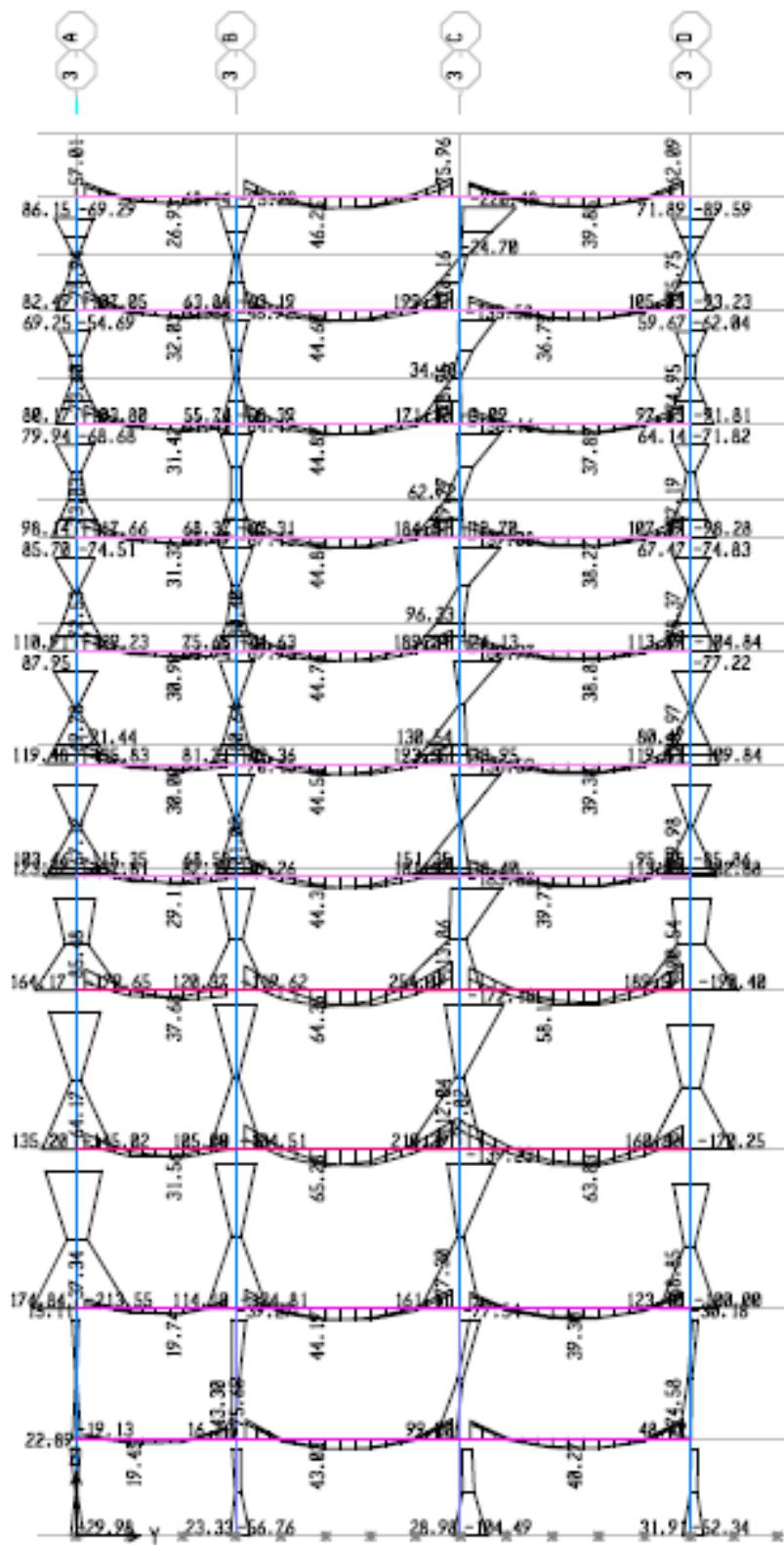


Figura 7.113. Momenti përkulës në ramën aksi-3 pa izolim.

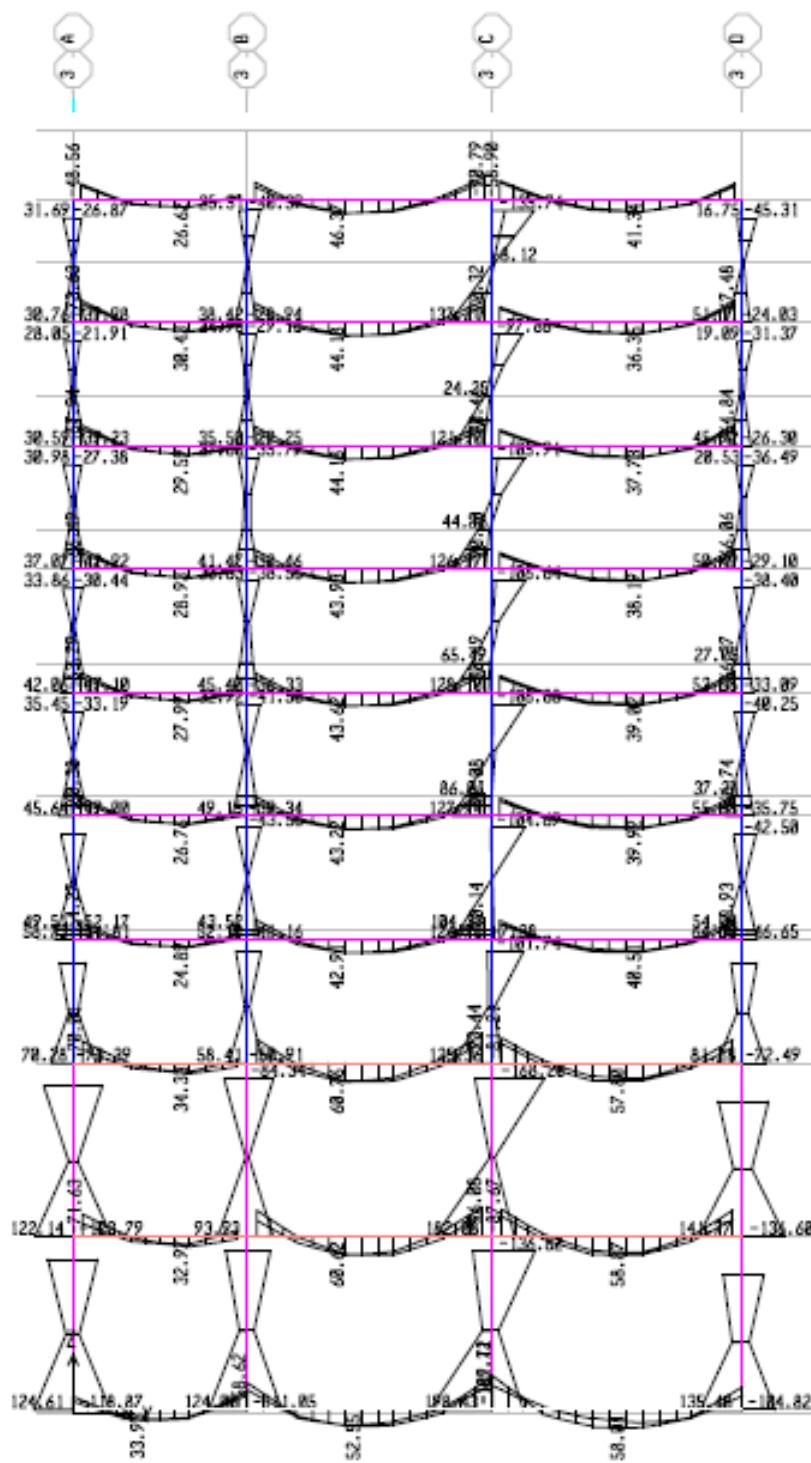


Figura 7.114. Momenti përkulës në ramën aksi-3 me izolim.

PËRFUNDIME

Për përballimin e forcave sizmike në strukturat ndërtimore mund të përdorim filozofinë tradicionale (ndërtesat me bazë fikse) ose atë të izolimit sizmik. Duhet theksuar se izolimi në bazë për ndërtesat me kate është i vlefshëm për lartësi të ulta deri mesatare të tyre. Izolimi në bazë, për këto ndërtesa, shfaq një përparësi të padiskutueshme kundrejt ndërtesase me bazë të fiksuar. Izolimi në bazë bën të mundur:

- Zvogëlimin e forcave sizmike horizontale në tërësi për objektin. Në shembullin tonë konkret në masën 18%.
- Në strukturat me pendula me fërkim minimizohet efekti i përdredhjes, pasi ato janë vetëqendërzuese. Kjo bën të mundur shpërndarjen më të mirë të forcave sizmike në elementët e strukturës.
- Zhvendosjet në strukturën e izoluar janë rreth katër-pesë herë më të mëdha se zhvendosjet elastike të strukturës me bazë fikse. Në strukturat me bazë fikse, zhvendosjet reale elasto-plastike janë në përpjestim të drejtë me faktorin e sjelljes, kështu që zhvendosja maksimale reale e strukturës me bazë fikse janë të krahasueshme me ato të sistemit të izoluar.
- Në strukturat me bazë fikse, deformimet reale në kate janë katër-pesë herë më të mëdha se në strukturat e izoluara.
- Rrit sigurinë dhe komoditetin e shfrytëzuesve të ambienteve të brendshme të ndërtesës gjatë ngarjes sizmike.
- Eleminon dëmet e elementëve strukturalë dhe jostrukturalë si të mbistrukturës dhe të nënstrukturës, pasi ato projektohen në fazën elastike. Si forcë horizontale përdoret spektri elastik.
- Minimizon kostot e riparimeve gjatë ngarjeve sizmike.
- Strukturat me izolim në bazë janë më të ndjeshme ndaj tërmeteve me frekuenca të ulta.
- Bilanci energjitik (shuarja) është funksion i sistemit të izolimit dhe llojtit të tërmetit hyrës.

Meqenëse deformimet dhe dëmtimet e mundshme ndodhin në sistemin e izolimit, projektimi i tyre duhet të jetë adekuat dhe rigoroz. Këto sisteme janë relativisht të shtrenjta, por më se të justifikueshme për nivelin e sigurisë dhe komoditetit që ofrojnë.

REFERENCA

- [1]. Farzad Naeim and James M. Kelly, (1999).Design of Seismic Isolated Structures – From Theory to Practice. John Wiley & Sons, Inc,
- [2]. CEN, (2003).Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic action and rules for buildings. prEN 1998-1:2003E,
- [3]. Anil K. Chopra. (1995).Dynamic of Structures – Theory and Application to Earthquake Engineering. Prentice-Hall,
- [4]. Murtaj L., Murtaj E. (2015).Hand Calculations of Rubber Bearing Seismic Isolation System for Irregular Buildings in Plane.*International Journal of Innovative Research in Science & Engineering*, Volume 3 Issue 2, Pg. 17-24, ISSN 234-3207.
- [5]. Murtaj L., Murtaj E.(2015). Influence of Firs Shape Factor in Behavior of Rubber Bearings Base Isolated Buildings.*International Journal of Innovative Research in Science & Engineering*, Volume 3 Issue 3, Pg. 58-65, ISSN 234-3207.
- [6]. Murtaj L., Softa F. (2010).First Seismic Isolated Building in Albania. *14th European Conference on Earthquake Engineering*, Ohrid, Macedonia,
- [7].FIP Industriale, “Isolatori a Scorimento a Superficie Curva”, 2014.
- [8]. Bridgestone Corporation.(June 2013).Seismic isolation product line-up.*Construction Materials Sales & Marketing Department*.
- [9]. SAP2000®.(2009).Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Analysis Reference, Vol. 1&2, Computer and Structure, Inc, Berkeley, California, USA.
- [10]. Edward L. Wilson.(2002).Three-dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures – A Physical Approach with Emphasys on Earthquake Engineering, Computer and Structure, Inc, Berkeley, California, USA.