# Reagimi Dinamik dhe Analiza Sizmike e Strukturave të Izoluara në Bazë me Izolator Gome me Fibra

nga

## Agim SERANAJ

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. Dr. Mihail GAREVSKI** Instituti i Inxhinierisë së Tërmeteve dhe Sizmologjisë Inxhinierike (IZIIS), Shkup, Maqedoni

#### Prof. Asoc. Dr. Forcim SOFTA

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

Tiranë, Nëntor 2014

# Dynamic Response and Seismic Analysis of Base Isolated Structures with Reinforced Rubber Bearings

by

## **Agim SERANAJ**

Department of Structural Mechanics Civil Engineering Faculty, Polytechnic University of Tirana

## A Dissertation submitted in partial satisfaction for the degree of

#### **Doctor of Philosophy**

in

## POLYTECHNIC UNIVERSITY OF TIRANA Civil Engineering Faculty Department of Structural Mechanics

Mentor:

Prof. Dr. Mihail GAREVSKI Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZIIS) University "St. Cyril and Methodius" in Skopje, Macedonia

**Prof.Asoc. Dr. Forcim SOFTA** Civil Engineering Faculty, Polytechnic University of Tirana

Tirana, November 2014

Këtë punim ja dedikoj prindërve për edukimin dhe shkollimin tim, bashkëshortes për mbështetjen dhe frymëzimin e vazhdueshëm, si dhe fëmijëve të mrekullueshëm Siborës dhe Darlit.

Të drejtat e autorit © 2014 Agim Seranaj

# MIRËNJOHJE

Shpreh mirënjohje për gjithë kolegët, shokët dhe miqtë për optimizmin e nevojshëm në përfundimin e këtij studimi.

Mirënjohje për Jorgaq Kaçanin për nxitjen dhe mbështetjen administrative.

Falënderime të veçanta për udhëheqësit Mihail Garevski dhe Forcim Softa për udhëzimet, konsultat dhe frymëzimin e vazhdueshëm.

Falënderime për motrën dhe vëllezërit për inkurajimin.

Mirënjohje e veçantë Edlirës për optimizmin dhe nxitjen në përmbushjen e pritshmërive.

# PËRMBAJTJE

LISTA E FIGURAVE	ix
LISTA E TABELAVE	xiv

I.	PËRMBLEDHJE	1
I.	SUMMARY	5
II.	HYRJE	9
III.	QËLLIMI	10
IV.	OBJEKTIVAT	11

PËRSHKRIM I PËRGJITHSHËM I SISTEMEVE TË IZOLUAR NË BAZË	12
1.1 Hyrje	
1.2 Karakteristikat e Përgjithshme të Strukturave të Izoluara	15
1.2.1 Fleksibiliteti	16
1.2.2 Ndryshimi i periodës	
1.2.3 Shuarja	19
1.3 Tipet e Sistemeve Izolues	19
1.3.1 Izolatorë me shuarje të ulët	
1.3.2 Izolatorë me bërthamë plumbi	
1.3.3 Izolatorë me shuarje të lartë	
1.4 Aplikimi i Izolimit në Bazë të Strukturave	
1.5 Efektiviteti i Izolimit Sizmik të Strukturave	
1.6 Eurokodi për Strukturat e Izoluara në Bazë	
1.6.1 Përkufizime (Eurokodi 8)	
1.6.2 Eurokodi për ndërtesat e izoluara në bazë	
1.6.2a Kritere të përgjithshme	
1.6.2b Kritere projektimi	
1.6.2c Karakteristikat e sistemit izolues	
1.6.2d Veprimi sizmik	
1.6.2e Analiza strukturore	
1.6.3 Eurokodi për urat e izoluara në bazë	
1.6.3a Kritere të përgjithshme	
1.6.3b Kritere projektimi të sistemit izolues	

1.6.3c	Karakteristikat e sistemeve izolues	34
1.6.3d	Veprimi sizmik	34
1.6.3e	Analiza strukturore	35

2.1 Analiza Analitike e Izolatorëve me Gomë të Armuar	
2.1.1 Ngurtësia në shtypje e izolatorit me armaturë rigjide dhe gomë të pangjeshshme	40
2.1.2 Sforcimet për shkak të shtypjes	47
2.1.3 Ngurtësia në shtypje e izolatorit me armaturë fleksibël dhe gomë të pangjeshshme	50
2.1.4 Ngurtësia në shtypje e izolatorit me armaturë fleksibël dhe gomë të ngjeshshme	53
2.2 Analiza Numerike e Izolatorëve me Gomë të Armuar	57
2.2.1 Materialet, modelimi dhe parametrat fiziko – mekanike	58
2.2.2 Analizat e kryera	61
2.2.3 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre	61

ANALIZA DINAMIKE DHE SIZMIKE E NDËRTESAVE TË IZOLUARA NË BAZË	68
3.1 Bazat Teorike të Analizës Sizmike të Ndërtesave të Izoluara	68
3.1.1 Teoria lineare e sistemit me dy shkallë lirie	68
3.1.2 Teoria lineare e sistemit me shumë shkallë lirie	
3.2 Reagimi Sizmik i Strukturave Inelastike me Bazë Fikse dhe me Bazë të Izoluar	77
3.2.1 Marrëdhënia midis duktilitetit dhe rezistencës	77
3.2.2 Duktiliteti i pranuar (lejuar) dhe duktiliteti i kërkuar	79
3.2.3 Reagimi i ndërtesave shumë katëshe, duktiliteti i kateve	81
3.2.4 Strukturat e ndërtesave shumë katëshe me kat të dobët dhe të butë	85
3.2.5 Izolimi sizmik i strukturave të ndërtesave shumë katëshe	88
3.3 Analiza e Efektit të Izolimit Sizmik në Ndërtesa Betonarme me Kat të Dobët e të Butë	96
3.3.1 Të dhënat gjeometrike të strukturave	96
3.3.3 Ngarkesat e aplikuara	98
3.3.4 Modelimi i strukturës	98
3.3.5 Llogaritja e parametrave të izolatorëve për strukturat e analizuara	100
3.3.6 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre	101
3.3.6a Parametrat dinamikë	101
3.3.6b Rezultate të reagimit sizmik	103
3.4 Analiza e Efektit të Izolimit Sizmik në Ndërtesa Betonarme të Tipeve të Ndryshme	110

3.4.1 Të dhënat gjeometrike të strukturave	
3.4.2 Ngarkesat e aplikuara	
3.4.3 Modelimi i strukturës	
3.4.5 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre	
3.4.5a Parametrat dinamikë	
3.4.5b Rezultate të reagimit sizmik	
3.5 Analiza e Efektit të Pozicionit të Sistemit Izolues në Ndërtesa Betonarme	
3.5.1 Të dhënat gjeometrike të strukturave	
3.5.2 Ngarkesat e aplikuara	
3.5.3 Modelimi i strukturës	
3.5.4 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre	
3.5.4a Parametrat dinamikë	
3.5.4b Rezultate të reagimit sizmik	
3.6 Aplikimi i Izolimit në Bazë në Objekt Ekzistues	
3.6.1 Përshkrim i përgjithshëm i strukturës së ish – "Markatos Qendrore", Berat	
3.6.2 Skemat llogaritëse dhe ngarkesat e aplikuara	
3.6.3 Të dhënat e strukturave për modelet e analizuara	
3.6.4 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre	

ANALIZA DINAMIKE DHE SIZMIKE E URAVE TË IZOLUARA NË BAZË	159
4.1 Bazat Teorike të Analizës Lineare Sizmike të Urave të Izoluara	159
4.2 Analiza Dinamike dhe Sizmike e Urave të Izoluara në Bazë	162
4.2.1 Të dhënat gjeometrike të strukturave	
4.2.2 Ngarkesat e aplikuara	163
4.2.3 Modelimi i strukturës	
4.2.4 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre	166
4.2.4a Parametrat dinamikë	166
4.2.4b Rezultate të reagimit sizmik	166
4.3 Ndikimi i Pozicionit të Izolatorëve në Reagimin Sizmik të Urave	175
4.3.1 Pozicionet e analizuara të izolatorëve sizmikë në ura	177
4.3.2 Të dhënat gjeometrike të strukturave	179
4.3.3 Ngarkesat e aplikuara	
4.3.4 Modelimi i strukturës	180
4.3.5 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre	

4.3.5a Parametrat dinamikë	181
4.3.5b Rezultate të reagimit sizmik	182
4.4 Analiza e Aplikimit të Izolimit në Bazë për urën "BELINA", Fier	186
4.4.1 Përshkrim i përgjithshëm i strukturës së urës "BELINA"	186
4.4.2 Skemat llogaritëse dhe ngarkesat e aplikuara	188
4.4.3 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre	191
4.4.3a Parametrat dinamikë	191
4.4.3b Rezultate të zhvendosjeve dhe forcave	193

PERFUNDIME DHE REKOMANDIME	15
5.1 Përfundime	15
5.1.1 Përfundimet e nxjerra prej analizës së izolatorëve sizmikë me gomë të armuar	15
5.1.2 Përfundimet e nxjerra prej analizës dinamike dhe sizmike të ndërtesave të izoluara në bazë 19	6
5.1.2 Përfundimet e nxjerra prej analizës dinamike dhe sizmike të urave të izoluara në bazë 19	18
5.2 Rekomandime	)0

# LISTA E FIGURAVE

Figura 1. 1: Model i strukturës së zakonshme me një shkallë lirie	13
Figura 1. 2: Modeli i strukturës me një shkallë lirie me element shuarës pasiv	14
Figura 1. 3: a) Izolimi sizmik i një ndërtese; b) Izolimi sizmik i një ure	15
Figura 1. 4: Transmetimi i lëkundjeve të bazamentit	16
Figura 1. 5: Nxitimi dhe zhvendosjet e strukturës	17
Figura 1. 6: Reagimi i një ure me bazë fikse ose me bazë të izoluar	17
Figura 1. 7: Reagimi i një ndërtese me bazë fikse ose me bazë të izoluar	18
Figura 1. 8: El Centro 1940: a) Spektri i reagimit të nxitimit; b) Spektri i reagimit të zhvendosjes	18
Figura 1. 9: Kurba e idealizuar histerezis force – zhvendosje e një izolatori bilinear	19
Figura 1. 10: Izolatorët e përdorur në Shkollën Pestalozzi, Shkup, Maqedoni	19
Figura 1. 11: Izolator gome me shuarje të ulët	20
Figura 1. 12: Izolatorë gome me bërthamë plumbi	21
Figura 1. 13: Sjellja histeretike për sisteme të ndryshëm izolues (Ballantyne 2002)	22
Figura 1. 14: Raste të ndryshme të aplikimit të izolimit sizmik në bazë të strukturave	23
Figura 1. 15: Tërmeti Mexico City 1985; Spektri i reagimit të nxitimit	24
Figura 1. 16: Pozicioni më i përdorshëm i izolatorëve në ura	26
Figura 1. 17: Përafrimi bilinear i sjelljes histeretike force – zhvendosje	33
Figura 1. 18: Spektri i nxitimit dhe i zhvendosjeve	36
Figura 1. 19: Ngurtësia e plotë e sistemit pilë – izolator	37

Figura 3. 1: Parametrat e një sistemi të izoluar me dy shkallë lirie	68
Figura 3. 2: Parametrat e sistemit të izoluar me shumë shkallë lirie	74
Figura 3. 3: Diagrama inelastike jolineare forcë - deformim e elementëve strukturorë	77
Figura 3. 4: Diagrama elasto-plastike forcë-zhvendosje e elementëve strukturorë	77
Figura 3. 5: Diagrama forcë-zhvendosje e strukturës: a) reagim elastik, b) reagim elasto-plastik	78

Figura 3. 6: Diagrama forcë - zhvendosje e strukturave për dy situatat e reagimit	78
Figura 3. 7: Spektri i reagimit të pseudo nxitimit dhe të zhvendosjeve të tërmetit El Centro për dy n	nivele
të duktiliteti, $\mu_p = 1$ dhe $\mu_p = 4$ (shuarje 5%)	79
Figura 3. 8: Deformimi maksimal i pranuar dhe i kërkuar për dy sistemet, $\mu_p=1$ dhe $\mu_p=4$	80
Figura 3. 9: Modeli elastik linear i ramës	81
Figura 3. 10: Modeli elasto-plastik (jolinear) i ramës	82
Figura 3. 11: Diagrama elasto-plastike midis forcës prerëse dhe deformimit të katit	82
<b>Figura 3. 12:</b> Zhvendosja maksimale në kate në strukturën TIP 1: <b>a</b> ) për $\mu_p=1$ , <b>b</b> ) për $\mu_p=4$	84
<b>Figura 3. 13:</b> Duktiliteti i kërkuar në strukturën TIP 1: <b>a</b> ) për $\mu_p=1$ , <b>b</b> ) për $\mu_p=4$	84
<b>Figura 3. 14:</b> Zhvendosja maksimale në kate në strukturën TIP 2: <b>a</b> ) për $\mu_p=1$ , <b>b</b> ) për $\mu_p=4$	87
<b>Figura 3. 15:</b> Duktiliteti i kërkuar në strukturën TIP 2: <b>a</b> ) për $\mu_p=1$ , <b>b</b> ) për $\mu_p=4$	87
Figura 3. 16: Skema e idealizuar e ramës 5 katëshe të izoluar në bazë	88
Figura 3. 17: Modeli elasto-plastik (jolinear) i ramës së izoluar në bazë	89
Figura 3. 18: Diagrama jolineare e elementëve: a) Diagrama elasto-plastike midis forcës prerëse dh	ie
deformimit të katit, b) Diagrama bilineare e izolatorit	89
Figura 3. 19: Tre format e para të lëkundjeve të strukturës TIP 2	94
Figura 3. 20: Tre format e para të lëkundjeve të strukturës TIP 2 BI	94
Figura 3. 21: Duktiliteti i kërkuar i kateve të strukturave të paizoluara (TIP 1 dhe TIP 2) me duktilit	tet të
pranuar $\mu_p = 1$ dhe i strukturave të reja të izoluara në bazë (TIP 1a, TIP 2a dhe TIP 2b)	95
Figura 3. 22: Duktiliteti i kërkuar i kateve të strukturave ekzistuese (TIP 1 dhe TIP 2) të projektuara	a me
duktilitet $\mu_p = 4$ dhe duktiliteti i kërkuar pas izolimit sizmik të tyre (TIP 1 BI dhe TIP 2 BI)	96
Figura 3. 23: Prerja dhe pozicioni i sistemit izolues: a) Strukturë fikse SF, b) Strukturë e izoluar në	bazë
SIB, c) Strukturë e izoluar në përdhe SIP	97
Figura 3. 24: Plani i katit përdhe dhe izolatorët e strukturës BOKS për të tre modelet	97
Figura 3. 25: Akselerograma - El Centro e modifikuar për truall me PGA = 0.25g	98
Figura 3. 26: Parametrat bazë të një kurbe histerezis të izolatorit bilinear	98
Figura 3. 27: Tre Format e para të lëkundjeve të tre modeleve të strukturës BOKS	102
Figura 3. 28: Pozicioni i nyjeve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike	103
Figura 3. 29: Pozicioni i elementëve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike	104
Figura 3. 30: Pozicioni i mureve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike	104
Figura 3. 31: Reagimi në kohë i nxitimeve: a) për pikën 1'; b) për pikën 5	106
Figura 3. 32: Reagimi në kohë i zhvendosjeve sipas drejtimit X: a) për pikën 1'; b) për pikën 5	107
Figura 3. 33: Zhvendosja relative sipas drejtimit X e pikës 5 në lidhje me pikën 1'	107
Figura 3. 34: Reagimi në kohë i forcave prerëse në kollona sipas drejtimit X: a) forca prerëse në	
elementin EL - 1; b) forca prerëse në elementin EL - 2	107
Figura 3. 35: Reagimi në kohë i forcës prerëse në bazë sipas drejtimit X	108
Figura 3. 36: Sjellja histeretike e izolatorëve sipas drejtimit X: a) 1 (akset A-1), b) 3 (akset B-2)	108
Figura 3. 37: Plani, Prerja dhe izolatorët e strukturës RAME: a) sistem fiks SF, b) sistem i izoluar	në
bazë SIB	111
Figura 3. 38: Plani, Prerja dhe izolatorët e strukturës MIKSE: a) sistem fiks SF, b) sistem i izoluar	r në
bazë SIB	112
Figura 3. 39: Plani, Prerja dhe izolatorët e strukturës BOKS: a) sistem fiks SF, b) sistem i izoluar n	në
bazë SIB	113
Figura 3. 40: Akselerograma - El Centro e modifikuar për truall me PGA = 0.25g	114
Figura 3. 41: Kurba histerezis për katër tipet e izolatorëve	115
Figura 3. 42: Tre Format e para të lëkundjeve të strukturës RAME	117
Figura 3. 43: Tre Format e para të lëkundjeve të strukturës MIKSE	118
Figura 3. 44: Tre Format e para të lëkundjeve të strukturës BOKS	119

Figura 3. 45: Raporti i periodave midis strukturës së izoluar (SIB) dhe asaj të paizoluar (SF)	120
Figura 3. 46: Pozicioni i nyjeve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike	122
Figura 3. 47: Pozicioni i elementëve të përzgjedhur për prezantimin e reagimeve sizmike	122
Figura 3. 48: Pozicioni i mureve të përzgjedhur për prezantimin e reagimeve sizmike	123
Figura 3. 49: Raporti i nxitimeve midis strukturës së izoluar (SIB) dhe asaj të paizoluar (SF); a) në	
drejtimin X, <b>b</b> ) në drejtimin Y	127
Figura 3. 50: Raporti i zhvendosjeve midis strukturës së izoluar (SIB) dhe asaj të paizoluar (SF); a) në	ë
drejtimin X, <b>b</b> ) në drejtimin Y	127
Figura 3. 51: Raporti i deformimeve të kateve midis strukturës së izoluar (SIB) dhe asaj të paizoluar	
(SF); a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y	128
Figura 3. 52: Raporti i forcave prerëse në kollonë midis strukturës së izoluar (SIB) dhe asaj të paizolu	ıar
(SF); a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y	128
Figura 3. 53: Raporti i momenteve përkulës në trarë midis strukturës së izoluar (SIB) dhe asaj të	
paizoluar (SF); a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y	128
Figura 3. 54: Raporti i forcave prerëse në bazë midis strukturës së izoluar (SIB) dhe asaj të paizoluar	
(SF); a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y	129
Figura 3. 55: Raporti i sforcimeve në murin betonarme midis strukturës së izoluar (SIB) dhe asaj të	
paizoluar (SF); a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y	129
Figura 3. 56: Sjellja histeretike e izolatorëve të të tre tipeve struktural, sipas drejtimit X; a) izolatorët	
IZ-1 (aksi A-1), b) izolatorët IZ-3 (aksi B-2)	129
Figura 3. 57: Reagimi në kohë i nxitimeve: a) për pikën 0; b) për pikën 5	130
Figura 3. 58: Reagimi në kohë i zhvendosjeve sipas drejtimit X: a) për pikën 1; b) për pikën 5	130
Figura 3. 59: Zhvendosja relative e pikës 5 në lidhje me pikën 1, sipas drejtimit X	130
Figura 3. 60: Reagimi në kohë i forcave prerëse në kollona sipas drejtimit X: a) forca prerëse në	
elementin EL - 1; b) forca prerëse në elementin EL - 2	131
Figura 3. 61: Reagimi në kohë i forcës prerëse në bazë sipas drejtimit X	131
Figura 3. 62: Sjellja histeretike e izolatorëve 1 (aksi A-1) dhe 3 (aksi B-2) sipas drejtimit X	131
Figura 3. 63: Prerja dhe pozicioni i sistemit izolues: a) Strukturë me bazë fikse (SF), b) Strukturë e	
izoluar në bazë (SIB), c) Strukturë e izoluar në mes (SIM)	134
Figura 3. 64: Plani dhe izolatorët e strukturës: a) izolatorët e Modelit 2, b) izolatorët e Modelit 3	135
<b>Figura 3. 65:</b> Akselerograma El Centro e modifikuar për truall me PGA = 0.25g	136
Figura 3. 66: Tre Format e para të lëkundjeve të tre modeleve të strukturës BOKS	139
Figura 3. 67: Pozicioni i nyjeve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike	140
Figura 3. 68: Pozicioni i elementëve të përzgjedhur për prezantimin e reagimeve sizmike	141
Figura 3. 69: Pozicioni i mureve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike	141
Figura 3. 70: Reagimi në kohë i nxitimeve: a) për pikën 1'; b) për pikën 5	144
Figura 3. 71: Reagimi në kohë i nxitimeve: a) për pikën 5'; b) për pikën 10	144
Figura 3. 72: Reagimi në kohë i zhvendosjeve sipas drejtimit X: a) për pikën 1'; b) për pikën 5	144
Figura 3. 73: Reagimi në kohë i zhvendosjeve sipas drejtimit X: a) për pikën 5'; b) për pikën 10	145
Figura 3. 74: Zhvendosja relative sipas drejtimit X: a) midis pikës 5 dhe 1'; b) midis pikës 5' dhe 10	145
Figura 3. 75: Reagimi në kohë i forcave prerëse në kollona sipas drejtimit X: a) forca prerëse në	
elementin EL - 1; b) forca prerëse në elementin EL - 2	145
Figura 3. 76: Reagimi në kohë i forcës prerëse në bazë sipas drejtimit X	145
Figura 3. 77: Sjellja histeretike e izolatorëve sipas drejtimit X: a) 1(5) (akset A-1), b) 3(7) (akset B-2)	)
	146
Figura 3. 78: Pamja, prerja dhe planet e ish- "Markatos Qendrore", Berat	148
Figura 3. 79: Strukturat e objektit ekzistues	150
Figura 3. 80: Strukturat e objektit me gjysëm - kati shtesë	151

Figura 3. 81: Strukturat e objektit të përforcuar me mure betonarme	152
Figura 3. 82: Struktura e objektit me izolim sizmik	153
Figura 3. 83: Plani vendosjes së izolatorëve sipas tipeve	153
Figura 3. 84: Pozicioni i nyjeve të përzgjedhura dhe emërtimi i elementeve për prezantimin e rea	gimeve
sizmike; a) rasti pa izolim sizmik (Modelet 1, 2 dhe 3), b) rasti me izolim sizmik (Modeli 4)	154
Figura 3. 85: Paraqitje skematike e formave të deformimit të strukturave prej veprimit sizmik	157

Figura 4. 1: Skema e idealizuar e urës së izoluar
<b>Figura 4. 2:</b> Perioda e parë modale strukturore, $T_1$ dhe perioda e dytë $T_2$ , si funksion i raportit $k_2 / k_1 (m_1$
= 70 ton, $m_2 = 18$ ton dhe $k_1 = 28020$ kN/m)
Figura 4. 3: Format e lëkundjeve; a) forma e parë, b) forma e dytë
Figura 4. 4: Zbërthimi modal i forcave efektive të tërmetit dhe reagimi statik modal në bazë; a) forma e
parë, <b>b</b> ) forma e dytë
Figura 4. 5: a) Skema gjatësore e strukturës, b) Skema tërthore e mbistrukturës 163
Figura 4. 6: Akselerogramat e tre tërmeteve të aplikuara; a) El Centro, b) Ulcinj, c) Parkfield 164
Figura 4. 7: Pozicionet e përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike; a) emërtimet e nyjeve, b)
emërtimet e elementëve
Figura 4. 8: Diagrama e izolatorëve bilinear
Figura 4. 9: a) Format e lëkundjes së modelit të paizoluar, b) Format e lëkundjes së modeleve të izoluar
Figura 4. 10: Reagimi në kohë i zhvendosjeve: a) zhvendosjet në X prej El Centro; b) zhvendosjet në X
prej Ulcinj; c) zhvendosjet në Y prej El Centro; d) zhvendosjet në Y prej Ulcinj 168
Figura 4. 11: Reagimi në kohë i nxitimeve: a) nxitimet në X prej El Centro; b) nxitimet në X prej Ulcinj;
c) nxitimet në Y prej El Centro; d) nxitimet në Y prej Ulcinj
Figura 4. 12: Reagimi në kohë i forcave prerëse në bazë: a) forca prerëse e bazës në X prej El Centro; b)
forca prerëse e bazës në X prej Ulcinj; c) forca prerëse e bazës në Y prej El Centro; d) forca prerëse e
bazës në Y prej Ulcinj
Figura 4. 13: Reagimi në kohë i forcave prerëse në kollona sipas drejtimit X: a) forca prerëse në
kollonën e shkurtër prej El Centro; b) forca prerëse në kollonën e shkurtër prej Ulcinj; c) forca prerëse
në kollonën e gjatë prej El Centro; d) forca prerëse në kollonën e gjatë prej Ulcinj 169
Figura 4. 14: Reagimi në kohë i forcave prerëse në kollona sipas drejtimit Y: a) forca prerëse në
kollonën e shkurtër prej El Centro; b) forca prerëse në kollonën e shkurtër prej Ulcinj; c) forca prerëse
në kollonën e gjatë prej El Centro; d) forca prerëse në kollonën e gjatë prej Ulcinj 170
Figura 4. 15: Emërtimi i izolatorëve të studiuar dhe nyjeve të tyre
Figura 4. 16: Reagimi i izolatorit të kollonës së shkurtër, Link 1; a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y171
Figura 4. 17: Reagimi i izolatorit të kollonës së gjatë, Link 2; a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y 172
Figura 4. 18: Krahasimi i reagimit të izolatorit të kollonës së shkurtër, Link 1 dhe kollonës së gjatë, Link
2; <b>a</b> ) në drejtimin X, <b>b</b> ) në drejtimin Y 172
<b>Figura 4. 19:</b> Deformimi në fushën kohore i izolatorëve Link 1 dhe Link 2; <b>a</b> ) sipas drejtimit X, <b>b</b> ) sipas
drejtimit Y
<b>Figura 4. 20:</b> Forcat prerëse në fushën kohore të izolatorëve Link 1 dhe Link 2; <b>a</b> ) sipas drejtimit X, <b>b</b> )
sipas drejtimit Y
<b>Figura 4. 21:</b> Zhvendosjet e nyjeve të izolatorëve si dhe deformimi i tyre sipas drejtimin X; <b>a</b> ) izolatori
në kollonën e shkurtër, Link 1, b) izolatori në kollonën e gjatë, Link 2 173
<b>Figura 4. 22:</b> Krahasimi i zhvendosjes së nyjeve të izolatorit sipas drejtimit X; <b>a</b> ) izolatori në kollonën e
shkurtër, Link 1, <b>b</b> ) izolatori në kollonën e gjatë, Link 2 174

Figura 4. 23: Krahasimi i reagimit të izolatorit të kollonës së shkurtër, Link 1; a) sipas drejtimit X, b)
sipas drejtimit Y 174
Figura 4. 24: Krahasimi i reagimit të izolatorit të kollonës së gjatë, Link 2; a) sipas drejtimit X, b) sipas
drejtimit Y 174
Figura 4. 25: Modelet statike për studimin e izolatorëve
Figura 4. 26: Modelet dinamike të strukturës me pozicion të ndryshëm të izolatorëve 176
Figura 4. 27: Pozicioni i izolatorëve; a) në krye të pilave, b) në fund të pilave, c) pranë mesit të pilave
Figura 4. 28: Skema gjatësore e strukturës
Figura 4. 29: Skema tërthore e mbistrukturës 179
Figura 4. 30: Diagrama e izolatorëve bilinear 179
Figura 4. 31: Akselerograma e tërmetit El Centro 180
Figura 4. 32: Pozicionet e përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike; a) emërtimet e nyjeve, b)
emërtimet e elementëve 180
Figura 4. 33: Paraqitje skematike e deformimit të pilave për të tre modelet 181
Figura 4. 34: Tre format e para të lëkundjeve për Modelin 3 182
Figura 4. 35: Diagrama e momenteve përkulëse 183
Figura 4. 36: Reagimi në kohë i zhvendosjeve: a) zhvendosjet në X prej El Centro, b) zhvendosjet në Y
prej El Centro
<b>Figura 4. 37:</b> Forca prerëse në pila: <b>a</b> ) forca prerëse në pilën e shkurtër, sipas X; <b>b</b> ) forca prerëse në pilën e shkurtër, sipas Y; <b>c</b> ) forca prerëse në pilën e gjatë, sipas X; <b>d</b> ) forca prerëse në pilën e gjatë, sipas Y 184
Figura 4. 38: Momentet përkulëse në pila: a) momenti përkulës në pilat e shkurtra, sipas X; b) momenti
përkulës në pilat e shkurtra, sipas Y; c) momenti përkulës në pilat e gjata, sipas X; d) momenti përkulës
në pilat e gjata, sipas Y
Figura 4. 39: Ura "BELINA" mbi lumin Seman, Fier; a) Pamje, b) Elementët përbërës
Figura 4. 40: Elementet strukturalë të urës "BELINA": a) profili gjatësor, b) prerje tërthore në ballna
dhe në pila
Figura 4. 41: Detaje të Modelit të Ngarkimit LM - 1 189
Figura 4. 42: Skema e analizës në hapësirë e urës 190
Figura 4. 43: Format e lëkundjes; a) modeli i paizoluar, b) modeli i izoluar 192
Figura 4. 44: Pozicioni dhe emërtimet e nyjeve dhe të elementëve të studiuar 193

# LISTA E TABELAVE

<b>Tabela 1. 1:</b> Nxitimi spektral S <sub>e</sub> dhe zhvendosja e projektimit $d_{dc}$ 3030	6
--	---

Tabela 2. 1: Të dhënat e materialeve të përdorura në analiza	59
Tabela 2. 2: Faktorët e formës për analizat e kryera	62
Tabela 2. 3: Ngurtësia horizontale e izolatorëve	62
Tabela 2. 4: Ngurtësia vertikale e izolatorëve	63

Tabela 3. 1: Rezultatet e reagimit elastik linear të ramës 5 katëshe	82
<b>Tabela 3. 2:</b> Rezultatet e analizave të strukturës TIP 1, për $\mu_p = 1$	83
<b>Tabela 3. 3:</b> Rezultatet e analizave të strukturës TIP 1, për $\mu_p = 4$	83
<b>Tabela 3. 4:</b> Rezultatet e analizave të strukturës TIP 2, për $\mu_p$ =1	86
<b>Tabela 3. 5:</b> Rezultatet e analizave të strukturës TIP 2, për $\mu_p$ =4	86
Tabela 3. 6: Rezultatet e reagimit elastik të ramës 5 katëshe me bazë të izoluar	89
<b>Tabela 3. 7:</b> Rezultatet e analizave të strukturës TIP 1a, për $\mu_p = 1$	91
Tabela 3. 8: Raporti i rezistencave të rrjedhshmërisë midis strukturës TIP 1a dhe TIP 1	91
<b>Tabela 3. 9:</b> Rezultatet e analizave të strukturës TIP 2a, për $\mu_p = 1$	91
<b>Tabela 3. 10</b> : Rezultatet e analizave të strukturës TIP 2b, për $\mu_p = 1$	92
Tabela 3. 11: Rezultatet e analizave të strukturës TIP 1 BI	93
Tabela 3. 12: Rezultatet e analizave të strukturës TIP 2 BI	93
Tabela 3. 13: Forcat vertikale në izolatorë	100
Tabela 3. 14: Parametrat e izolatorëve të strukturës për të dy modelet e strukturave të izoluara	100
Tabela 3. 15: Periodat e lëkundjeve të tre modeleve të strukturës Tip BOKS	101
Tabela 3. 16: Rezultate të nxitimeve (m/s <sup>2</sup> ) të strukturës Tip BOKS	105
Tabela 3. 17: Rezultate të zhvendosjeve të kateve (cm) të strukturës Tip BOKS	105
Tabela 3. 18: Rezultate të deformimeve (Drifte) të kateve (cm) të strukturës Tip BOKS	105
Tabela 3. 19: Rezultate të Reagimit të Forcave të strukturës Tip BOKS	106
Tabela 3. 20: Forcat vertikale në izolatorë	114
Tabela 3. 21: Parametrat e Izolatorëve të Strukturës për të tre tipet e strukturave të izoluara	115
Tabela 3. 22: Periodat e lëkundjeve të strukturës tip RAME	116
Tabela 3. 23: Periodat e lëkundjeve të strukturës tip MIKSE	116
Tabela 3. 24: Periodat e lëkundjeve të strukturës tip BOKS	116
Tabela 3. 25: Raportet e periodave midis strukturave të izoluara kundrejt atyre të paizoluara	120
Tabela 3. 26: Rezultate të Reagimit Kinematik të Strukturës Tip RAME	123
Tabela 3. 27: Rezultate të zhvendosjeve të kateve (cm) të Strukturës Tip RAME	123
Tabela 3. 28: Rezultate të deformimeve (Drifte) të kateve (cm) të Strukturës Tip RAME	124
Tabela 3. 29: Rezultate të Reagimit të Forcave të Strukturës Tip RAME	124
Tabela 3. 30: Rezultate te nxitimeve (m/s <sup>2</sup> ) të Strukturës Tip MIKSE	124
Tabela 3. 31: Rezultate të zhvendosjeve të kateve (cm) të Strukturës Tip MIKSE	125
Tabela 3. 32: Rezultate të deformimeve (Drifte) të kateve (cm) të Strukturës Tip MIKSE	125
Tabela 3. 33: Rezultate të Reagimit të Forcave të Strukturës Tip MIKSE	125
Tabela 3. 34: Rezultate të nxitimeve (m/s <sup>2</sup> ) të Strukturës Tip BOKS	126
Tabela 3. 35: Rezultate të zhvendosjeve të kateve (cm) të Strukturës Tip BOKS	126

Tabela 3. 36: Rezultate të deformimeve (Drifte) të kateve (cm) të Strukturës Tip BOKS	126
Tabela 3. 37: Rezultate të Reagimit të Forcave të Strukturës Tip BOKS	127
Tabela 3. 38: Forcat vertikale në izolatorët e Modelit 3	136
Tabela 3. 39: Forcat vertikale në izolatorët e Modelit 2	136
Tabela 3. 40: Parametrat e izolatorëve të strukturës Model 2	137
Tabela 3. 41: Parametrat e izolatorëve të strukturës Model 3	137
Tabela 3. 42: Periodat e lëkundjeve të tre modeleve të strukturës 10 Kate, Tip BOKS	138
<b>Tabela 3. 43:</b> Rezultate të nxitimeve (m/s <sup>2</sup> ) të strukturës 10 Kate, Tip BOKS	142
Tabela 3. 44: Rezultate të zhvendosjeve të kateve (cm) të strukturës 10 Kate, Tip BOKS	142
Tabela 3. 45: Rezultate të deformimeve (Drifte) të kateve (cm) të strukturës 10 Kate, Tip BOKS	143
Tabela 3. 46:      Rezultate të reagimit të forcave të strukturës 10 Kate, Tip BOKS	143
Tabela 3. 47: Karakteristikat e izolatorëve	154
Tabela 3. 48: Rezultatet e reagimit sizmik të Modelit 1	154
Tabela 3. 49: Rezultatet e reagimit sizmik të Modelit 2	155
Tabela 3. 50: Rezultatet e reagimit sizmik të Modelit 3	155
Tabela 3. 51: Rezultatet e reagimit sizmik të Modelit 4	156

Tabela 4. 1: Karakteristikat e izolatorëve të strukturës Model 2	
Tabela 4. 2: Karakteristikat e izolatorëve të strukturës Model 3	
Tabela 4. 3: Periodat e lëkundjeve të strukturës	
Tabela 4. 4: Rezultate të reagimit sizmik të strukturës	
Tabela 4. 5: Karakteristikat e izolatorëve	
Tabela 4. 6: Periodat e lëkundjeve të strukturës	
Tabela 4. 7: Reagimi i strukturës sipas drejtimit "x"	
Tabela 4. 8: Reagimi i strukturës sipas drejtimit "y"	
Tabela 4. 9: Vlerat e Modelit të Ngarkimit LM - 1	
Tabela 4. 10: Karakteristikat e izolatorëve	
Tabela 4. 11: Periodat e lëkundjeve të strukturës	
Tabela 4. 12: Rezultate të zhvendosjeve prej kombinimit të veçantë	
Tabela 4. 13: Rezultate të forcave prej kombinimit të veçantë	
1 0 3	

# I. PËRMBLEDHJE

Teknika e izolimit në bazë është zhvilluar si një përpjekje për të reduktuar efektet në ndërtesa dhe elementët e tyre strukturorë gjatë veprimeve sizmike, dhe është provuar të jetë një nga metodat më efektive për një gamë të gjerë të problemeve të veprimit sizmik në struktura. Strukturat e izoluara kanë aftësinë të reduktojnë në mënyrë të konsiderueshme kërkesat e tyre për duktilitet, krahasuar me strukturat e paizoluara. Ky fakt thjeshton shumë detajimet e strukturës dhe konsiderata të tjera sizmike të kërkuara nga kodet. Kështu, për projektuesin ofrohen mundësi të shumta të zgjedhjeve arkitektonike dhe materialeve ndërtimore.

Në dekadat e fundit, izolimi në bazë është bërë një nga teknikat më të pranuara për mbrojtjen sizmike të ndërtesave. Nga ana tjetër, izolimi sizmik është konsideruar gjerësisht si një metodë eficiente për strukturat problematike, të cilat karakterizohen nga kërkesa të veçanta sizmike, të tilla si ndërtesat me kat të dobët dhe të butë. Izolimi sizmik përdoret edhe në rehabilitimin e ndërtesave ekzistuese dhe përforcimin e strukturave të dobëta.

Qëllimi kryesor i këtij punimi është përcaktimi i ndikimit që kanë sistemet izoluese prej gome të armuar në reagimin sizmik të strukturave të tipeve të ndryshme. Pasi trajtohen bazat teorike të analizave, bëhet aplikimi i tyre në struktura betoni të armuar për ndërtesa dhe ura. Meqënëse gjatë veprimit të tërmeteve, strukturat pranohen të kalojnë në fazën plastike, analizat janë kryer jo vetëm sipas metodës lineare, por edhe sipas metodës jolineare me qëllim që të analizohet më mirë ndikimi i izolimit sizmik në reagimin elasto - plastik të strukturës. Gjatë analizave shpesh është trajtuar efekti i izolimit sizmik si në strukturat e reja ashtu edhe në ato ekzistuese.

Së pari, analizohet influenca e karakteristikave të materialeve të gomës së armuar, në ngurtësinë horizontale dhe vertikale në mënyrë që të projektohen izolatorë me kosto efektive.

Së dyti, kryhen analiza sizmike të ndërtesave të tipeve të ndryshme me bazë të izoluar dhe bëhet krahasimi i tyre me njëra - tjetrën dhe me strukturat me bazë fikse. Fillimisht do të analizohet ndërtesa me kat të dobët dhe të butë në kushtet e izolimit sizmik të tyre, duke tentuar përmirësimin deri në eleminim të defektit që këto ndërtesa paraqesin. Më tej, duke pasur parasysh faktin që reagimi dinamik dhe sizmik i strukturave varet jo vetëm nga veprimi i jashtëm nëpërmjet lëvizjeve të tokës, por edhe nga karakteristikat e vetë strukturës, të cilat në rastin e izolimit sizmik pësojnë modifikime të konsiderueshme, studiohet ndikimi që sjell izolimi sizmik në reagimin e përgjithshëm dhe në parametra të veçantë të strukturave të tipeve të ndryshme. Gjithashtu, duke menduar që pozicioni i sistemit izolues në strukturat e ndërtesës, studiohen pozicione të ndryshme të vendosjes së sistemit izolues në një ndërtesë shumë - katëshe.

Për të parë më konkretisht se si ndikon izolimi sizmik në ndërtesa, merret në studim një objekt ekzistues, ish- "Markato Qendrore", Berat, i cili krahasimisht kushteve aktuale të projektimit paraqitet me shumë mangësi strukturale.

Së treti, kryhen analiza sizmike të urave të izoluara sizmikisht në raste të ndryshme të përdorimit të izolatorëve, për izolatorë me karakteristika të njëjta për të gjithë urën si dhe përdorimi i izolatorëve me karakteristika të ndryshme. Me interes është parë edhe studimi i pozicionit të sistemit izolues përgjatë gjatësisë së pilës së urës. Për të konkretizuar studimin analizohet izolimi sizmik i një ure të projektuar për vendin tonë, ura "Belina", Fier.

Punimi përbëhet nga 5 kapituj në të cilët trajtohen:

Në *Kapitullin e Parë* jepet koncepti i izolimit sizmik në bazë dhe karakteristikat e përgjithshme të strukturave të izoluara. Përshkruhen tipet e sistemeve izolues prej gome të armuar.

Përshkruhet historiku i krijimit dhe aplikimeve të tyre në botë si dhe efektiviteti i përdorimit të tyre. Përveç kësaj, në këtë kapitull, paraqitet një përshkrim i Eurokodit për ndërtesat dhe urat e izoluara në bazë.

Në *Kapitullin e Dytë* analizohen parametrat e sistemit izolues me gomë të armuar. Parametrat kryesorë të izolatorëve janë ngurtësia e tyre vertikale dhe horizontale. Kryesisht ata karakterizohen nga ngurtësi e madhe vertikale, dhe ngurtësi e vogël horizontale. Në këtë kapitull janë bërë një sërë analizash për të arritur në një përfundim rreth materialeve që duhen përdorur dhe sasisë së tyre, në mënyrë që të projektohen izolatorë me kosto efektive.

Në *Kapitullin e Tretë* bëhet analiza dinamike dhe sizmike e ndërtesave të izoluara në bazë. Fillimisht përshkruhen bazat teorike të analizës sizmike të ndërtesave të izoluara me dy dhe shumë shkallë lirie. Në këtë kapitull trajtohet reagimi sizmik i strukturave inelastike me bazë fikse dhe të izoluar, me qëllimin e vlerësimit të duktilitetit të kërkuar kundrejt atij të pranuar, për ndërtesat shumë - katëshe. Bëhet analiza e efektit të izolimit sizmik në një ndërtesë 5 - katëshe betonarme me katin përdhe të butë. Gjithashtu analizohet efekti i izolimit sizmik në ndërtesa betonarme të tipeve të ndryshme, të tilla si ramë dhe sistem dual, miks ose boks. Në vazhdim trajtohet efekti i pozicionit të sistemit izolues në një ndërtesë 10 - katëshe betonarme. Në përfundim të këtij kapitulli analizohet mundësia e aplikimit të izolimit sizmik në një objekt ekzistues të ndërtuar në vendin tonë, rreth viteve 1970.

Në *Kapitullin e Katërt* bëhet analiza dinamike dhe sizmike e urave të izoluara në bazë. Ashtu si në kapitullin e mëparshëm, edhe këtu fillimisht jepen bazat teorike të analizës sizmike të urave të izoluara. Në vazhdim kryhet analiza dinamike dhe sizmike e modeleve të ndryshme të urave me bazë fikse dhe bazë të izoluar si dhe ndikimi i pozicionit të izolatorëve në reagimin e urës. Në përfundim paraqitet mundësia e aplikimit të izolimit në bazë për një urë të projektuar në vendin tonë.

Në *Kapitullin e Pestë* përmblidhen konkluzionet e punimit dhe jepen rekomandime për studime të mëtejshme.

- Përfundimet e nxjerra prej analizës së izolatorëve sizmikë me gomë të armuar

Moduli i elasticitetit të gomës  $(E_m)$  ka ndikim të madh si në ngurtësinë horizontale, ashtu dhe në ngurtësinë vertikale të izolatorit. Rekomandohet përdorimi i gomës me modul elasticiteti të madh (gomë e fortë).

Koeficienti i Puasonit të gomës ( $v_m$ ) nuk ka ndikim në ngurtësinë horizontale, por ka ndikim të madh në ngurtësinë vertikale të izolatorit. Rekomandohet përdorimi i gomës me koeficient Puasoni të madh v = 0.49999 (gomë e pangjeshshme).

Moduli i elasticitetit të fibrës ( $E_f$ ) thuajse nuk ka ndikim në ngurtësinë horizontale, por ndikon në ngurtësinë vertikale, por ndikimi është i vogël në krahasim me ndikimin që jep faktori i formës. Zëvendësimi i materialit të fibrës prej çeliku me material tjetër më të lirë, si fibra karboni apo E - glass është i pranueshëm. Trashësia e fibrës ( $E_f$ ) nuk ka ndikim as në ngurtësinë horizontale, as në ngurtësinë vertikale të izolatorit pavarësisht rritjes së faktorit të formës. Për të prodhuar izolatorë me kosto të ulët, duhen përdorur fibra të holla dhe të shtohet sasia e shtresave të armimit.

Me rritjen e faktorit të formës (*S*), ngurtësia horizontale e izolatorit nuk ndryshon, për të gjitha vlerat e parametrave të materialeve. Faktori i formës ka ndikimin më të madh në ngurtësinë vertikale, prandaj për të prodhuar izolatorë me kosto të ulët, duhet rritur faktori i formës.

#### - Përfundimet e nxjerra prej analizës dinamike dhe sizmike të ndërtesave të izoluara në bazë

Për strukturat të cilat paraqesin fenomenin e katit të butë, izolimi në bazë arrin të përmirësojë reagimin sizmik të saj deri në eleminimin e defektit.

Për strukturat e reja të izoluara në bazë, është i mundur projektimi i tyre për sjellje pranë kufirit elastik. Pra izolimi i ndërtesave të llogaritura deri në fazën lineare ( $\mu = 1$ ) përmirëson katet e para prej deformimeve plastike që kërkon të realizojë.

Nëse aplikojmë izolim në bazë për strukturat ekzistuese (të projektuara më parë) me kat të parë të dobët dhe të butë do të konstatojmë që duktiliteti i kërkuar i kateve do të përmirësohet ndjeshëm.

Izolimi sizmik përdoret me shumë efektivitet në përmirësimin e duktilitetit të kërkuar të kateve të strukturës nëse ajo projektohet me duktilitet të kërkuar të pamundur për t'u poseduar.

Sistemi i izolimit ndikon në rritjen e periodave të lëkundjeve, veçanërisht në periodat e para.

Nxitimet në nivelin e katit të parë zvogëlohen shumë herë për të gjitha tipet e strukturave, kurse nxitimet në nivelin e tarracës reduktohen më shumë për kalimin nga strukturat e shtangëta drejt atyre fleksible.

Prej studimit të efektit të pozicionit të sistemit izolues, konstatohet se nëse interesi i projektimit është reduktimi i nxitimeve të kateve të sipërm, atëherë këtij qëllimi do t'i shërbente më mirë izolimi në katet ndërmjetëse se sa izolimi në bazë.

Pozicioni i izolimit sizmik, në fund apo në krye të katit përdhe, nuk ndikon në madhësinë e zhvendosjeve të strukturës.

Efektiviteti i izolimit në bazë është më i madh në strukturat e shtangëta.

Përsa u përket deformimeve të strukturës për secilën formë të lëkundjeve, për tre format e para deformohet vetëm sistemi i izolimit, ndërkohë që mbistruktura lëviz si një trup gati rigjid.

Nxitimet e strukturave të izoluara kundrejt strukturës me bazë fikse janë shumë më të vogla.

Për strukturën e izoluar në katet e ndërmjetme, zhvendosjet në katet nën sistemin izolues janë disa herë më të vogla se zhvendosjet e strukturës me bazë fikse, ndërkohë që për katet mbi sistemin izolues janë thuajse të njëjta me zhvendosjet e kateve të strukturës së izoluar në bazë.

Forcat prerëse, momentet përkulës dhe sforcimet në muret betonarme reduktohen në mënyrë të ndjeshme prej aplikimit të izolimit sizmik.

Nëpërmjet spostimit të nivelit të izolimit drejt kateve të sipërm, ndryshojnë karakteristikat e nevojshme të izolatorëve që duhen përdorur (izolatorët nevojiten më të vegjël, dhe sigurisht me kosto më të ulët). Kjo tregon që duke konsideruar të gjithë faktorët, gjatë projektimit ka vend për të kërkuar optimizimin e përdorimit të izolimit sizmik edhe nga pikëpamja e përzgjedhjes së nivelit të izolimit.

Alternativa e izolimit sizmik të struktruave ekzistuese të ndërtuara në vendit tonë rreth viteve 1970 është shumë efektive. Me këtë metodë mund të eleminohen dhe ndërhyrjet në themelet ekzistuese. Konstatojmë se me reduktimin e forcave prerëse në bazë prej izolimit sizmik, nuk është nevoja që të përforcojmë elementët ekzistues, pasi ato janë në gjendje të përballojnë këto nivele të ulëta të forcave.

#### - Përfundimet e nxjerra prej analizës dinamike dhe sizmike të urave të izoluara në bazë

Me izolimin sizmik të urave nëpërmjet ndryshimit të ngurtësive të izolatorëve bëhet e mundur të arrihet një reagim sizmik i paracaktuar nga ne. Arrihet reduktim i madh i forcave prerëse në të gjitha kollonat, veçanërisht në kollonat e shkurtra. Me përdorimin e izolatorëve me karakteristika të ndryshme arrihet reduktim i mëtejshëm i raportit të forcave prerëse midis kollonave të gjata dhe të shkurtra. Nga krahasimi i reagimeve në drejtimin gjatësor kundrejt atij tërthor vihet re se ndikimi i izolimit është i ndryshëm. Prandaj rekomandohet që karakteristikat e izolatorëve të jenë të ndryshme midis drejtimeve horizontale.

Nga analiza e ndikimit të pozicionit të vendosjes së izolatorëve përgjatë gjatësisë së pilës, konstatohet se prej këtij pozicioni ndikohen një pjesë e parametrave të reagimit sizmik. Kjo tregon se megjithëse vendosja e izolatorëve në kokë të pilave është pozicioni më praktik, izolatorët mund të vendosen si në fund të pilave, ashtu edhe përgjatë gjatësisë së tyre në funksion të kërkesës dhe kushteve specifike të urës.

Në rastin e vendosjes së izolatorit pranë mesit të lartësisë së pilës, deformimet dhe forcat e elementëve strukturorë të pilës janë më të vogla krahasimisht rasteve të izolimit në krye apo në fund të saj.

Me anë të izolimit sizmik të urës bëhet e mundur edhe reduktimi i efektit të formës rrotulluese të lëkundjes vetjake të saj, duke përmirësuar reagimin sizmik të saj.

Nëpërmjet izolimit sizmik të urave që ndërtohen këto vite në vendin tonë arrihet reduktimi i deformimeve dhe forcave të brendshme të pilave si në drejtimin gjatësor ashtu dhe tërthor. Pra izolimi sizmik i këtyre urave do të ishte me përfitime të konsiderueshme.

## I. SUMMARY

Base isolation technique was developed as an attempt to reduce the effects on buildings and their structural elements during seismic events, and is becoming one of the most effective methods for a wide range of problems of structures under the seismic action. Isolated Structures have the ability to significantly reduce their ductility demand, compared with non isolated structures. This fact simplifies the structural details and other considerations required by seismic codes. Thus, the designer offers numerous opportunities to select the desired architecture and construction materials.

In recent decades, based isolation has become one of the most accepted techniques for seismic protection of buildings. On the other hand, seismic isolation is widely regarded as an efficient method for problematic structures, which are characterized by specific seismic requirements, such as buildings with weak and soft stories. Seismic Isolation is also used in the rehabilitation of existing buildings and strengthening of weak structures.

The purpose of this study is to determine the impact of reinforced elastomeric isolation systems to the seismic response of different types of structures. Once treated the theoretical formulation of analysis, then the application in reinforced concrete structures for buildings and bridges is made. As the structure is accepted to behave on plastic phase under the earthquake actions, the analysis are carried out not only by the linear method, but also by nonlinear methods in order to better analyze the impact of seismic isolation in elastic - plastic response of the structure. The analysis are often treated to study the effect of seismic isolation in new structures and in existing ones.

Firstly, is analyzed the influence of material parameters to the horizontal and vertical stiffness of reinforced elastomeric, in order to design a cost effective isolator.

Secondly, many analyses are performed to different types of based isolated buildings and the comparison between them and fixed - base structures are presented. With analyzing the behavior of buildings with weak and soft story in case of their seismic isolation, we tend to improve or almost to eliminate the defect that these buildings represent. Further, given the fact that the dynamic and seismic response of structures depends not only on external action through the movements of the earth, but also from the characteristics of the structure itself, which in the case of seismic isolation undergoes significant modifications, is studied the impact that brings seismic isolation overall response and specific parameters of structures of different types. Also, thinking that the position of isolation system of building structures will affect the response of the building, are studied various positions of isolation system in multi story buildings. To see more specifically the impact of isolation in buildings, is considered an existing building, the former "Central Market", Berat, Albania, which based on the actual seismic regulations it has many structural deficiencies.

Thirdly, seismic analysis of seismically isolated bridges in different cases are performed, for the case of using the isolators with the same characteristics for all bridge and the case of using the isolators with different characteristics on different piers. Some interest is put on the study of isolation system position along the height of the bridge piles. The "Belina" bridge, Fier, Albania, designed in our country is taken to concretize the study of the seismic isolation of a bridge.

The paper consists of five chapters in which are treated:

*The first chapter* gives the basic concept of seismic isolation and general characteristics of isolated structures. It describes the types of elastomeric isolators and the history of base isolation and their applications in the world and the effectiveness of their use. In addition, this chapter presents a description of the Eurocode for base isolated buildings and bridges. *The second chapter* analyzes the parameters of elastomeric isolation system. The main parameters of this isolators are their vertical and horizontal stiffness. Mostly they are characterized by high vertical stiffness and low horizontal stiffness. In this chapter is done a series of analyzes to arrive at a conclusion about the materials to be used and their quantity, so that the isolator is cost effective.

*In Chapter three* are studied the dynamic and seismic behavior of seismic isolated buildings. Firstly is described the theoretical formulations of analysis of two and multi degrees of freedom seismically isolated buildings. This chapter deals with the seismic response of inelastic structures in case of fixed base and base isolated, with the purpose of evaluating the ductility demand versus allowable ductility on multi stories buildings. The effect of seismic isolation to the five storey reinforced concrete building with soft ground floor is analyzed. The effect of seismic isolation to various types of reinforced concrete buildings is also analyzed, such as frame, dual, mix and boxing system. Further is studied the effect of isolation system position in a 10 - storey reinforced concrete building. At the end of this chapter is analyzed the applicability of seismic isolation in an existing object built in our country, around '70s.

*In the fourth chapter* are performed the dynamic and seismic analysis of isolated bridge structures. As in the previous chapter, we first summarize here the theoretical formulations of seismic isolated bridges. Following dynamic and seismic analysis of various models of fixed-base and base isolated bridges and the effect of the position of isolators in the response of the bridge. In conclusion is presented the possibility of application of isolators in a bridge designed in our country.

*In the fifth chapter* summarizes the conclusions of the research and recommendations for further studies.

#### - Conclusions of the analysis of seismic reinforced rubber bearings

Rubber elasticity module  $(E_m)$  has great influence to the horizontal and vertical stiffness of the isolator. Is recommended the use of rubber with great elasticity module (stiff rubber). Poisson ratio of rubber  $(v_m)$  has no effect on horizontal stiffness, but has a big impact on the vertical stiffness of the isolator. Is recommended the use of rubber with large Poisson ratio v=0.49999 (uncompressible).

Fiber elasticity module  $(E_f)$  has almost no effect on the horizontal stiffness, and a little effect to the vertical stiffness, but the impact is small compared to the impact of the shape factor. Replacing steel fiber material with other cheaper materials, as carbon fiber or E-glass is acceptable.

The thickness of the fiber  $(E_f)$  affects neither the horizontal nor the vertical stiffness of the

isolator despite increased shape factor. It is better to use thin fiber and increase the number of reinforcement layers, in order to produce the low cost isolators.

With the increase of the shape factor (S), the horizontal stiffness of the isolator does not change, for all values of the parameters of materials. Shape factor has the greatest impact in the vertical stiffness, so to produce low cost isolators, the shape factor should be increased.

#### - The conclusions of dynamic and seismic analysis of base isolated buildings

For structures that represent the soft story phenomenon, the seismic isolation manages to improve its response and is able to eliminate the defect.

For new based isolated structures, it is possible to design them to behave close to elastic range. So the isolation of buildings calculated in linear phase ( $\mu = 1$ ) improves the first floor to develop no plastic deformations.

If we apply base isolation on existing structures (previously designed) with first soft and weak story it will state that stories ductility demand will be significantly improved.

Seismic Isolation is used very effectively to improve the ductility demand of the structure if it designed with higher value ductility demand which in practice is impossible to achieve.

The isolation system increases the vibration periods, especially the first ones.

Accelerations at first floor level is reduced many times for all types of structures, and accelerations at the terrace are more reduced on stiffer structures then flexible ones.

From the study of the effect of the position of isolation system, we conclude that if the interest of the design is to reduce the acceleration of the upper floors, then that goal will serve to better apply the isolation in mid - floors than based floor.

Seismic isolation position, at the bottom or at the top of the ground floor, does not affect the displacement or accelerations of the structure.

The seismic isolation is more effective in case of stiffer structures.

As for the deformation of the structure for each mode shape, for the first three modes only the isolation system is deformed, while the superstructure moves as a rigid body.

Accelerations of isolated structures versus fixed - base structures are much smaller.

On the structure of the intermediate floors isolated, floors displacements below the isolation system are several times smaller than the displacement of fixed - base structure, while the displacement of the floors above the isolation system are almost the same with isolated structure at the base.

Shear forces, bending moments and stresses in reinforced concrete shear walls are significantly reduced by the application of seismic isolation.

By moving the level of isolation to the upper floors, the characteristics of isolators to be used are changed (smaller and cheaper isolators are needed). This shows that considering all factors, during the design it make sense to optimize seismic isolation from the viewpoint of selecting the level of isolation.

The seismic isolation option to be applied on existing structures which are built around 1970 in our country is found very effective. With this method, interventions in existing foundations can be eliminated. With the application of seismic isolation to the existing buildings we conclude that there is no need to strengthen the existing elements, as they are able to resist the reduced value of internal forces.

#### - The conclusions of dynamic and seismic analysis of base isolated bridges

Seismic isolation of bridges using different characteristics of isolators gives the possibility to achieve a predetermined seismic response as desired from us. The reduction of shear forces in all piers can be achieved, especially in the short piers. With the use of isolation with different characteristics we can achieve further reduction in the ratio of shear forces between long and short piers. By comparing the responses in longitudinal and transverse direction we note that the impact of isolation is different. Therefore is recommended that the characteristics of isolators should be different on the horizontal directions.

The analysis of the impact of location of isolators along the height of piers, shows that some seismic response parameters are affected from this location. This shows that although the practical position of isolators is mostly on the top of piers, isolators can be placed at the bottom or along the mid of the piers in order to fulfill specific conditions of the bridge.

In case of installing the isolators near the mid - height of piers, the deformations and forces on the structural elements of piers are smaller than in cases of installing them on top or bottom of piers.

It is found that through the seismic isolation of bridge it is possible the reduction of torsion effect which gives the improvement of its seismic response.

Through seismic isolation of bridges built these recent years in our country is achieved the reduction of deformations and internal forces in the longitudinal and transverse direction of piers. So seismic isolation of these bridges would have significant benefits.

### II. HYRJE

Kërkesa e vazhdueshme e rritjes së performancës së ndërtimeve është e lidhur ngushtësisht me përmbushjen e qëllimit prej të gjithë elementëve përbërës të tij si: struktura mbajtëse, funksioni, arkitektura etj. Për realizimin e performancës së strukturës mbajtëse krahas përpjekjeve për njohjen, analizën dhe vlerësimin e fenomenit natyror të tërmeteve, është e nevojshme edhe perfeksionimi i skemave strukturale dhe mënyrave të llogaritjes së tyre. Tërmetet edhe në dekadat e fundit kanë shkaktuar humbje të konsiderueshme në njerëz dhe dëme të mëdha në struktura të tipeve të ndryshme. Me kalimin e viteve janë zhvilluar shumë mënyra dhe teknologji të projektimit dhe ndërtimit antisizmik, për të reduktuar efektet e tërmeteve në strukturat e ndërtimit. Zvogëlimi i efekteve negative të lëkundjeve të mëdha të tokës është gjithmonë një nga çështjet më kryesore në inxhinierinë strukturore dhe ka tërhequr vëmendjen e shumë studiuesve në gjithë botën. Arritja e performancës strukturale është e lidhur me materialet e përdorura, teknologjinë e ndërtimit, saktësinë e metodave llogaritëse dhe sigurisht me koston e realizimit.

Duke patur parasysh pasiguritë e deritanishme në realizimin e strukturave rezistente ndaj tërmeteve vazhdimisht kërkohet që krahas strukturave tradicionale të zhvillohen dhe teknika të avancuara për realizimin e tyre. Sipas filozofisë tradicionale sizmike të projektimit, përballimi i efekteve të larta sizmike realizohet me anë të rezistencës së lartë ose të duktilitetit të madh të strukturës. Realizimi i këtij ekuilibri nëpërmjet rritjes së rezistencës nuk është efektiv për rastin e veprimeve të forcave sizmike të shkaktuara nga tërmetet, pasi me rritjen e rezistencës së elementëve strukturorë mund të shfaqen edhe fenomene të dëmshme. Kështu, shpesh, ndodh që rritja e ngurtësisë së një strukture të mos jetë e mjaftueshme, ose jo gjithmonë të japë rezultatet e dëshiruara. Nevoja e sjelljes jolineare të strukturave, për rritjen e duktilitetit gjatë tërmetit si një mënyrë e mundshme për të rritur energjinë e brendshme, pranon në të njëjtën kohë, të çara dhe dëmtime në elementët strukturorë.

Teknika e izolimit në bazë është zhvilluar si një përpjekje për të reduktuar efektet në ndërtesa dhe elementët e tyre strukturorë gjatë veprimeve sizmike, dhe është provuar të jetë një nga metodat më eficiente për një gamë të gjerë të problemeve të veprimit sizmik në struktura. Izolimi sizmik konsiston kryesisht në instalimin e pajisjeve të cilat tentojnë të ndajnë strukturën nga lëkundjet e bazamentit. Si një qasje alternative, izolimi në bazë, është një koncept i projektimit sizmik sipas të cilit duke vendosur elementë fleksibël dhe përthithës energjie midis themelit dhe bazës së strukturës ose midis mbështetëseve dhe mbistrukturës në rastin e urës arrihet zvogëlimi i forcës sizmike që transmetohet nga toka në strukturë. Izolimi në bazë tenton të izolojë strukturën nga lëkundjet e tokës, jo duke u përpjekur të përthithë energjinë e tërmetit prej strukturës, por duke mos lejuar këtë energji për të hyrë në strukturë. Shumë vite përvojë me izolatorë të përdorur në aplikime të hershme inxhinierike, kanë demonstruar besueshmëri, qëndrueshmëri dhe rezistencë të izolatorëve ndaj kushteve mjedisore.

Strukturat e izoluara kanë aftësinë të reduktojnë në mënyrë të konsiderueshme kërkesat e tyre për duktilitet, krahasuar me strukturat e paizoluara. Ky fakt thjeshton shumë detajimet e strukturës dhe konsiderata të tjera sizmike të kërkuara nga kodet. Kështu, për projektuesin ofrohen mundësi të shumta të zgjedhjeve arkitektonike dhe materialeve ndërtimore.

Në dekadat e fundit, izolimi në bazë është bërë një nga teknikat më të pranuara për mbrojtjen sizmike të ndërtesave. Nga ana tjetër, izolimi sizmik është konsideruar gjerësisht si një metodë eficiente për strukturat problematike, të cilat karakterizohen nga kërkesa të veçanta sizmike, të tilla si ndërtesat me kat të dobët dhe të butë. Izolimi sizmik përdoret edhe në rehabilitimin e ndërtesave ekzistuese dhe përforcimin e strukturave të dobëta.

Kështu, izolimi sizmik ka avantazhe krahasimisht mënyrave të tjera për situata të tilla të veçanta, zakonisht duke qenë në gjendje të sigurojë mbrojtje më të mirë kundrejt lëkundjeve shumë të forta sizmike. Besohet se izolimi sizmik mund të sigurojë zgjidhje efektive për një gamë shumë të gjerë të problemeve sizmike.

Efektiviteti i izolimit në bazë në reduktimin e reagimit sizmik lidhet me aftësinë e tij për të ndryshuar periodën e lëkundjeve vetjake të strukturës. Gjithashtu, Skinner (1993) tregoi që karakteristika më e rëndësishme e izolimit sizmik është rritja e periodës natyrale të strukturave përmes rritjes së fleksibilitetit të tyre. Funksioni themelor i pajisjeve izoluese është të mbajnë mbistrukturën ndërkohë që sigurojnë një shkallë të lartë të fleksibilitetit horizontal. Kjo i jep strukturës në tërësi një periodë të gjatë efektive dhe rrjedhimisht nxitime më të ulëta dhe forca inerciale më të vogla.

Si rezultat i përpjekjeve të shumta inxhinierike drejt zbatimit të izolimit në bazë, ekzistojnë shumë lloje izolatorësh ku një ndër to janë edhe izolatorët me gomë të armuar. Ndër vështirësitë e aplikimit të izolimit për një numër më të madh të strukturave është dhe fakti që izolatorët ekzistues konvencional janë të shtrenjtë dhe të rëndë. Për të zgjeruar këtë strategji të vlefshme për struktura rezistente ndaj tërmetit edhe për ndërtesa publike, është e nevojshme për të ulur koston dhe peshën e izolatorëve. Duke konsideruar elementët përbërës të kostos së një objekti ku Kelly (1990) rendit katër faktorë kryesorë: kostoja e ndërtimit, primet e sigurimit ndaj tërmetit, shpenzimet për riparimin e dëmtimit fizik dhe humbja e vlerave materiale të shfrytëzimit, izolimi sizmik mund të konsiderohet edhe me efektivitet ekonomik për raste të caktuara të objekteve.

Në tre dekadat e fundit, numri i aplikimeve të teknologjive të reja për përballimin e tërmeteve është rritur në mënyrë të shpejtë. Me njohjen e kësaj teknologjie dhe me efektet e saj do të mundësohet që dhe në vendin tonë të aplikohet izolimi sizmik i strukturave të reja apo edhe i strukturave ekzistuese për përforcimin sizmik të tyre.

## III. QËLLIMI

Në vitet e fundit, në të gjithë botën, janë studiuar dhe aplikuar teknika të shumta praktike për të siguruar izolimin sizmik të strukturave. Qëllimi kryesor i këtij punimi është përcaktimi i ndikimit që kanë sistemet izoluese prej gome të armuar në struktura të tipeve të ndryshme, të ndodhura në situatën e veprimit sizmik.

Punimi fokusohet në analizën e reagimit sizmik të strukturave të izoluara në bazë. Pasi trajtohen bazat teorike të analizave, bëhet aplikimi i tyre në struktura betoni të armuar për ndërtesa dhe ura.

Meqënëse gjatë veprimit të tërmeteve, strukturat pranohen të kalojnë në fazën plastike, analizat janë kryer jo vetëm sipas metodës lineare, por edhe sipas metodës jolineare me qëllim që të analizohet më mirë ndikimi i izolimit sizmik në reagimin elasto - plastik të strukturës. Gjatë analizave shpesh është trajtuar efekti i izolimit sizmik si në strukturat e reja ashtu dhe në ato ekzistuese.

Kam zgjedhur të trajtoj izolimin sizmik në struktura pasi është një nga metodat më të përdorura të projektimit antisizmik në botë, ndërkohë që përdorimi i tyre në Shqipëri nuk ka filluar ende. Tërmetet zënë peshën kryesore të dëmtimit të strukturave, me pasojë shkatërrimin. Ky përbën një problem shumë të madh ekonomik dhe social. Për më tepër, shkatërrimi i strukturave, në një pjesë të madhe të rasteve, shoqërohet me humbjen e jetës së njerëzve. Gjatë dekadave të fundit inxhinieria strukturore po i kushton një rëndësi të madhe projektimit antisizmik nëpërmjet përdorimit të izolimit në bazë.

Më dëshirën për të dhënë kontributin tim në përdorimin e këtyre sistemeve edhe në Shqipëri, po trajtoj këtë temë në përputhje me përvojën e ndërtimeve aktuale.

## IV. OBJEKTIVAT

Objektivat e punimit grupohen në tre kategori:

Së pari, të analizojmë parametrat e sistemit izolues me gomë të armuar, në mënyrë që të projektohen izolatorë me kosto efektive. Për këtë është e nevojshme të zgjidhen materialet e duhura si dhe të përdoret sasia optimale e tyre. Kjo synohet të arrihet duke kryer analiza të efektit të materialeve në performancën e izolatorëve.

Së dyti, të kryejmë analiza sizmike të ndërtesave të tipeve të ndryshme me bazë të izoluar dhe t'i krahasojmë ato me njëra - tjetrën dhe me strukturat me bazë fikse. Fillimisht do të analizohet ndërtesa me kat të dobët dhe të butë në kushtet e izolimit sizmik të tyre, duke tentuar përmirësimin deri në eleminim të defektit që këto ndërtesa paraqesin. Më tej, duke pasur parasysh faktin që reagimi dinamik dhe sizmik i strukturave varet jo vetëm nga veprimi i jashtëm nëpërmjet lëvizjeve të tokës, por edhe nga karakteristikat e vetë strukturës, të cilat në rastin e izolimit sizmik pësojnë modifikime të konsiderueshme, studiohet ndikimi që sjell izolimi sizmik në reagimin e përgjithshëm dhe në parametra të veçantë të strukturave të tipeve të ndryshme. Gjithashtu, duke menduar që pozicioni i sistemit izolues në strukturat e ndërtesës, studiohen pozicione të ndryshme të vendosjes së sistemit izolues në një ndërtesë shumë - katëshe.

Për të parë më konkretisht se si ndikon izolimi sizmik në ndërtesa, merret në studim një objekt ekzistues, ish- "Markato Qendrore", Berat, i cili krahasimisht kushteve aktuale të projektimit paraqitet me shumë mangësi strukturale.

Së treti, të kryejmë analiza sizmike të urave të izoluara sizmikisht në raste të ndryshme të përdorimit të izolatorëve, për izolatorë me karakteristika të njëjta për të gjithë urën si dhe përdorimi i izolatorëve me karakteristika të ndryshme. Me interes është parë edhe studimi i pozicionit të sistemit izolues përgjatë gjatësisë së pilës së urës. Për të konkretizuar studimin analizohet izolimi sizmik i një ure të projektuar për vendin tonë, ura "Belina", Fier.

# PËRSHKRIM I PËRGJITHSHËM I SISTEMEVE TË IZOLUAR NË BAZË

## 1.1 Hyrje

Bazuar në parimin kryesor të ekuilibrit të energjisë, strukturat duhet të kenë aftësinë për të përthithur energji, në mënyrë që energjia e brendshme e prodhuar në strukturë të jetë e barabartë me energjinë e jashtme që hyn në strukturë. Sipas filozofisë tradicionale sizmike të projektimit, përballimi i efekteve të larta sizmike realizohet me anë të rezistencës së lartë ose të duktilitetit të madh të strukturës. Realizimi i këtij ekuilibri nëpërmjet rritjes së rezistencës nuk është efektiv për rastin e veprimeve të forcave sizmike të shkaktuara nga tërmetet, pasi me rritjen e rezistencës së elementëve strukturorë mund të shfaqen edhe fenomene të dëmshme për arsyet e mëposhtme:

- rritja e rezistencës zakonisht shoqërohet me rritjen e ngurtësisë së sistemit dhe duke parë spektrin e reagimit vërehet se strukturave të ngurta (d.m.th. me periodë vetiake të ulët) iu takon pjesa më e lartë e spektrit;
- rritja e ngurtësisë shpesh shoqërohet me rritjen e masave, d.m.th. një rritje e veprimit dinamik, që zhvillohet pikërisht nëpërmjet forcave të inercisë, proporcionale me masën.

Kështu, shpesh, ndodh që rritja e ngurtësisë së një strukture të mos jetë e mjaftueshme, ose jo gjithmonë të japë rezultatet e dëshiruara. Sipas filozofisë tradicionale sizmike të projektimit, përballimi i efekteve të larta sizmike realizohet me anë të rezistencës së lartë ose të duktilitetit të madh të strukturës. Nevoja e sjelljes jolineare të strukturave, për rritjen e duktilitetit gjatë tërmetit si një mënyrë e mundshme për të rritur energjinë e brendshme, pranon në të njëjtën kohë, të çara dhe dëmtime në elementët strukturorë.

Si një qasje alternative, izolimi në bazë, është një koncept i projektimit sizmik sipas të cilit duke vendosur elementë fleksibël dhe përthithës energjie midis themelit dhe bazës së strukturës ose midis mbështetëseve dhe mbistrukturës së urës arrihet zvogëlimi i forcës sizmike që transmetohet nga toka në strukturë. Izolimi në bazë tenton të izolojë strukturën nga lëkundjet e tokës, jo duke u përpjekur të përthithë energjinë e tërmetit prej strukturës, por duke mos lejuar këtë energji për të hyrë në strukturë.

Me lindjen e koncepteve inovative për projektimin antisizmik, duke përfshirë sistemet e izolimit në bazë dhe sistemet pasive të shuarjes së energjisë, është e rëndësishme të rishikojmë analizat e deritanishme dhe metodat e projektimit. Në veçanti, duhet të fokusohemi tek energjia si një kriter projektimi. Housner (1956) sugjeroi një projektim antisizmik bazuar në një trajtim energjitik edhe për struktura të zakonshme disa dekada më parë. Formulimi përfundimtar është mjaft i përshtatshëm për një diskutim të përgjithshëm të përthithjes së energjisë në struktura, duke qenë se pajisjet pasive përdoren për të përthithur vibrimet e shkaktuara si nga veprimet sizmike ashtu edhe forcat aerodinamike.

Për strukturat e zakonshme le të konsiderojmë modelin lëkundës me një shkallë lirie, që konsiston në një masë m e mbështetur në një sustë me ngurtësi totale k dhe një shuarës me viskozitet linear c (aftësia e përthithjes së energjisë nga vetë struktura), të treguar në Figurën 1.1 më poshtë:



Figura 1. 1: Model i strukturës së zakonshme me një shkallë lirie

Formulimin energjitik mund ta fitojmë duke integruar secilin term të forcës në ekuacionin e lëvizjes së këtij sistemi ( $m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g$ ) në lidhje me gjithë historikun e zhvendosjeve relative, prej të cilit fitojmë:

$$E_K + E_D + E_S = E_I$$

ku

**a**) 
$$E_K = \int m \ddot{u} \, du = \frac{m \dot{u}^2}{2}$$

**b**) 
$$E_D = \int c \dot{u} \, du = \int c \dot{u}^2 \, dt$$

c) 
$$E_S = \int ku \, du = \frac{ku^2}{2}$$

$$E_I = -\int m \ddot{u}_g \, du$$

Secili element i anës së majtë të barazimit të mësipërm përfaqëson energjinë relative kinetike të masës ( $E_K$ ), energjinë e shuar prej shuarjes që ka vetë struktura ( $E_D$ ), dhe energjinë e deformimit elastik ( $E_S$ ). Shuma e këtyre energjive duhet të balancojë energjinë e futur në sistem ( $E_I$ ) të shkaktuar nga veprimi sizmik. Secili prej termave energjitik është faktikisht një funksion i kohës, kështu ekuilibri i energjisë mbahet në çdo çast gjatë gjithë kohëzgjatjes së veprimit.

Nuk duhet të presim që një strukturë e projektuar sipas metodës së zakonshme të qëndrojë plotësisht brenda stadit elastik gjatë veprimit të një ngacmimi të madh sizmik. Në vend të kësaj, ne i besojmë duktilitetit që posedon struktura për të parandaluar shkatërrimin, ndërkohë që pranojmë faktin që mund të ndodhin disa dëmtime. Në një rast të tillë, energjia e futur ( $E_I$ ) nga tërmeti thjesht kalon kapacitetin e strukturës për të akumuluar dhe shuar energji prej mekanizmave të dhëna në ekuacionet (a) deri në (c). Me tejkalimin e këtij kapaciteti, pjesë të strukturës ose kalojnë në rrjedhshmëri ose plasariten. Kështu ngurtësia nuk mbetet më konstante, dhe forca në sustë në ekuacionin e lëvizjes duhet të zëvendësohet nga një funksion më i përgjithshëm fs(u), i cili përfshin edhe efektet histeretike. Në përgjithësi, ekuacioni (c) ripërkufizohet si më poshtë, për reagimin inelastik:

$$E_S = \int fs(u) \, du = E_{S_e} + E_{S_p}$$

ku  $E_s$  supozohet e ndashme në dy pjesë  $E_{S_e}$  dhe  $E_{S_p}$ , që përfaqësojnë energjinë totale elastike dhe atë të shuar prej deformimeve plastike, respektivisht.

Kështu, për një strukturë të zakonshme, nëse intensiteti i sinjalit rritet, do të nevojitet një sasi akoma më e madhe energjie e përthithur prej deformimeve inelastike. Nga pikëpamja energjitike, për projektimin e duhur antisizmik, duhet të përpiqemi të minimizojmë sasinë e energjisë histeretike të shuar nga struktura. Ka dy mënyra për të arritur këtë:

- E para përfshin projektimin që rezulton në reduktim të sasisë së energjisë së futur në strukturë. Për shembull, në këtë kategori, futen sistemet e izolimit në bazë.
- E dyta, lidhet me përfshirjen e mekanizmave shtesë shuarës në strukturë. Këto pajisje projektohen për të përthithur një sasi të energjisë që futet në sistem, duke reduktuar në këtë mënyrë dëmet në strukturë prej shuarjes histeretike. Faktikisht, për tërmete të mëdha, pajisjet duhet të shuajnë sasi shumë të mëdha energjie.

Zakonisht, për sistemet e izoluara në bazë, përveç reduktimit të sasisë së energjisë që hyn në strukturë, nevojitet edhe shtimi i pajisjeve për përthithjen e energjisë. Modeli dinamik për një strukturë të tillë të konsideruar me një shkallë lirie, tregohet në Figurën 1.2:



Figura 1. 2: Modeli i strukturës me një shkallë lirie me element shuarës pasiv

Formulimin energjitik mund ta fitojmë duke integruar secilin term të forcës në ekuacionin e lëvizjes së këtij sistemi  $(m\ddot{u} + c\dot{u} + ku + \Gamma u = -(m + \overline{m})\ddot{u}_g)$  në lidhje me gjithë historikun e zhvendosjeve relative, prej të cilit fitojmë:

$$E_K + E_D + E_{S_e} + E_{S_n} + E_P = E_I$$

ku energjia e lidhur me shuarësin pasiv shtesë është:

#### **d**) $E_P = \int \Gamma u \, du$

Ideja e izolimit sizmik është propozuar shumë vite më parë, por ajo fitoi një realitet praktik, brenda 30 viteve të fundit. Shumë vite përvojë me izolatorë të përdorur në aplikime të hershme inxhinierike, kanë demonstruar besueshmëri, qëndrueshmëri dhe rezistencë të izolatorëve ndaj kushteve mjedisore. Koncepti i izolimit në bazë tashmë është pranuar gjerësisht në rajone sizmike të botës dhe ka shumë shembuj në Shtetet e Bashkuara, Japoni, Zelandë e Re dhe Itali, kryesisht për ndërtesa të mëdha dhe të rëndësishme si dhe në ura. Si rezultat i përpjekjeve të shumta inxhinierike drejt zbatimit të izolimit në bazë, ekzistojnë shumë lloje izolatorësh.

Ndër vështirësitë e aplikimit të izolimit për një numër më të madh të strukturave është dhe fakti që izolatorët ekzistues konvencional janë të shtrenjtë dhe të rëndë. Për të zgjeruar këtë strategji të vlefshme për struktura rezistente ndaj tërmetit edhe për ndërtesa publike, është e nevojshme të ulim koston dhe peshën e izolatorëve. Projekte ku përdoren izolatorë me kosto të ulët për objekte publike janë realizuar në vende si në Kili, Kinë, Indonezi dhe Armeni. Një program i gjerë hulumtimi është kryer në Rusi për të zhvilluar një shumëllojshmëri të sistemeve të izolimit me kosto të ulët dhe me aplikim të thjeshtë. Në tre dekadat e fundit, numri i aplikimeve të teknologjive të reja për përballimin e tërmeteve është rritur në mënyrë të shpejtë. Izolimi sizmik përdoret edhe në rehabilitimin e ndërtesave ekzistuese dhe përforcimin e strukturave të dobëta. Me njohjen e kësaj teknologjie dhe me efektet e saj do të mundësohet që dhe në vendin tonë të aplikohet izolimi sizmik i strukturave të reja apo edhe i strukturave ekzistuese për përforcimin sizmik të tyre.

### 1.2 Karakteristikat e Përgjithshme të Strukturave të Izoluara

Koncepti i izolimit në bazë është shumë i thjeshtë. Kjo teknikë konsiston në vendosjen ndërmjet themeleve dhe mbistukturës së elementëve me fleksibilitet të madh horizontal dhe ngurtësi të madhe vertikale. Paraqitja skematike e strukturave të izoluara në bazë tregohet në Figurën 1.3:



Figura 1. 3: a) Izolimi sizmik i një ndërtese; b) Izolimi sizmik i një ure

Sistemi izolues ndan ndërtesën ose strukturën nga komponentet horizontale të lëvizjes së tokës. Kështu arrihet që struktura e izoluar të ketë një frekuencë themelore shumë më të ulët se ajo me bazë fikse dhe gjithashtu më të ulët se frekuenca predominuese e truallit.

#### 1.2.1 Fleksibiliteti

Një strukturë e izoluar në bazë e projektuar si duhet ka fleksibilitetin e kërkuar duke lejuar zhvendosjet e mëdha të përqëndruara në elementët e izolimit, për reduktimin e nxitimeve dhe ka ngurtësinë e kërkuar të elementëve të strukturës. Në praktikën e projektimit të strukturave të ndërtimit, kërkesat kryesore janë minimizimi i zhvendosjeve relative të ndërkatit (inter storey drifts) dhe nxitimeve të dyshemesë. Zhvendosje të mëdha të ndërkatit shkaktojnë dëme në komponentet jostrukturalë dhe pajisjet që lidhin katet. Zhvendosja e ndërkatit mund të zvogëlohet duke shtangësuar strukturën, por kjo çon në nxitime të larta të dyshemesë. Nxitimet mund të zvogëlohen duke e bërë strukturën më fleksibël, por kjo çon në rritjen e zhvendosjeve të ndërkateve.

Një strukturë absolutisht e ngurtë do të ketë periodë lëkundjeje zero. Me lëvizjen e tokës, nxitimet në këtë strukturë do të jenë të njëjta me nxitimin e tokës dhe zhvendosja relative midis strukturës dhe tokës do të jetë zero. Kjo strukturë dhe toka lëvizin njësoj. E kundërta ndodh me një strukturë absolutisht fleksibël, perioda e saj do të jetë infinit. Për këtë lloj strukture, kur toka lëviz, nxitimet e shkaktuara do të jenë zero dhe zhvendosjet relative midis strukturës dhe tokës do të jenë të njëjta me zhvendosjet e tokës. Kjo strukturë nuk lëviz, kurse toka po. Atëherë elementët strukturorë që lidhin tokën me strukturën do të deformohen aq sa zhvendoset toka. Këto dy raste ekstreme teorike tregohen në Figurën 1.4.



Figura 1. 4: Transmetimi i lëkundjeve të bazamentit

Strukturat reale nuk janë as absolutisht të ngurta as absolutisht fleksibël, kështu që reagimi i tyre kundrejt lëvizjeve të tokës është midis këtyre dy ekstremeve siç tregohet skematikisht në Figurën 1.5.



Figura 1. 5: Nxitimi dhe zhvendosjet e structures

Pra marrëdhënia midis nxitimeve dhe zhvendosjeve në strukturë është e anasjellë. Kështu që është e pamundur që të kënaqen të dy kërkesat (reduktimi i nxitimit dhe zhvendosjes) duke ndryshuar vetëm karakteristikat e elementëve strukturorë. Prandaj lind nevoja që në strukturë të instalohen elementë të tjerë. Mënyra më praktike e reduktimit të njëkohshëm të zhvendosjeve të ndërkateve dhe të nxitimeve të dyshemesë është përdorimi i izolimit të bazës; sistemi izolues siguron zvogëlimin e nxitimeve si dhe fleksibilitetin e nevojshëm me zhvendosje të përqëndruara në nivelin e izolimit. Forma e parë e lëkundjeve të një ndërtese të izoluar përfshin deformimin vetëm të sistemit të izolimit, pasi struktura sipër është gati rigjide. Format më të larta të cilat japin deformime në strukturë nuk marrin pjesë në lëvizje, kështu që energjia e lëvizjes së tokës në këto frekuenca të larta nuk mund t'i transmetohet ndërtesës. Në rastin e urave, sistemi izolues siguron që zhvendosjet më të mëdha të realizohen te izolatorët, kurse deformimi i pilave të reduktohet ndjeshëm. Paraqitja skematike e reagimit të strukturës së urës dhe të ndërtesës nën veprimin e lëkundjeve horizontale të tokës jepet në Figurën 1.6 dhe 1.7 më poshtë:



Figura 1. 6: Reagimi i një ure me bazë fikse ose me bazë të izoluar



#### 1.2.2 Ndryshimi i periodës

Sistemi i izoluar në bazë duhet të ketë fleksibilitet të lartë horizontal në mënyrë që perioda e strukturës së izoluar të jetë më e gjatë se perioda korresponduese e saj me bazë fikse si dhe e periodës dominuese të tërmeteve të pritshëm. Pra, duke e zhvendosur periodën, struktura ka dy pasoja: zvogëlim të nxitimit sizmik (pra dhe të forcave sizmike), dhe rritje të zhvendosjeve relative. Në rastin e strukturave me bazë të izoluar, këto zhvendosje relative janë të elementëve izolues dhe jo të elementëve strukturorë si në rastin e strukturave me bazë fikse.

Vlerat e periodave të lëkundjeve të shumë tërmeteve janë rreth 0,1 sekonda deri 1 sekond dhe më të shpeshtë në rendin 0,2 deri 0,6 sekonda (Skinner, 1993). Strukturat me periodë lëkundje brenda intervalit 0,1-1 sekonda janë më të prekshme nga veprimet sizmike për shkak të rezonancës. Sistemi i izoluar në bazë duke pasur fleksibilitet të lartë horizontal bën që perioda e strukturës së izoluar të jetë më e gjatë se perioda korresponduese e saj me bazë fikse si dhe periodës dominuese të tërmeteve të pritshëm. Pra, duke e zhvendosur periodën, struktura ka dy pasoja: zvogëlim të nxitimit sizmik (pra dhe të forcave sizmike), dhe rritje të zhvendosjeve relative. Në rastin e strukturave me bazë të izoluar, këto zhvendosje relative janë të elementëve izolues dhe jo të elementëve strukturorë si në rastin e strukturave me bazë fikse. Ky ndryshim i periodës së lëkundjes është treguar në mënyrë skematike në Figurën 1.8a dhe 1.8b, që paraqesin spektrat elastikë të reagimit të tërmetit El Centro si përfaqësues i tërmeteve të rënda.



Figura 1. 8: El Centro 1940: a) Spektri i reagimit të nxitimit; b) Spektri i reagimit të zhvendosjes

#### 1.2.3 Shuarja

Zhvendosjet relative të sistemit të izoluar mund të kontrollohen nëse shtohen elementë absorbues energjie në strukturë. Shuarësat e shtuar reduktojnë njëkohësisht edhe forcat sizmike.

Duke analizuar spektrin e reagimit të zhvendosjeve të shumicës së tërmeteve, konstatohet se me rritjen e periodës së lëkundjeve, struktura do të pësojë rritje të zhvendosjeve. Zhvendosjet relative të sistemit të izoluar mund të kontrollohen nëse shtohen elementë absorbues energjie në strukturë, siç duket në Figurën 1.8b. Shuarësat e shtuar reduktojnë njëkohësisht edhe forcat sizmike, siç duket në Figurën 1.8a. Shuarja (përthithja e energjisë) në strukturë kryhet në dy mënyra kryesore: përthithja e energjisë prej kurbave histerezis të forcë – zhvendosjeve dhe përthithje viskoze e energjisë. Termi viskoze i referohet përthithjes së energjisë në varësi të shpejtësisë. Termi histerezis i referohet përthithjes prej ngarkim-shkarkimit gjatë zhvendosjeve ciklike. Në Figurën 1.9 tregohet një kurbë histerezis e forcë – zhvendosjes, në të cilën zona e ngjyrosur paraqet sasinë e energjisë së përthithur gjatë një cikli të lëvizjes.



Figura 1. 9: Kurba e idealizuar histerezis force – zhvendosje e një izolatori bilinear

### **1.3 Tipet e Sistemeve Izolues**

Aktualisht ekzistojnë një numër sistemesh izoluese të pranueshme për t'u përdorur. Si sisteme izoluese mund të përmendim: sistemet izoluese me bazë elastomere, sistemet izoluese të bazuara në rrëshqitjen (izolator me fërkim), sistemet e tipit sustë dhe sistemet lëkundëse. Do të trajtojmë sistemet izoluese elastomere. Izolatorët me gomë natyrale u përdorën për herë të parë në 1969, në shkollën Pestalozzi në Shkup. Këtu mbështetëset ishin blloqe të mëdhenj gome të pa armuar. Për shkak të peshës së ndërtesës ato janë ngjeshur shumë. Izolatorët kishin një shtangësi vertikale vetëm disa herë më të madhe se ajo horizontale. Shuarja thuajse mungonte.



Figura 1. 10: Izolatorët e përdorur në Shkollën Pestalozzi, Shkup, Maqedoni

Pas përfundimit të kësaj ndërtese, janë ndërtuar edhe shumë ndërtesa të tjera me izolatorë gome natyrale por të armuar me pllaka çeliku të cilat ulin mufatjen anësore dhe rrisin shtangësinë vertikale. Izolatorët prej gome të armuar mund të klasifikohen në tre lloje: me shuarje të ulët, me bërthamë plumbi dhe me shuarje të lartë.

### 1.3.1 Izolatorë me shuarje të ulët

Izolatorët prej gome natyrale ose sintetike me shuarje të ulët janë përdorur gjerësisht. Elastomeri i përdorur në Japoni përbëhet nga gomë natyrale, ndërkohë që në Francë në shumë projekte është përdorur neopreni. Këta izolatorë kanë sjellje lineare në prerje për deformime relative 100% e më shumë. Raporti i shuarjes arrin 2 deri 3%.

Kanë anë pozitive si: prodhimi i thjeshtë dhe modelimi i lehtë. Reagimi mekanik i tyre nuk ndryshon nga përmasat, temperatura, historia apo vjetërimi. Disavantazhi i vetëm është se në përgjithësi nevojitet edhe një sistem shtesë përthithës i energjisë (Kelly, 1997).

Këta sisteme shtesë kanë nevojë për lidhje të përpunuara mirë dhe, në rastin e shuarësave metalikë, janë të prirur drejt lodhjes. Izolatorë të tillë u prodhuan për një sistem izolues të propozuar për një impjant nuklear i ndërmarrë nga Cental Electricity Generating Board në Britaninë e Madhe. Këta izolatorë kishin si qëllim të ndërthureshin me një shuarës viskoz të zhvilluar nga GERB Corp. në Gjermani. Testimet e ndryshme dhe provat konfirmuan se mbështetëset ishin plotësisht lineare deri në 150% deformim prerës, dhe nuk kishin aspak shuarje. Qëllimi i projektit ishte të siguronte një sistem izolues që të mund t'i korrespondonte ekzaktësisht një modeli dinamik viskoz linear. Shumë zbatime të këtij lloj sistemi janë përdorur në Japoni. Elementët e shuarjes së energjisë janë të përbërë nga një shumëllojshmëri pajisjesh me çelik të rrjedhshëm, të cilat përfshijnë shufra konike, susta spirale të rrjedhshme, shufra karboni, dhe elementë me fërkim. Një variant i kësaj arritjeje është izolatori me bërthamë plumbi. I shpikur në Zelandën e Re në vitet '70, ky lloj izolatori është sot sistemi më i përdorur i izolimit në bazë.



Figura 1. 11: Izolator gome me shuarje të ulët

#### 1.3.2 Izolatorë me bërthamë plumbi

Mbështetësja me fishë plumbi u zbulua në Zelandën e Re dhe është përdorur gjerësisht në Zelandën e Re, Japoni dhe SH.B.A. Këta izolatorë janë prej gome të armuar, të ngjashme me ato me shuarje të ulët por përmbajnë një ose më shumë fisha plumbi të vendosura në vrima, siç tregohet në Figurën 1.12. Pllakat prej çeliku, detyrojnë fishën e plumbit të deformohet në prerje. Plumbi brenda në izolator deformohet fizikisht në një sforcim rreth 10 MPa, duke i siguruar izolatorit një sjellje bilineare. Vendosja e plumbit rrit shuarjen efektive të izolatorit dhe redukton zhvendosjet. Përveç kësaj, për vlera të ulëta të ngarkesave horizontale, të tilla si, ngarkesës së erës, ngarkesës së trafikut apo ngarkesave të vogla sizmike, bërthama e plumbit zvogëlon zhvendosjet horizontale nëpërmjet ngurtësisë fillestare deri në nivelin e rrjedhshmërisë së tij. Për arsye se shtangësia efektive dhe shuarja efektive e izolatorit me bërthamë plumbi janë të varura nga zhvendosja, është e rëndësishme të caktohet zhvendosja për të cilën nevojitet një shuarje e caktuar. Këta lloj izolatorësh janë testuar gjerësisht në Zelandën e Re, dhe ekzistojnë guida shumë të kompletuara për projektimin dhe modelimin e tyre. Ndërtesa të izolatara me këto izolatorë patën një performancë të mirë gjatë tërmetit të Northridge 1994 dhe Kobe 1995.



Figura 1. 12: Izolatorë gome me bërthamë plumbi

#### 1.3.3 Izolatorë me shuarje të lartë

Prodhimi i gomës natyrale e cila përmbante shuarje të mjaftueshme sa të mënjanonte nevojën për elementë shuarës shtesë u arrit në 1982 nga Malaysian Rubber Producers' Research Assocation (MRPRA) e Britanisë së Madhe. Shuarja rritet duke shtuar blloqe shumë të imëta karboni, vajra apo rrëshira, ose mbushësa të tjerë të ngjashëm. Shuarja rritet në nivele midis 10% dhe 20% për deformime prerëse 100%.

Materiali është jolinear për deformime prerëse më të vogla se 20% dhe karakterizohet nga një shtangësi dhe shuarje më e lartë, e cila tenton të minimizojë reagimin nën veprimin e ngarkesës së erës dhe ngarkesave sizmike të një niveli të ulët. Midis kufirit 20 – 120% të deformimit prerës, moduli i prerjes është i ulët. Për deformime më të mëdha se 120% moduli i prerjes rritet si rezultat i një procesi kristalizimi që ndodh në gomë për shkak të deformimit, gjë e cila
shoqërohet me një rritje në shuarjen e energjisë. Rritja në shtangësi dhe në shuarje për deformime shumë të mëdha mund të shfrytëzohet për të prodhuar një sistem që është i shtangët për ngarkime të vogla, është mjaftueshëm linear dhe fleksibël në nivelin e tërmetit të projektimit, dhe mund të pengojë zhvendosjet nën veprimin e një ngarkese sizmike të papritur e cila e kalon nivelin e projektimit.

Shuarja në izolatorë nuk është as viskoze as histeretike, por diçka ndërmjet njërës dhe tjetrës. Në një element të pastër viskoz linear shuarja e energjisë është në përpjestim të drejtë me katrorin e zhvendosjes; në një sistem histeretik ajo tenton të jetë në përpjestim të drejtë me zhvendosjen. Provat mbi një numër të madh izolatorësh të ndryshëm kanë treguar se energjia e shuar për një cikël është përpjestimore me zhvendosjen në fuqi 1.5. Kjo karakteristikë mund të shfrytëzohet në mënyrë të tillë që të jetë e mundur të modelohet reagimi i izolatorit, i cili të kombinojë elementët linearë viskozë me ata elasto-plastikë.

Një avantazh tjetër i izolatorëve me shuarje të lartë është se ata sigurojnë deri në një farë shkalle reduktimin e vibrimeve të ambjentit. Izolatorët filtrojnë frekuencat e larta të vibrimeve vertikale të shkaktuara nga trafiku ose metro të afërta.

Kurbat histerezis të tre tipeve të izolatorëve prej gome jepen në Figurën 1.13.



Figura 1. 13: Sjellja histeretike për sisteme të ndryshëm izolues (Ballantyne 2002)

# 1.4 Aplikimi i Izolimit në Bazë të Strukturave

Përdorimi i parë i një sistemi izolues prej gome për të mbrojtur një strukturë nga tërmetet ishte në 1969 për një shkollë fillore në Shkup. Shkolla Pestalozzi, një ndërtesë 3-katëshe prej betoni, e projektuar dhe e ndërtuar nga inxhinierët zviceranë, është izoluar nga një sistem i njohur si Swiss Full Base Izolation-3D (FBI-3D) System. Ndryshe nga izolatorët prej gome të zhvilluar më vonë, këtu izolatorët ishin të pa armuar kështu që pesha e ndërtesës ka bërë që ato të deformohen anash. Ky sistem u zëvendësua në vitin 2010 me izolatorë gome të armuar me fibra karboni duke ia rritur shumë herë ngurtësinë vertikale si dhe aftësinë e përthithjes së energjisë.

Më vonë në strukturat e izoluara u përdor gomë e armuar me shtresa çeliku. Për shkak të shtresave prej çeliku, këta izolatorë janë shumë të shtangët në drejtimin vertikal por shumë të butë në drejtimin horizontal, duke dhënë në këtë mënyrë efektin e izolimit. Janë të lehta për t'u prodhuar, nuk kanë pjesë të lëvizshme dhe janë shumë rezistente ndaj kushteve të mjedisit të jashtëm.

Shumë sisteme izolues, kryesisht ata të përdorur në Zelandën e Re dhe Japoni kombinojnë izolatorët prej gome natyrale me shuarje të ulët me ndonjë formë mekanike shuarjeje. Këtu

përfshihen shuarësa hidraulikë, shufra çeliku, unaza çeliku, ose fisha prej plumbi brenda vetë izolatorit. Në SH.B.A. sistemi më i përdorur i izolimit është ai me gomë të armuar dhe me bërthamë plumbi. Struktura të shumta në SH.B.A., Itali, Japoni, Kinë, Rusi, Armeni dhe Indonezi janë izoluar duke përdorur izolatorë gome natyrale të armuar dhe me shuarje të lartë.

Në tre dekadat e fundit, numri i aplikimeve të teknologjive të reja në projektimin e strukturave rezistente ndaj tërmeteve është rritur në mënyrë dramatike, dhe është rritur interesi në shumë vende të botës. Një numër i konsiderueshëm i strukturave kanë përfunduar në Sh.B.A., Japoni, Zelandë të Re, Itali, Kanada, Kinë, Rusi dhe shumë vende të tjera në të gjithë botën.

Izolimi sizmik është përdorur edhe në rehabilitimin e ndërtesave ekzistuese dhe përforcimin e strukturave përgjithësisht të dobëta dhe të brishta që nuk kanë duktilitet të mjaftueshëm në drejtim anësor (Kelly, 1997). Veçanërisht, izolimi në bazë pranohet si metoda më e mirë për rehabilitimin e ndërtesave të vjetra që përmbajnë vlera të mëdha arkitektonike apo historike dhe kulturore. Përveç kësaj, përdorimi i izolimit në bazë është aplikuar edhe në përforcimin e strukturave në rajone me sizmicitet të lartë, të cilat nuk kanë qënë të projektuara për t'i rezistuar tërmeteve të fortë. Me shumë efektivitet, izolimi në bazë ka gjetur aplikime të shumta në strukturat e urave dhe të viadukteve, ku zëvendësimi i kushinetave të zakonshme me izolatorë sizmikë, redukton efektin e tërmetit në pila dhe themele. Disa foto prezantuese të rasteve të ndryshme të aplikimit të izolimit sizmik në bazë jepen në Figurën 1.14.



Figura 1. 14: Raste të ndryshme të aplikimit të izolimit sizmik në bazë të strukturave

Edhe pse teknika e izolimit në bazë është kryesisht e zbatueshme për strukturat e shtrenjta të banimit, kohët e fundit, aplikimi i kësaj teknologjie për mbrojtjen sizmike të strukturave është konsideruar edhe për ndërtesa publike të zakonshme si rezultat i kostos së ulët të sistemeve të izolimit.

## 1.5 Efektiviteti i Izolimit Sizmik të Strukturave

Efektiviteti i izolimit në bazë varet nga disa faktorë, ndër të cilët më kryesorja lidhet me zgjatjen e periodës natyrale të strukturës, dhe për këtë qëllim raporti i periodave  $T_i / T_f (T_f - \text{perioda e})$ strukturës me bazë fikse,  $T_i$  – perioda e strukturës me bazë të izoluar) duhet të jetë sa më i madh që të jetë e mundur. Në qoftë se perioda themelore e strukturës me bazë fikse ndodhet në zonën me vlera maksimale të spektrit të nxitimit, atëherë nëpërmjet izolimit në bazë kjo periodë shtyhet në një zonë me vlera më të vogla të spektrit. Për rrjedhojë forcat sizmike reduktohen. Por jo gjithmonë rritja e periodës nëpërmjet izolimit në bazë sjell reduktim të forcave në strukturë. Kjo varet nga vlera e periodës themelore të strukturës me bazë fikse dhe nga forma e spektrit të projektimit. Po të konsiderojmë një strukturë e cila me bazë fikse ka periodë themelore  $T_f = 0.4$  sek, kurse me bazë të izoluar do të kishte periodën e lëkundjeve  $T_i = 2$  sek atëherë në rastin e tërmetit El Centro dhe për çdo tërmet tjetër, spektri i nxitimit të të cilëve do të ishte i ngjashëm me të, me anë të izolimit në bazë do të arrihej një reduktim i madh i forcave sizmike. Pra izolimi sizmik i kësaj strukture në këto kushte do të ishte efektiv, po të supozojmë se kjo strukturë është vendosur në Mexico City. Nga lëkundjet e truallit të rregjistruara në këtë vend gjatë tërmetit të 1985 është marrë spektri i reagimit i treguar në Figurën 1.15. Nga ky spektër vlerat e pseudo-nxitimeve janë  $A(T_{f_b}\xi_f) = 0.25g$  për strukturën me bazë fikse dhe  $A(T_i,\xi_i)=0.63$ g për strukturën me bazë të izoluar. Këto vlera spektrale u korrespondojnë karakteristikave të strukturës me bazë fikse:  $T_f = 0.4$  sek. dhe  $\xi_f = 2\%$ , dhe të strukturës me bazë të izoluar:  $T_i = 2$  sek. dhe  $\xi_i = 10\%$ . Raporti  $A(T_i, \xi_i)/A(T_f, \xi_f) = 0.63g / 0.25g = 2.52$  tregon që forca prerëse në bazë tek struktura e izoluar është rreth 2.52 herë më e madhe se forca prerëse në bazë tek struktura me bazë fikse. Në këtë rast, izolimi në bazë nuk ndihmon, por përkundrazi është i dëmshëm.



Figura 1. 15: Tërmeti Mexico City 1985; Spektri i reagimit të nxitimit

Prandaj kur mendohet të përdoret teknika e izolimit në bazë është e nevojshme që t'i kushtohet një kujdes i veçantë studimit gjeologjik. Prania e një shtrese të konsiderueshme aluvionesh ose

ndonjë shtrese tjetër të butë, në fakt mund të modifikojë spektrin e reagimit duke e spostuar zonën me ordinatë maksimale në drejtim të periodave më të gjata.

Për strukturat e ndërtesave, të cilat kanë periodë relativisht të gjatë kur janë me bazë fikse, izolimi në bazë do të ishte shumë më pak i dobishëm sesa në një strukturë me periodë relativisht të shkurtër. Duke ditur se perioda e lëkundjeve të ndërtesave është e lidhur me numrin e kateve, arrihet në përfundimin se izolimi në bazë është më efektiv për ndërtesat e ulëta krahasimisht ndërtesave të larta. Në rast të strukturave të brishta me ngurtësi të lartë dhe shuarje të ulët, përdorimi i izolatorëve bën të mundur rritjen e duktilitetit efektiv pa rritje të deformimeve të elementëve strukturorë.

Izolimi në bazë i urave ka disa ndryshime nga izolimi i ndërtesave. Kjo është për shkak të disa karakteristikave të urave, siç janë: shumica e peshës është e përqëndruar në mbistrukturë, pra në një nivel horizontal, mbistruktura ka rezistencë të lartë ndaj forcave sizmike prandaj vetëm nënstruktura duhet mbrojtur, rezistenca sizmike shpesh është e ndryshme në të dy drejtimet ortogonale horizontale, gjatësore dhe tërthore. Objektivi i izolimit të urave është zakonisht për të mbrojtur mbështetjet dhe themelet dhe ndonjëherë për të mbrojtur ballnat e tyre. Kjo arrihet duke zvogëluar forcën inerciale që vjen nga mbistruktura dhe për rrjedhojë reduktimin e ngarkesave të përgjithshme sizmike. Izolimi sizmik i urave është efektiv kur plotësohen disa nga kushtet e mëposhtme:

- Themelet janë zakonisht të vështira për t'u inspektuar. Duke përdorur izolimin në bazë, kërkesa për duktilitet ulet dhe projektohet me faktor sjelljeje më të ulët (deri në vlerën q=1);
- Shumica e urave kërkojnë modifikime të vogla për të akomoduar një sistem izolimi, sepse mbistruktura e tyre ka nevojën për lëvizje të lirë për shkak të temperaturës apo faktorëve të tjerë;
- Izolimi sizmik i urave krijon mundësinë e realizimit të strukturave më të integruara dhe të balancuara me një shpërndarje më të mirë të ngarkesave sizmike midis pilave dhe ballnave.

Në mënyrë të përmbledhur strategjia e izolimit në bazë paraqet avantazhet e mëposhtme në krahasim me atë tradicionale:

- 1. Forca më të vogla në elementët strukturorë;
- 2. Forca më të vogla në strukturat e themeleve;
- **3.** Thjeshtësi të kontrollit të veprimeve përdredhëse, si rrjedhim forca më të vogla përdredhëse në të gjithë strukturën;
- **4.** Është lehtësisht e kuptueshme se nga sa thamë më sipër, në një strukturë të projektuar sipas kritereve të izolimit në bazë, nevojat për duktilitet bëhen shumë më pak të rëndësishme, ndryshe nga sa duhen në strukturat tradicionale;
- **5.** Reagimi i konstruksioneve të izoluar lejon të kalohen edhe shumë dyshime me natyrë praktike që janë prezente në fazën e projektit.
- 6. Vlerësimi i periodës vetiake të strukturave të izoluara, pra edhe përcaktimi i nxitimit përmes spektrit të projektimit, varet në mënyrë të veçantë nga karakteristikat mekanike të pajisjeve të izolimit. Këto realizohen në rrugë industriale dhe karakteristikat e tyre mekanike janë të testuara dhe të vlerësuara përmes provave të kualifikimit dhe të pranimit të cilat kanë një

nivel të lartë besueshmërie. Në të kundërt përcaktimi i periodës vetiake të lëkundjeve, pra edhe të reagimit të një strukture me bazë fikse varet nga sjellja, më e vështirë për t'u vlerësuar saktësisht, e elementëve të veçantë strukturorë dhe nga mënyra se si ato zbatohen. Në këtë rast hyjnë në lojë një numër i dukshëm papërcaktueshmërish dhe pasigurish, si për shembull shtangësia e zonave të plasaritura, sjellja efektive dhe dimensioni i çernierave plastike, sjellja e materialeve që mund të pësojnë degradime ciklike etj. Nuk është e thënë që duktiliteti real të përputhet me atë teorik, i cili duhet të justifikojë uljen e ordinatës për të kaluar nga spektri elastik në atë të projektimit.

**7.** Konsiderimi i bashkëveprimit të elementëve jo strukturorë, në veçanti ai i mureve jombajtës. Në përgjithësi influenca e tyre nuk merret parasysh, por kjo mund ta ndryshojë shumë reagimin real nga ai mbi të cilin janë bazuar analizat e projektit. Ndërsa në strukturat me bazë të izoluar, forma e parë që është gati një zhvendosje translative pa deformime e strukturës (gati rigjide) nuk e ndjen praninë ose jo të mureve jombajtës dhe kjo do të thotë që vlerat e projektit do të jenë më të pritshme dhe më afër realitetit.

Pozicioni më i përshtatshëm i vendosjes së izolatorëve është midis mbështetjeve dhe mbistrukturës siç paraqitet skematikisht në Figurën 1.16, por ka dhe raste kur izolatorët vendosen në fund të pilave apo kur kryhet izolimi i pjesshëm me vendosje të izolatorëve vetëm në ballna.



Figura 1. 16: Pozicioni më i përdorshëm i izolatorëve në ura

## 1.6 Eurokodi për Strukturat e Izoluara në Bazë

#### 1.6.1 Përkufizime (Eurokodi 8)

*Sistem izolator:* Bashkësi elementësh që përdoren për të siguruar izolimin sizmik, të cilët vendosen mbi nivelin e izolimit (vendosen zakonisht poshtë masës kryesore të strukturës)

*Niveli i izolimit:* Hapësira që ndan nënstrukturën nga mbistruktura në të cilën vendoset sistemi izolues. Në ndërtesa, rezervuare dhe sillosa niveli izolues bëhet zakonisht në bazën e strukturës. Në ura sistemi izolues zakonisht është një kombinim izolatorësh dhe niveli i izolimit pozicionohet midis pjesës kaluese dhe pilave ose ballnave.

*Pajisja izoluese (izolatori):* Elementët përbërës të sistemit izolues. Pajisjet e marra në konsideratë në këtë seksion konsistojnë në pajisje mbajtëse prej gome të armuar, pajisje elasto-

plastike, shuarësa viskoz ose me fërkim, sistem lavjerrës dhe pajisje të tjera, sjellja e të cilave është konform **10.1(2)**. Çdo izolator realizon një ose disa nga funksionet e mëposhtme:

- Aftësi për të përballuar ngarkesat vertikale, duke siguruar fleksibilitet të rritur horizontal dhe rigjiditet të lartë vertikal;
- Përthithje të energjisë, histeretike ose viskoze;
- Aftësi qendërzimi;
- Kufizim horizontal (ngurtësi e mjaftueshme elastike) nën veprimin e ngarkesave jo-sizmike horizontale të shërbimit.

*Nënstruktura:* Për ndërtesat - pjesë e strukturës që ndodhet poshtë nivelit të izolimit, duke përfshirë këtu edhe themelin. Fleksibiliteti anësor i nënstrukturës është zakonisht i neglizhueshëm krahasuar me atë të sistemit izolues. Për urat - pjesë e strukturës e pozicionuar nën nivelin e izolimit, që zakonisht përfshin pilat dhe ballnat. Në përgjithësi, fleksibiliteti horizontal i nënstrukturës duhet të merret në konsideratë.

*Mbistruktura:* Për ndërtesat - pjesa e strukturës që ndodhet sipër nivelit të izolimit. Për urat - përgjithësisht kjo është pjesa kaluese.

*Izolim i plotë:* Mbistruktura konsiderohet e izoluar plotësisht nëse nën tërmetin e projektimit, ajo reagon brenda stadit elastik. Në të kundërt mbistruktura konsiderohet e izoluar pjesërisht.

*Qendra efektive e ngurtësisë:* Qendra e ngurtësisë e llogaritur në pjesën e sipërme të nivelit të izolimit, d.m.th. që përfshin fleksibilitetin e izolatorëve dhe atë të nënstrukturës. Në ndërtesa, rezervuarë dhe struktura të ngjashme, fleksibiliteti i nënstrukturës mund të neglizhohet në përcaktimin e kësaj pike, e cila në këtë rast përputhet me qendrën e ngurtësisë së izolatorëve.

*Zhvendosja e projektimit* ( $d_{dc}$ ) *e sistemit izolues në një drejtim kryesor:* Zhvendosja maksimale horizontale e qendrës efektive të ngurtësisë midis pjesës më të lartë të nënstrukturës dhe pjesës më të ulët të mbistrukturës, që ndodh nën veprimin sizmik të projektimit.

Zhvendosja totale e projektimit e një pajisje izoluese në një drejtim kryesor: Zhvendosja maksimale horizontale në pozicionin e pajisjes, duke përfshirë këtu zhvendosjen për shkak të zhvendosjes së projektimit dhe atë të rrotullimit global për shkak të përdredhjes rreth aksit vertikal.

*Zhvendosja e projektimit* ( $d_{bi}$ ) *e izolatorit i:* Zhvendosja e mbistrukturës lidhur me nënstrukturën në vendndodhjen e izolatorit, korresponduese me zhvendosjen e projektimit të sistemit izolues.

*Zhvendosja e rritur e projektimit* ( $d_{bi,a}$ ) *e izolatorit i:* Zhvendosja e projektimit e izolatorit, e shumëzuar me një faktor amplifikimi  $\gamma_{IS}$  në përputhje me **7.6.2**.

*Zhvendosja totale e projektimit e një elementi, i, të izolatorit:* Shuma e zhvendosjeve të rritura të projektimit, e zhvendosjeve të mbetura për shkak të ngarkesave të përhershme, e deformimeve afatgjata të mbistrukturës (post-tensionimi, tkurrja dhe deformkoha e pjesës kaluese prej betoni) dhe 50% e zhvendosjeve për shkak të lëvizjeve termike.

*Ngurtësia efektive e sitstemit izolues në një drejtim kryesor:* Raporti i vlerës së forcës totale horizontale të transmetuar përmes hapësirës izoluese kur ndodh zhvendosja e projektimit, sipas të njëjtit drejtim, pjesëtuar me vlerën absolute të zhvendosjes së projektimit (ngurtësi sekante). Ngurtësia efektive zakonisht gjendet nga analizat dinamike të një-pas-njëshme.

*Perioda efektive:* Perioda themelore, në drejtimin e marrë në konsideratë, e një sistemi me një shkallë lirie që ka masën e mbistrukturës dhe ngurtësi të barabartë me ngurtësinë efektive të sistemit izolator.

*Shuarje efektive e sistemit izolator në një drejtim kryesor:* Vlera e shuarjes viskoze efektive që korrespondon me energjinë e përthithur nga sistemi izolues gjatë reagimit ciklik për zhvendosjen e projektimit.

*Izolatorë të thjeshtë prej gome me shuarje të ulët:* Izolatorë prej gome të armuar me shuarje të ulët në përputhje me EN 1337-3:2005, jo subjekt i prEN 15129:20X (Pajisjet Antisizmike).

*Izolatorë të veçantë prej gome:* Izolatorë prej gome të armuar me shuarje të lartë të testuara suksesshëm në përputhje me kërkesat e prEN 15129:200X (Pajisjet Antisizmike).

# 1.6.2 Eurokodi për ndërtesat e izoluara në bazë<sup>1</sup>

# 1.6.2a Kritere të përgjithshme

- 1. Ndër kërkesat bazë të strukturave të zakonshme, për strukturat e izoluara në bazë kërkohet dhe besueshmëri më e lartë për pajisjet izoluese. Kjo arrihet me aplikimin e një faktori zmadhues  $\gamma_x$  për zhvendosjet sizmike të çdo izolatori. Për ndërtesat, vlera e rekomanduar është  $\gamma_x = 1.2$ .
- 2. Në gjendjen kufitare të dëmtimeve, të gjithë rrjetet inxhinierike që kalojnë në strukturën e izoluar duhet të mbeten brenda stadit elastik, ndërkohë që driftet në nënstrukturë dhe mbistrukturë duhet të zvogëlohen.
- **3.** Në gjendjen e fundit kufitare, pajisjet izoluese mund të arrijnë kapacitetin e tyre të fundit, ndërkohë që mbistruktura dhe nënstruktura mbeten brenda stadit elastik. Kështu nuk është i nevojshëm projektimi sipas kapaciteteve dhe detajimi duktil i mbistrukturës apo nënstrukturës.
- **4.** Përsa i përket rezistencës dhe deformueshmërisë së pajisjes izoluese, kapaciteti i fundit i tyre nuk duhet të tejkalohet, përfshirë këtu dhe faktorët përkatës të sigurisë (shiko **10.10(6)**).

# 1.6.2b Kritere projektimi

- 1. Duhet të sigurohet një hapësirë e mjaftueshme midis mbistrukturës dhe nënstrukturës, bashkë me masa të tjera të nevojshme, për të lejuar inspektimin, mirëmbajtjen dhe zëvendësimin e pajisjeve gjatë jetëgjatësisë së tyre në strukturë.
- **2.** Nëse është e nevojshme, këto pajisje duhet të mbrohen nga efekte të mundshme të rrezikshme, të tilla si zjarri, dhe veprime kimike ose biologjike.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> EN 1998 – 1: 2004

- **3.** Për të minimizuar efektin e përdredhjes, qendra efektive e ngurtësisë dhe qendra e shuarjes së sistemit izolator duhet të jenë sa më pranë të jetë e mundur me qendrën e projektuar të masës së nivelit të izolimit.
- **4.** Për të minimizuar sjellje të ndryshme të pajisjeve izoluese, sforcimi shtypës i shkaktuar nga ngarkesat e përhershme duhet të jetë sa më uniform të jetë e mundur.
- 5. Pajisjet duhet të fiksohen si në mbistrukturë ashtu edhe në nënstrukturë.
- **6.** Sistemi izolues duhet të projektohet në mënyrë të tillë që të kontrollojë edhe goditjet apo lëvizjet e mundshme përdredhëse. Ky kriter mendohet të plotësohet nëse efektet e goditjeve të mëdha shmangen përmes pajisjeve të përshtatshme.
- 7. Elementët strukturorë të pozicionuar sipër dhe poshtë nivelit të izolimit duhet të jenë mjaftueshëm rigjidë në të dy drejtimet, horizontale dhe vertikale, në mënyrë të tillë që të minimizohet efekti i lëkundjeve sizmike diferenciale të truallit. Kjo nuk aplikohet te urat ose strukturat e larta, ku pilat e pozicionuara poshtë nivelit të izolimit mund të jenë të deformueshme. Ky kriter konsiderohet i plotësuar kur plotësohen të gjitha kushtet e mëposhtme:
  - Sipër dhe poshtë sistmemit izolues sigurohet një diafragmë rigjide, që konsiston në një soletë betoni të armuar ose në një rrjetë trarësh lidhës, të projektuar duke marrë në konsideratë të gjitha format e qëndrueshmërisë lokale dhe globale. Kjo diafragmë rigjide nuk është e nevojshme nëse struktura është strukturë rigjide e tipit BOKS.
  - Pajisjet përbërëse të sistemit izolues janë të fiksuara në të dy fundet në diafragmat rigjide të përshkruara më lart, ose në mënyrë të drejtpërdrejtë, ose, nëse nuk është e mundur nga ana praktike, përmes përdorimit të elementëve vertikalë, zhvendosja relative horizontale e të cilëve nën tërmetin e projektimit është më e ulët se 1 / 20 e zhvendosjes relative të sistemit izolator.
- 8. Midis mbistrukturës së izoluar dhe mjedisit rrethues duhet siguruar një hapësirë e mjaftueshme për të lejuar zhvendosjet e saj në të gjitha drejtimet, nën veprimin sizmik të projektimit.

## 1.6.2c Karakteristikat e sistemit izolues

- 1. Vlerat e karakteristikave fizike dhe mekanike të sistemit të izolimit që do përdoret në këtë analizë, duhet të jenë ato më të disfavorshmet që mund të ketë sistemi gjatë jetëgjatësisë së tij në strukturë. Ato duhet të reflektojnë ndikimin e:
  - Shkallës së ngarkimit;
  - Madhësisë së ngarkesës vertikale të njëkohshme;
  - Madhësisë së ngarkesës horizontale të njëkohshme në drejtimin tërthor;
  - Temperaturës; dhe
  - Ndryshimit të karakteristikave gjatë jetëgjatësisë së projektuar.
- 2. Nxitimi dhe forcat inerciale të shkaktuara nga tërmeti duhet të vlerësohen duke marrë në konsideratë vlerat maksimale të ngurtësisë dhe vlerat minimale të shuarjes dhe koeficientit të fërkimit.
- **3.** Zhvendosjet duhen vlerësuar duke marrë në konsideratë vlerat minimale të ngurtësisë, shuarjes dhe koeficientit të fërkimit.

**4.** Në ndërtesa të rëndësisë I dhe II, vlerat kryesore të parametrave fizike dhe mekanike duhet të përdoren, duke siguruar që vlerat ekstremale (maksimum ose minimum) të mos ndryshojnë më shumë se 15% nga vlerat mesatare statistikore.

## 1.6.2d Veprimi sizmik

- **1.** Dy komponentet horizontale dhe komponentja vertikale e veprimit sizmik duhet të konsiderohen me veprim të njëkohshëm. Secila komponente përcaktohet sipas **3.2** në bazë të spektrit elastik duke aplikuar konditat lokale të truallit dhe nxitimin e projektimit të tokës a<sub>g</sub>. Kombinimi i komponenteve të veprimit sizmik jepet në **4.3.3.5**.
- 2. Në ndërtesa me faktor rëndësie IV, duhet të merret në konsideratë spektri specifik i truallit duke përfshirë efektin e tërmetit të afërt, nëse ndërtesa është e pozicionuar në një distancë më pak se 15 km nga vatra më e afërt aktive e tërmetit, me magnitude  $M_s \ge 6.5$ . Një spektër i tillë nuk duhet të merret si më i vogel se spektri standart.
- **3.** Faktori i sjelljes duhet të pranohet q = 1 përveç rasteve të përshkruara në **10.10(5)**.

## 1.6.2e Analiza strukturore

- **1.** Reagimi dinamik i sistemit strukturor duhet të analizohet në bazë të nxitimit, forcave inerciale dhe zhvendosjeve.
- **2.** Në ndërtesa, duhet të merret në konsideratë dhe efekti i përdredhjes, duke përfshirë dhe efektet e jashtëqendërsisë aksidentale.
- **3.** Modelimi i sistemit izolator duhet të reflektojë me një siguri të mjaftueshme shpërndarjen hapësinore të elementëve të izolimit, në mënyrë që të marrë në konsideratë transmetimin në të dy drejtimet horizontale, efektet përkatës përmbysës dhe rrotullimin sipas aksit vertikal. Ky modelim duhet të reflektojë karakteristikat e tipeve të ndryshme të elementëve përbërës të sistemit izolues.

## I) Analiza ekuivalente lineare

- **1.** Sjellja e sistemit të izoluar mund të konsiderohet si ekuivalente lineare nëse plotësohen kushtet e mëposhtme:
  - Ngurtësia efektive e sistemit izolues nuk është më pak se 50% e ngurtësisë efektive për një zhvendosje 0.2 d<sub>dc</sub>;
  - Shuarja efektive e sistemit izolues nuk duhet të kalojë vlerën 30%;
  - Karakteristikat force zhvendosje të sistemit izolues nuk ndryshojnë më shumë se 10% prej shkallës së ngarkimit ose prej ngarkesave vertikale; dhe
  - Rritja e forcës vepruese në sistemin izolues për zhvendosje midis 0.5  $d_{dc}$  dhe  $d_{dc}$  nuk është më e ulët se 2.5% e ngarkesës totale të peshës së mbistrukturës.
- 2. Nën këto kushte sistemi izolues mund të modelohet me sjellje ekuivalente lineare viskoelastike nëse konsiston në pajisje të tilla si izolatorë me gomë të armuar, ose me sjellje bilineare histeretike nëse konsiston në pajisje të tipit elasto-plastike.
- 3. Nëse përdoret një model ekuivalent linear, duhet të përdoret ngurtësia efektive e çdo elementi të izolatorit (vlera sekante e ngurtësisë për zhvendosje totale të projektimit  $d_{db}$ ). Ngurtësia efektive  $K_{eff}$  e sistemit izolues është shuma e ngurtësive efektive të çdo izolatori. Kurse

energjia e shuar nga izolatori duhet të shprehet në terma të shuarjes ekuivalente viskoze, si "shuarje efektive" ( $\xi_{eff}$ ). Energjia e shuar në izolator duhet të shprehet lidhur me energjinë e matur të shuar për cikël me frekuenca në intervalin e frekuencave natyrore të modeve të marrë në konsideratë. Për mode të larta, jashtë këtij intervali, raporti i shuarjes modale të strukturës së plotë duhet të jetë sa i mbistrukturës me bazë fikse.

4. Kur ngurtësia efektive ose shuarja efektive e një elementi të caktuar të izolatorit varet nga zhvendosja e projektimit  $d_{dc}$ , duhet të aplikohet një procedurë me cikle, deri sa diferenca midis vlerave të supozuara dhe të llogaritura të  $d_{dc}$  të mos kalojë 5% të vlerës së supozuar.

#### II) Analiza e thjeshtuar lineare

1. Kjo analizë konsideron dy lëvizje translative (dinamike) horizontale dhe mbivendos efektet statike të përdredhjes. Ajo supozon se mbistruktura është rigjide, solide, që lëviz mbi sistemin izolues. Perioda efektive llogaritet:

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

ku M është masa e mbistrukturës; dhe  $K_{eff}$  ngurtësia efektive horizontale e sistemit izolues.

- 2. Lëvizja përdredhëse rreth aksit vertikal mund të neglizhohet në vlerësimin e ngurtësisë efektive horizontale dhe në analizën e thjeshtuar lineare nëse, në secilin prej dy drejtimeve kryesore horizontale, jashtëqendërsia totale (duke përfshirë atë aksidentale) midis qendrës së ngurtësisë së sistemit izolues dhe projeksionit vertikal të qendrës së masës së mbistrukturës nuk kalon 7.5% të gjatësisë tërthore të mbistrukturës në drejtimin horizontal të konsideruar. Ky është një kusht për aplikimin e analizës së thjeshtuar lineare.
- **3.** Kjo metodë mund të përdoret për sistemet izoluese me sjellje shuarëse ekuivalente lineare, nëse ata plotësojnë të gjithë kushtet e mëposhtme:
  - Distanca nga vatra e tërmetit me magnitudë  $M_s \ge 6.5$ , është më e madhe se 15 km;
  - Përmasa më e madhe e mbistrukturës në plan nuk është më e madhe se 50 m;
  - Nënstruktura është mjaftueshëm rigjide për të minimizuar efektin e zhvendosjeve diferenciale të truallit;
  - Të gjitha pajisjet pozicionohen mbi elementët e nënstrukturës që përballojnë ngarkesat vertikale;
  - Perioda efektive  $T_{eff}$  kënaq kushtin  $3T_f \leq T_{eff} \leq 3 \text{ sek}$  ku  $T_f$  është perioda themelore e mbistrukturës duke supozuar se ka një bazë fikse (vlerësuar përmes një shprehjeje të thjeshtuar);
  - Sistemi rezistent i forcave anësore të mbistrukturës duhet të jetë i rregullt dhe simetrik kundrejt të dy akseve kryesorë të strukturës në plan;
  - Efekti përmbysës (rocking) në bazën e nënstrukturës duhet të jetë i neglizhueshëm;
  - Raporti midis ngurtësisë vertikale dhe horizontale të sistemit izolues duhet të kënaqë shprehjen e mëposhtme:

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

• Perioda themelore në drejtimin vertikal,  $T_{\nu}$ , nuk duhet të jetë më e madhe se 0.1 sek ku

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

**4.** Zhvendosja e qendrës së ngurtësisë për shkak të veprimit sizmik, duhet të llogaritet në secilin drejtim horizontal, nga shprehja e mëposhtme:

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

ku  $S_e(T_{eff}, \xi_{eff})$  është spektri elastik i nxitimit duke marrë në konsideratë vlerën e përshtatshme të shuarjes efektive  $\xi_{eff}$ .

**5.** Forcat horizontale të aplikuara në çdo nivel të mbistrukturës duhet të llogariten për çdo drejtim horizontal në bazë të shprehjes

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

ku m<sub>j</sub> është masa e katit j.

Ky sistem forcash shkakton efektin përdredhës për shkak të jashtëqendërsive të kombinuara natyrore dhe aksidentale.

#### III) Analiza në fushën kohore

- Nëse një sistem izolues nuk mund të përfaqësohet nga një model ekuivalent linear, reagimi sizmik duhet të vlerësohet nga analiza në fushën kohore, duke përdorur parametrat e izolatoreve të cilët përfaqësojnë sjelljen e sistemit izolues në madhësitë e deformimeve dhe shpejtësive të shkaktuara në situatën sizmike të projektimit.
- 2. Duhet të përdoren të paktën tre lëkundje të bazamentit.

# 1.6.3 Eurokodi për urat e izoluara në bazë<sup>2</sup>

#### 1.6.3a Kritere të përgjithshme

- *1.* Reagimi sizmik i mbistrukturës dhe nënstrukturës nën veprimin sizmik të projektimit duhet të supozohet me duktilitet të kufizuar ( $q \le 1.5$ ).
- **2.** Kërkohet një besueshmëri më e lartë për rezistencën dhe integritetin e sistemit izolator, për shkak të rolit kritik të aftësisë së tij të zhvendosjeve në sigurinë e urës.
- **3.** Për të gjitha llojet e pajisjeve izoluese, me përjashtim të izolatorëve të thjeshtë me shuarje të ulët dhe izolatorëve me fërkim, karakteristikat e projektimit duhet të vlerësohen në bazë të testeve të cilësisë dhe të kampioneve.

#### 1.6.3b Kritere projektimi të sistemit izolues

**1.** Të gjithë izolatorët duhet të jenë konform EN pr15129: 200X (Pajisjet Antisizmike) ose të jenë në përputhje me ETA (Miratime Teknike Evropiane "European Technical Approval").

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> EN 1998 – 2: 2005 + A2: 2011

**2.** Marrëdhënia force – zhvendosje e izolatorit në drejtimin horizontal mund të përafrohet me marrëdhënien bilineare, siç tregohet në figurën e mëposhtme:



Figura 1. 17: Përafrimi bilinear i sjelljes histeretike force – zhvendosje

Parametrat e përafrimit bilinear janë:

 $d_y$  – zhvendosja e rrjedhshmërisë;

 $d_{db}$  – zhvendosja e projektimit e izolatorit, korresponduese me zhvendosjen e projektimit  $d_{dc}$  të sistemit izolues;

 $E_d$  – energjia e shuar për cikël në zhvendosjen e projektimit  $d_{db}$ , e barabartë me sipërfaqen e mbyllur nga cikli i histerezisë =  $4(F_v d_{bd} - F_{max} d_y)$ ;

 $F_y$  – forca e rrjedhshmërisë nën veprimin e ngarkesave graduale;

 $F_0$  – forca për zhvendosje zero nën veprimin ciklik =  $F_y$  -  $K_p d_y$ ;

 $F_{max}$  – forca maksimale që i korrespondon zhvendosjes së projektimit  $d_{db}$ ;

 $K_e$  – ngurtësia elastike nën veprimin e ngarkesave graduale =  $F_y/d_y$ , gjithashtu e barabartë me ngurtësinë gjatë shkarkimit në ngarkim ciklik; dhe

 $K_p$  – shtangësia post elastike =  $(F_{max} - F_y)/(d_{bd} - d_y)$ 

- **3.** Izolatorët prej gome të përforcuar me pllaka çeliku me shuarje të ulët janë ato me raport të shuarjes viskoze  $\xi$ , më pak se 0.06. Këta kanë një sjellje ciklike të ngjashme me sjelljen histeretike me cikle shumë të ngushta. Sjellja e tyre duhet të përafrohet me atë të një elementi elastik linear me ngurtësi ekuivalente elastike sipas drejtimit horizontal të barabartë me  $G_bA_b/t_c$  ku  $G_b$  është moduli i prerjes i elastomerit (gomës),  $A_b$  është sipërfaqja efektive horizontale dhe  $t_c$  është trashësia totale e elastomerit.
- 4. Izolatorët prej gome të përforcuara me pllaka çeliku me shuarje të lartë shfaqin cikle të konsiderueshme të histerezisë, korresponduese me një shuarje viskoze ekuivalente  $\xi = (0.10 0.20)$ . Sjellja e tyre duhet të konsiderohet si bilineare.
- **5.** Karakteristikat e projektimit të izolatorëve prej gome të perdorur në këtë seksion duhet të plotësojnë si kushtet e ngarkimit ashtu dhe të shkarkimit.
- 6. Izolatorët me bërthamë plumbi konsistojnë në izolatorë me shuarje të ulët me një bërthamë cilindrike plumbi. Rrjedhshmëria e kësaj të fundit u siguron këtyre pajisjeve sjelljen histeretike. Kjo sjellje mund të përfaqësohet nga përafrimi bilinear i treguar në Figurën 2.17 më lart, me parametrat e mëposhtëm:
  - Ngurtësia elastike  $K_c = K_L + K_R$  ku  $K_R$  dhe  $K_L$  janë ngurtësia në prerje e pajisjes elastomere dhe pjesëve prej plumbi, respektivisht;

- Ngurtësia post elastike  $K_p = K_R$ ; dhe
- Forca e rrjedhshmërisë  $F_y = F_{Ly} (1 + K_R/K_L)$  ku  $F_{Ly}$  është forca e rrjedhshmërisë së bërthamës së plumbit.

## 1.6.3c Karakteristikat e sistemeve izolues

- Karakteristikat nominale të pajisjeve të izolatorit, dhe gjithashtu ato të sistemit izolues, mund të ndikohen nga mosha, temperatura dhe historia e ngarkimit (scragging). Ndryshueshmëria duhet të merret në konsideratë, duke përdorur dy grupimet e mëposhtme të karakteristikave të sistemit izolator:
  - karakteristikat e kufirit të sipërm të projektimit (UBDP), dhe
  - karakteristikat e kufirit të poshtëm të projektimit (LBDP).
- 2. Në përgjithësi, pavarësisht metodës analitike, duhet të zhvillohen dy analiza: njëra duke përdorur karakteristikat e kufirit të sipërm të projektimit që çon në forca maksimale në nënstrukturë dhe në pjesën kaluese, dhe tjetra duke përdorur karakteristikat e kufirit të poshtëm të projektimit që çon në zhvendosje maksimale të sistemit izolues dhe pjesës kaluese të urës.
- 3. Analiza spektrale multimodale dhe analiza në fushën kohore, mund të zhvillohen në bazat e dy grupimeve të mësipërme të karakteristikave, vetëm nëse zhvendosja e projektimit  $d_{dc}$  që rezulton nga analiza e modit themelor, bazuar në të dy grupimet e mësipërme të karakteristikave, nuk ndryshon më shumë se ±15% nga ajo korresponduese me karakteristikat e projektimit.
- **4.** Moduli i prerjes i izolatorëve prej gome me shuarje të ulët  $G_b = \alpha G_g$  ku  $G_g$  është vlera e "modulit të prerjes konvencionalisht të dallueshëm" në përputhje me EN 1337-3: 2005, kurse shuarja viskoze ekuivalente është  $\xi_{eff} = 0.05$ .
- 5. Ndryshimi i karakterisikave të projektimit të izolatorëve me shuarje të ulët, për shkak të moshës dhe temperaturës, mund të kufizohen nga vlera e  $G_b$  e supozuar si më poshtë:
  - për LBDP  $G_{b,min} = G_b$
  - për UBDP varet nga "temperatura minimale për projektim sizmik"  $T_{min,b}$  si më poshtë: \* nëse  $T_{min,b} \ge 0^{\circ}$ C,  $G_{b,max} = 1.2G_b$ 
    - \* nëse  $T_{min,b} < 0^{\circ}$ C, vlera e  $G_{b,max}$  duhet të korrespondojë me atë të  $T_{min,b}$ .
- **6.** Pajisjet e izolatorit që përballojnë ngarkesat vertikale duhet të jenë mjaftueshëm rigjide ne drejtimin vertikal.

## 1.6.3d Veprimi sizmik

- 1. Spektri i përdorur nuk duhet të jetë më i vogël së spektri elastik i reagimit.
- **2.** Dy komponentet horizontale dhe komponentja vertikale e veprimit sizmik duhet të konsiderohen me veprim të njëkohshëm. Secila komponente përcaktohet sipas **3.2** në bazë të spektrit elastik duke aplikuar konditat lokale të truallit dhe nxitimin e projektimit të tokës.
- **3.** Efektet e komponentes vertikale të veprimit sizmik mund të përcaktohen nga analiza lineare e spektrit të reagimit, pavarësisht metodës së përdorur për përcaktimin e reagimit ndaj veprimit horizontal sizmik.
- 4. Për kombinimin e efekteve të veprimit aplikohen kushtet 4.2.1.4.

#### 1.6.3e Analiza strukturore

- **1.** Reagimi dinamik i sistemit strukturor duhet të analizohet në bazë të nxitimit, forcave inerciale dhe zhvendosjeve.
- 2. Modelimi i sistemit izolues duhet të reflektojë me një siguri të mjaftueshme shpërndarjen hapësinore të elementëve të izolimit, në mënyrë që të marrë në konsideratë transmetimin në të dy drejtimet horizontale, efektet përkatës përmbysës dhe rrotullimin sipas aksit vertikal. Ky modelim duhet të reflektojë karakteristikat e tipeve të ndryshme të elementëve përbërës të sistemit izolues.
- **3.** Marrëdhënia e zakonshme force zhvendosje e sistemit izolues duhet të përafrohet me saktësi të mjaftueshme me ngurtësinë efektive ( $K_{eff}$ ) d.m.th., vlera sekante e ngurtësisë në zhvendosjen e projektimit.
- **4.** Energjia e shuar nga sistemi izolues duhet të shprehet në terma të shuarjes ekuivalente viskoze si shuarje efektive ( $\xi_{eff}$ ).
- 5. Nëse sistemi izolues konsiston vetëm në izolatorë gome me shuarje të ulët (raporti i shuarjes ekuivalente viskoze është afërsisht 0.05), mund të aplikohet metoda normale dinamike lineare e specifikuar në 4.2. Izolatorët prej gome mund të konsiderohen si linearë elastikë, që deformohen në prerje (dhe ndoshta dhe në shtypje). Shuarja e tyre mund të supozohet si e barabartë me shuarjen viskoze globale të strukturës (shiko 7.5.2.3.3(2)). Struktura në tërësi duhet të qëndrojë kryesisht elastike.

#### I) Analiza e formës bazë

- 1. Analiza spektrale e formës bazë mund të aplikohet nëse plotësohen të gjitha kushtet e mëposhtme:
  - Distanca e vendndodhjes së urës nga vatra më e afërt e tërmetit i kalon 10 km;
  - Kushtet e truallit të vendndodhjes së urës korrespondojnë me njërin nga tipet e truallit A, B, C ose E të EN 1998-1:2004; dhe
  - Raporti i shuarjes efektive nuk e kalon vlerën 0.30.
- 2. Në të gjitha rastet duhet të përdoret modeli rigjid i pjesës kaluese të urës.
- **3.** Forca prerëse që transferohet përmes nivelit të izolimit sipas secilit drejtim kryesor duhet të përcaktohet duke marrë në konsideratë mbistrukturën si një sistem me një shkallë lirie, dhe duke përdorur:
  - Ngurtësinë efektive të sistemit izolues,  $K_{eff} = \sum K_{eff,i}$  ku  $K_{eff,i}$  është ngurtësia e plotë e pajisjeve izoluese që i korrespondon nënstrukturës (pilës) *i*. Nëse duhet të merret në konsideratë edhe nënstruktura atëherë:

$$K_{eff} = \sum_{j} \frac{k_{sub} k_{eff}}{k_{sub} + k_{eff}} = \sum_{j} K_{eff,j}$$

• Shuarjen efektive të sistemit izolues

$$\xi_{eff} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\sum E_{D,i}}{K_{eff} d_{cd}^2} \right]$$

ku  $\sum E_{D,i}$  është shuma e energjisë së shuar nga të gjithë izolatorët, *i*, në një cikël të plotë deformimi për zhvendosje projektimi d<sub>dc</sub>

- Masën e mbistrukturës, *M*<sub>d</sub>
- Nxitimin spektral  $S_e(T_{eff}, \eta_{eff})$  (shiko EN 1998-1:2004, **3.2.2.2**) lidhur me periodën efektive  $T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{M_d}{K_{eff}}}$  me koeficientin e shuarjes efektive  $\eta_{eff} = \eta(\xi_{eff})$ .
- **4.** Me shprehjet e mësipërme në mënyrë të përmbledhur, nxitimi spektral dhe zhvendosja e projektimit paraqitet në Tabelën 1.1.

**Tabela 1. 1:** Nxitimi spektral  $S_e$  dhe zhvendosja e projektimit  $d_{dc}$ 

T <sub>eff</sub>	S <sub>e</sub>	$d_{dc}$
$T_C \le T_{eff} \le T_D$	$2.5 \frac{T_C}{T_{eff}} a_g S \eta_{eff}$	$\frac{T_{eff}}{T_C}d_C$
$T_D \le T_{eff} \le 4 s$	$2.5 \frac{T_C T_D}{T_{eff}^2} a_g S \eta_{eff}$	$\frac{T_D}{T_C}d_C$

Nëse i paraqesim në trajtë grafiku kemi:



Figura 1. 18: Spektri i nxitimit dhe i zhvendosjeve

ku  $a_g = \gamma_1 a_{g,R}$  dhe  $d_C = \frac{0.625}{\pi^2} a_g S \eta_{eff} T_C^2$ ;

Vlera e  $\eta_{eff}$  duhet të merret nga shprehja:  $\eta_{eff} = \sqrt{\frac{0.10}{0.05 + \xi_{eff}}} \ge 0.40;$ 

Vlera maksimale e forcës prerëse:  $V_d = M_d S_e = K_{eff} d_{cd}$ ;

S,  $T_C$ , dhe  $T_D$  janë parametrat e spektrit të projektimit në varësi të llojit të truallit;

 $a_g$  është nxitimi i projektimit të truallit të tipit A lidhur me kategorinë e rëndësisë së urës;

 $\gamma_1$  është faktori i rëndësisë së urës; dhe

 $a_{g,R}$  është nxitimi i projektimit i referimit i truallit (lidhur me periodën e rikthimit).

5. Ngurtësia e plotë e sistemit të një pile dhe izolatorit të urës,  $K_{eff,i}$ , përbëhet nga ngurtësitë e veçanta të cilat në mënyrë skematike paraqiten në Figurën 1.19 më poshtë:



Figura 1. 19: Ngurtësia e plotë e sistemit pilë - izolator

Ngurtësia e plotë e sistemit pilë - izolator përcaktohet nga formula:

$$\frac{1}{K_{eff,i}} = \frac{1}{K_{bi}} + \frac{1}{K_{ti}} + \frac{1}{K_{si}} + \frac{H_i^2}{K_{fi}}$$

ku  $K_{si}$  ngurtësia e zhvendosjes horizontale të pilës;  $K_{ti}$  ngurtësia translative e themelit;

 $K_{fi}$  ngurtësia rrotulluese e themelit;  $K_{bi}$  ngurtësia efektive e izolatorit.

Fleksibiliteti i izolatorit dhe zhvendosja relative e tij  $d_{bi} = \frac{F_i}{K_{bi}}$  është zakonisht më e

madhe se sa komponentet e tjera. Për këtë arsye shuarja efektive e sistemit varet vetëm nga shuma e energjive të përthithura nga izolatori  $\sum E_{di}$ .

- 6. Në sistemet kryesisht jolineare,  $K_{eff}$  dhe  $\xi_{eff}$  varen nga zhvendosja e projektimit  $d_{dc}$ . Duhet të bëhen përafrime të një-pas-njëshme të  $d_{dc}$  për të kufizuar shmangiet midis vlerave të pranuara dhe atyre të llogaritura brenda kufijve ±5%.
- 7. Për përcaktimin e efekteve të veprimit sizmik në sistemin izolues dhe në nënstrukturë sipas drejtimit kryesor tërthor (le të themi y), ndikimi i jashtëqendërsisë në plan në drejtimin gjatësor  $e_x$  (midis qendrës efektive të ngurtësisë dhe qendrës së masës së pjesës kaluese të urës) në zhvendosjet  $d_{di}$  të mbistrukturës mbi pilën *i*, duhet të vlerësohet si më poshtë:

$$d_{di} = \delta_i d_{dc}$$
$$\delta_i = 1 + \frac{e_x}{r r_x} x_i$$

me

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

ku  $e_x$  është jashtëqendërsia në drejtimin gjatësor; r është rrezja e rrotullimit të masës së mbistrukturës së urës sipas aksit vertikal, rreth qendrës së masës së saj;

 $x_i$  dhe  $y_i$  janë koordinantat e pilës *i* në lidhje me qendrën efektive të ngurtësisë;  $K_{xi}$  dhe  $K_{yi}$  janë ngurtësitë efektive të plota të sistemit izolator – pilë, përkatësisht sipas drejtimeve *x* dhe *y*.

#### II) Analiza spektrale multimodale

- 1. Analiza spektrale multimodale mund të aplikohet nëse plotësohen kushtet:
  - Distanca e vendndodhjes së urës nga vatra më e afërt e tërmetit i kalon 10 km; dhe
  - Kushtet e truallit të vendndodhjes së urës korrespondojnë me njërin nga tipet e truallit A, B, C ose E të EN 1998-1: 2004.
- 2. Modelimi i sistemit izolues duhet të reflektojë me saktësi të mjaftueshme:
  - shpërndarjen hapësinore të pajisjeve të izolatorit dhe efektet përkatëse të përmbysjes;
  - lëvizjen sipas dy drejtimeve horizontale dhe rrotullimin rreth aksit vertikal të mbistrukturës.
- **3.** Modelimi i mbistrukturës duhet të reflektojë me saktësi të mjaftueshme deformimin e saj në plan. Nuk është e nevojshme të merret në konsideratë jashtëqendërsia aksidentale e masës.
- 4. Modelimi i nënstrukturës duhet të reflektojë me saktësi të mjaftueshme shpërndarjen e karakteristikave të ngurtësive të tyre dhe të paktën ngurtësinë rrotulluese të themelit. Kur pila ka masë dhe lartësi të konsiderueshme, ose nëse është e zhytur në ujë, shpërndarja e masës së saj gjithashtu duhet të modelohet në mënyrë të përshtatshme.
- 5. Shuarja efektive e dhënë me shprehjen  $\xi_{eff} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\sum E_{D,i}}{K_{eff} d_{cd}^2} \right]$  mund të aplikohet vetëm për modet që kanë periodë më të lartë se  $0.8T_{eff}$ . Për të gjitha modet e tjera, nëse nuk bëhet një vlerësim më i saktë i raportit përkatës të shuarjes, duhet të përdoret raporti i shuarjes që i korrespondon strukturës pa izolim sizmik.
- 6. Zhvendosja rezultuese, e qendrës së ngurtësisë së sistemit izolues  $(d_{dc})$  dhe forca prerëse që transferohet përmes nivelit të izolimit  $(V_d)$  në secilin drejtim horizontal janë subjekt i kufijve të poshtëm si vijon:

$$\rho_d = \frac{d_{cd}}{d_{cf}} \ge 0.80 \quad (*) \qquad dhe \qquad \rho_v = \frac{V_d}{V_f} \ge 0.80 \quad (*)$$

ku  $d_{cf}$  dhe  $V_f$  janë përkatësisht zhvendosja e projektimit dhe forca prerëse e transmetuar përmes nivelit të izolimit.

7. Në rast së nuk kënaqen barazimet e mësipërme, efektet përkatëse në sistemin izolues, mbistrukturën dhe nënstrukturën duhet të shumëzohen me:

 $\frac{0.80}{\rho_d}$  për zhvendosjet simike, ose  $\frac{0.80}{\rho_v}$  për forcat dhe momentet sizmike.

## III) Analiza në fushën kohore

- 1. Analiza jolineare në fushën kohore mund të aplikohet për projektimin e çdo ure të izoluar.
- 2. Aplikohen kushtet 2, 3, 4, 6 dhe 7 më sipër, duke përdorur shprehjet (\*) dhe (\*\*) si vlera të  $d_{dc}$  dhe  $V_d$  të efekteve korresponduese të veprimit sizmik të projektimit në përputhje me 4.2.3(1).

# **KAPITULLI 2**

# NDIKIMI I FAKTORIT TË FORMËS DHE PARAMETRAVE TË MATERIALEVE NË NGURTËSINË E IZOLATORËVE SIZMIK ME GOMË TË ARMUAR

# 2.1 Analiza Analitike e Izolatorëve me Gomë të Armuar<sup>1</sup>

Frekuenca vertikale e strukturës së izoluar, shpesh një kriter i rëndësishëm projektimi, kontrollohet nga ngurtësia vertikale e izolatorëve që përbëjnë sistemin izolues. Në mënyrë që të parashikohet kjo frekuencë vertikale, projektuesi duhet të llogarisë vetëm ngurtësinë vertikale të izolatorit nën kushtet e dhëna të ngarkesave të përhershme, dhe për këtë është e përshtatshme një analizë lineare. Reagimi fillestar i shuarësave nën veprimin e ngarkesave vertikale është shumë jolinear dhe varet nga disa faktorë. Normalisht, izolatorët kërkojnë një kohë fillestare (run in) për t'u aktivizuar deri në ngurtësinë e plotë vertikale. Kjo kohë fillestare, e cila ndikohet shumë nga drejtimi i shtresave të armimit dhe aspekte të tjera që varen nga teknologjia e prodhimit, nuk mund të parashikohet nga analizat, por në përgjithësi ka një rëndësi të vogël në parashikimin e reagimit vertikal të izolatorit.

Një tjetër karakteristikë e rëndësishme e izolatorëve që duhet të analizohet për projektim është qëndrueshmëria e tij. Në mënyrë që të zhvillohet kjo analizë, është i nevojshëm të dihet reagimi i izolatorit ndaj momentit përkulës. Referuar si "ngurtësia në përkulje" kjo mund të përcaktohet nga një zhvillim i së njëjtës analizë që është bërë për të përcaktuar ngurtësinë vertikale.

Ngurtësia vertikale e një izolatori prej gome jepet nga formula:

$$K_V = \frac{E_C A}{t_r} \tag{2.1}$$

ku *A* është sipërfaqja e izolatorit,  $t_r$  është trashësia totale e shtresave të gomës në izolator dhe  $E_c$ është moduli në shtypje i izolatorit kompozit gomë-çelik në nivelin e përcaktuar të ngarkimit vertikal. Vlera e  $E_c$  për një shtresë të vetme gome varet nga faktori i formës, *S*, i përcaktuar si:

$$S = \frac{sip \ddot{e}rfaq e e ngarkuar}{sip \ddot{e}rfaq e e pangarkuar}$$
(2.2)

e cila është një madhësi pa njësi.

Nëse studiojmë njësinë e përbërë nga një gomë dhe dy shtresa kufizuese armimi për forma të ndryshme izolatorësh do të kishim:

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> J. M. Kelly dhe S. M. Takhirov, 2002

- Për një njësi shirit me gjatësi infinit  $(l = \infty)$ , gjerësi 2b dhe me trashësi t, faktori i formës është:

$$S = \lim_{l \to \infty} \left( \frac{2bl}{4bt + 2tl} \right) = \frac{b}{t}$$

- Për një njësi rrethore me rreze *R* dhe trashësi *t* kemi:

$$S = \frac{\pi R^2}{2\pi Rt} = \frac{R}{2t}$$

- Për një njësi katrore me përmasë *a* dhe trashësi *t* kemi:

$$S = \frac{a^2}{4at} = \frac{a}{4t}$$

Në mënyrë që të parashikohet ngurtësia në shtypje, përdoret teoria elastike lineare. Analiza e parë për ngurtësinë në shtypje është bërë nga Rocard duke përdorur një përafrim energjitik, ndërsa zhvillime të mëtejshme janë bërë nga Gent dhe Lindley dhe Gent dhe Meinecke. Teoria e dhënë këtu është një version i thjeshtuar i këtyre analizave dhe është e aplikueshme për izolatorët me faktor forme më të madh se 5.

Analiza për ngurtësinë në shtypje dhe në përkulje është një përafrim i bazuar në dy supozime, i pari lidhur me kinematikën e defomimeve dhe i dyti me gjendjen e sforcuar. Për shtypje të drejtpërdrejtë, supozimet kinematike janë si më poshtë:

- Pikat në një drejtim vertikal para deformimit, qëndrojnë sipas një parabole pas ngarkimit.
- Planet horizontale mbeten horizontale.

#### 2.1.1 Ngurtësia në shtypje e izolatorit me armaturë rigjide dhe gomë të pangjeshshme

Konsiderojmë një njësi me formë të çfarëdoshme me trashësi t, dhe vendosim në mes të sipërfaqes një sistem Kartezian koordinatash siç tregohet në Figurën 2.1a. Në figurën 2.1b nën supozimin kinematik të dhënë më lart, zhvendosjet, (u, v, w), në drejtimet koordinative janë:

$$u(x, y, z) = u_0(x, y) \left( 1 - \frac{4z^2}{t^2} \right)$$
  

$$v(x, y, z) = v_0(x, y) \left( 1 - \frac{4z^2}{t^2} \right)$$
  

$$w(x, y, z) = w(z)$$
  
(2.3)

Kjo fushë zhvendosjesh kënaq kushtin që mbi dhe nën sipërfaqen e njësisë janë vendosur shtresa kufitare rigjide.

Supozimi i pangjeshshmërisë jep marrëdhënien e mëposhtme të tre komponentëve të deformimit:

$$\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} = 0 \tag{2.4}$$

e cila çon në:

$$\left(\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y}\right) \left(1 - \frac{4z^2}{t^2}\right) + w(z) = 0$$

Kur integrohet lidhur me trashësinë kemi:



**Figura 2. 1: a)** Sistemi koordinativ kartezian në sipërfaqen e izolatorit me formë të çfarëdoshme, dhe b) fusha e zhvendosjeve

Nëse përcaktojmë deformimin në shtypje me  $\varepsilon_c$  me shprehjen:

$$\varepsilon_c = -\left[\frac{w\left(\frac{t}{2}\right) - w\left(-\frac{t}{2}\right)}{t}\right] = \frac{\Delta}{t}$$
 ( $\varepsilon_c > 0$  në shtypje)

atëherë ekuacioni diferencial i kufizimit të ngjeshjes, është:

$$\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} = \frac{3\varepsilon_c}{2}$$

Gjendja e sforcuar supozohet se mbizotërohet nga presioni i brendshëm, p, në mënyrë të tillë që komponentet normale të sforcimit,  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$ ,  $\sigma_{zz}$ , ndryshojnë nga -p vetëm me terma të rendit  $(t^2/l^2)p$ . D.m.th.:

$$\sigma_{xx} \approx \sigma_{yy} \approx \sigma_{zz} \approx -p \left[ 1 + 0 \left( \frac{t^2}{l^2} \right) \right]$$

Komponentet e sforcimit prerës,  $\tau_{xz}$  dhe  $\tau_{yz}$ , të cilët gjenerohen prej kufizimeve sipër dhe poshtë njësisë supozohet të jenë të rendit (t/l)p; sforcimi prerës në plan  $\tau_{xz}$ , supozohet të jetë i rendit  $(t^2/l^2)p$ .

Ekuacionet e ekuilibrit për sforcimet janë:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0\\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = 0\\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} = 0 \end{cases}$$
(2.5)

Të cilat sipas supozimeve reduktohen si më poshtë:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0\\ \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = 0 \end{cases}$$
(2.6)

Duke supozuar se materiali është elastik linear, sforcimet prerëse  $\tau_{xz}$  dhe  $\tau_{yz}$ , lidhen me deformimet në prerje,  $\gamma_{xz}$  dhe  $\gamma_{yz}$  sipas shprehjeve:

$$\tau_{xz} = G\gamma_{xz} \qquad \qquad \tau_{yz} = G\gamma_{yz}$$

ku G është moduli në rrëshqitje i materialit, kështu që:

$$\tau_{xz} = -8Gu_0 \frac{z}{t^2} \qquad \qquad \tau_{yz} = -8Gv_0 \frac{z}{t^2} \qquad (2.7)$$

Nga ekuacionet e ekuilibrit marrim:

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} = \frac{8Gu_0}{t^2} \qquad \qquad \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} = \frac{8Gv_0}{t^2}$$

E anasjella e barazimeve të mësipërme na jep  $u_0$  dhe  $v_0$ , të cilët duke konsideruar dhe kushtin e pangjeshshmërisë japin:

$$\frac{t^2}{8G}\left(\frac{\partial^2 xx}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 yy}{\partial y^2}\right) = \frac{3\varepsilon_c}{2}$$

Nëse identifikojmë  $\sigma_{xx}$  dhe  $\sigma_{yy}$  me -p, kjo në fakt reduktohet në:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = \nabla^2 p = -\frac{12G\varepsilon_c}{t^2}$$
(2.8)

si ekuacioni diferencial i pjesshëm që duhet të kënaqet nga p(x, y), brenda sipërfaqes A, e cila përfaqëson sipërfaqen e mesme të njësisë. Kushti kufitar, p = 0, në perimetër plotëson sistemin për p(x, y).

Për të përdorur këtë në përcaktimin e  $E_c$ , ne zgjidhim ekuacionin për p dhe e integrojmë atë në lidhje me A, për të përcaktuar rezultanten e ngarkesave normale, P. Kështu  $E_c$  jepet nga barazimi:

$$E_c = \frac{P}{A\varepsilon_c} \tag{2.9}$$

#### a) Njësia shirit me gjatësi infinit

Për një njësi shirit me gjatësi infinit dhe gjerësi 2b (Figura 2.2) ekuacioni (2.8) reduktohet në:

$$\nabla^2 p = \frac{d^2 p}{dx^2} = -\frac{12G}{t^2}\varepsilon_c$$

i cili, për p = 0, në  $x = \pm b$ , jep:

$$p = \frac{6G}{t^2} (b^2 - x^2) \varepsilon_c$$

Në këtë rast, ngarkesa për njësi gjatësie e njësisë, P, është:

$$P = \int_{-b}^{+b} p dx = \frac{8Gb^3}{t^2} \varepsilon_c$$

Duke zëvendësuar faktorin e formës S = b/t dhe sipërfaqen për njësi gjatësie, A = 2b marrim:



Figura 2. 2: Sistemi koordinativ për një njësi shirit me gjatësi infinit dhe gjerësi 2b

#### b) Njësia rrethore

Për njësinë rrethore me rreze R, (Figura 2.3), ekuacioni për p bëhet:



Figura 2. 3: Sistemi kordinativ për njësinë rrethore me rreze R

Zgjidhja e përgjithshme e ekuacionit të mësipërm është:

$$p = A\ln r + B - \frac{3G}{t^2}r^2\varepsilon_c$$

dhe për arsye së p është e kufizuar për r = R dhe p = 0 për r = R, zgjidhja për të gjithë njësinë bëhet:

$$p = \frac{3G}{t^2} (R^2 - r^2) \varepsilon_c$$

dhe

$$p = \int_0^R p(r) r dr = \frac{3G\pi R^4}{2t^2} \varepsilon_c$$

Duke rikujtuar që S = R/2t dhe  $A = \pi R^2$ , kemi:

$$E_c = 6GS^2 \tag{2.12}$$

#### c) Njësia katrore

Për njësinë katrore me përmasë a, ekuacioni (2.8) mund të zgjidhet duke përdorur seritë Fourier. Referuar sistemit koordinativ (x, y) të treguar në Figurën 2.4, pranojmë funksionin e presionit p, të barabartë me:



Figura 2. 4: Sistemi koordinativ i njësisë katrore me përmasë a

Koeficientët Fourier, Pm, kënaqin kushtin:

$$\frac{d^2 P_m}{dy^2} - \frac{m^2 \pi^2}{a^2} P_m = -\frac{12G\varepsilon_c}{t^2} a_m$$

ku  $a_m = \frac{4}{m\pi}$  për m = 1, 3, 5, ... dhe  $a_m = 0$  për m = 2, 4, 6, ...

Simetria e  $-a/2 \le y \le a/2$  dhe kushti kufitar  $P_m = 0$  për  $y = \pm a/2$  na jep:

$$P_m = \frac{12G\varepsilon_c}{t^2} a_m \frac{a^2}{m^2 \pi^2} \left[ 1 - \frac{\cosh\left(\frac{m\pi y}{a}\right)}{\cosh\left(\frac{m\pi}{2}\right)} \right]$$

dhe

$$p(x,y) = \frac{12G\varepsilon_c}{t^2} \sum_{m=1}^{\infty} a_m \frac{a^2}{m^2 \pi^2} \left[ 1 - \frac{\cosh\left(\frac{m\pi y}{a}\right)}{\cosh\left(\frac{m\pi}{2}\right)} \right] \sin\frac{m\pi x}{a}$$

Vëmë re që seritë e lidhura me termin e parë në parantezë është zgjidhja e

$$\frac{dp^2(x)}{dx^2} = -\frac{12G\varepsilon_c}{t^2}$$

dhe mund të mblidhen më vehte për të dhënë

$$p(x) = \frac{12G\varepsilon_c}{t^2} \frac{a^2}{2} \left(\frac{x}{a} - \frac{x^2}{a^2}\right)$$

duke dhënë rezultatin përfundimtar:

$$p(x,y) = \frac{12G\varepsilon_c}{t^2} \left[ \frac{a^2}{2} \left( \frac{x}{a} - \frac{x^2}{a^2} \right) - \sum_{m=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4a^2}{m^3 \pi^3} \frac{\cosh\left(\frac{m\pi y}{a}\right)}{\cosh\left(\frac{m\pi}{2}\right)} \sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \right]$$

Rezultati korrespondues për  $E_c = P / A\varepsilon_c$  është:

$$E_c = \frac{Ga^2}{t^2} \left[ 1 - \sum_{m=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{192}{m^5 \pi^5} \tanh\left(\frac{m\pi}{2}\right) \right]$$

Kjo seri konvergjon shumë shpejt dhe me një siguri të mjaftueshme jep:

$$E_c = 6.73S^2G (2.13)$$

#### d) Njësia unazore

Disa izolatorë projektohen me një vrimë në qendër. Izolatorët me gomë natyrore me shuarje të lartë të prodhuar nga Bridgestone Engineered Products Co,. Inc. kanë një vrimë në qendër me diametër të rendit 10% deri në 20% të diametrit të përgjithshëm të izolatorit. Këto vrima në izolator, përdoren për të rritur kalimin e nxehtësisë në gomë gjatë procesit të vullkanizimit dhe janë të domosdoshme sepse izolatorët e prodhuar nga kompania në fjalë, zakonisht janë shumë të mëdhenj (1-1.2 m ose 40-48 in.). Izolatorët unazorë gjithashtu mund të përdoren për të izoluar struktura me peshë të vogël, ku vrima e madhe qëndrore redukton sipërfaqen në prerje në izolator dhe kështu edhe ngurtësinë horizontale ( $K_h = G_c A / h$ ), duke përmirësuar ndërkohë qëndrueshmërinë e tij.

Do të konsiderojmë një njësi unazore me rreze të brendshme, r = a, rreze të jashtme, R = b, dhe trashësi *t*. Faktori i formës në këtë rast është:

$$S = \frac{\pi(b^2 - a^2)}{2\pi(a+b)t} = \frac{b-a}{2t}$$

Zgjidhja e ekuacionit (2.11) për p(a) = 0 dhe p(b) = 0 është:

$$p(r) = \frac{3G}{t^2} \varepsilon_c \left[ \frac{(b^2 - a^2) \ln r/a}{\ln b/a} - (r^2 - a^2) \right]$$

Ngarkesa totale P, jepet nga barazimi:

$$P = 2\pi \int_{a}^{b} p(r)rdr = \frac{6\pi G}{t^{2}} \varepsilon_{c} \left(\frac{b^{2} - a^{2}}{4}\right) \left[ (b^{2} + a^{2}) - \left(\frac{b^{2} - a^{2}}{\ln b/a}\right) \right]$$

Prej të cilit marrim:

$$E_{c} = \frac{P/A}{\varepsilon_{c}} = \frac{3G}{2t^{2}} \left\{ b^{2} + a^{2} - \left[ \frac{(b^{2} - a^{2})}{(\ln b/a)} \right] \right\}$$

Duke përdorur shprehjen e zakonshme për *S*, mund ta shkruajmë këtë barazim në formën:

$$E_c = 6GS^2\lambda \tag{2.14}$$

ku

$$\lambda = \frac{\left\{ b^2 + a^2 - \left[ \frac{(b^2 - a^2)}{(\ln b/a)} \right] \right\}}{(b-a)^2}$$

e cila në terma të raportit r/R shkruhet:

$$\lambda = \frac{\left[ (1 + r^2/R^2) + \frac{(1 - r^2/R^2)}{(\ln R/r)} \right]}{(1 - r/R)^2}$$
(2.15)

Kur r / R  $\rightarrow 0$ ,  $\lambda \rightarrow 1$  dhe si rrjedhojë  $E_c = 6GS^2$ , që është rezultati për njësinë rrethore. Kur r / R  $\rightarrow 1$ , duke shkruar r / R = 1 -  $\epsilon$  dhe duke lënë  $\epsilon \rightarrow 0$ , ne gjejmë që  $\lambda \rightarrow 2 / 3$  dhe  $E_c \rightarrow 4GS^2$ , që është rezultati për njësinë shirit me gjatësi infinit. Është e rëndësishme të vlerësojmë se sa shpejt arrin  $\lambda$  vlerën 2 / 3. Për të ilustruar këtë pikë, zgjidhja për  $\lambda$  jepet në funksion të raportit a / b për segmentin  $0 \le r / R \le 1$  në Figurën 2.5 më poshtë:



Figura 2. 5: Reduktimi i modulit të shtypjes E<sub>c</sub> për njësinë unazore

Duket qartë që për këtë rast, kur r / R > 10%, vlera e  $\lambda$  është gati sa 2 / 3, pra  $E_c$  reduktohet ne 70%, gjë që tregon që prania qoftë e një vrime të vogël ka një efekt të madh në  $E_c$ , kështu që, në shumicën e rasteve për izolatorët me vrimë në qendër, vlera e  $E_c$  duhet të merret 4 GS<sup>2</sup> në vend të 6 GS<sup>2</sup>.

## 2.1.2 Sforcimet për shkak të shtypjes

Për qëllime projektimi të izolatorëve është shumë e rëndësishme vlerësimi i sforcimeve në prerje (ose deformimet në prerje) që zhvillohen nën veprimin e shtypjes me supozimin e shtresave rigjide të armimit në të cilat materiali i gomës është ngjitur (Figura 2.6).



Figura 2. 6: Sforcimet në prerje për shkak të shtypjes së pastër

Nga ekuacioni (2.7) kemi:

$$\tau_{xz} = -8Gu_0 \frac{z}{t^2}$$
$$\tau_{yz} = -8Gv_0 \frac{z}{t^2}$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = -\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial x}$$
$$\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = -\frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} = \frac{\partial p}{\partial y}$$

Për një p të dhënë, këto ekuacione mund të përdoren për të përcakuar shpërndarjen e sforcimit në prerje ose të deformimit në prerje, veçanërisht maksimumin e tyre.

Për njësinë shirit me gjatësi infinit dhe gjerësi 2b ku:

$$p = \frac{6G}{t^2} (b^2 - x^2) \varepsilon_c$$

kemi

$$\tau_{xz} = -\frac{12G}{t^2} xz\varepsilon_c$$

dhe vlera maksimale ndodh kur x = b, z = t / 2, duke dhënë:

$$\tau_{max} = 6G \frac{b}{t} \varepsilon_c \tag{2.16}$$

Në terma të S, deformimi maksimal në prerje jepet nga:

$$\gamma_{max} = 6S\varepsilon_c = \gamma_c \tag{2.17}$$

ku  $\gamma_c$  është deformimi maksimal në prerje i shkaktuar nga shtypja.

Kështu, deformimi në shtypje shkakton një deformim në prerje me një vlerë maksimale 6S herë më të madhe, dhe duke qënë se *S* mund të jetë mjaftueshëm e madhe për një izolator, faktori shumëfishues korrespondues do të jetë i madh.

Për një njësi rrethore kemi:

$$p = \frac{3G}{t^2} [R^2 - (x^2 + y^2)]\varepsilon_c$$

dhe

$$\tau_{xz} = -\frac{6G}{t^2} xz\varepsilon_c \qquad \qquad \tau_{yz} = -\frac{6G}{t^2} yz\varepsilon_c$$

Maksimumi i sforcimit prerës mund të ndodhë në pjesën fundore të sipërme ose të poshtme në periferi të njësisë dhe ka vlerë

$$\tau_{max} = -\frac{6G}{t^2}\varepsilon_c \tag{2.18}$$

që është ekuivalent me

$$\gamma_c = 6S\varepsilon_c \tag{2.19}$$

Këto rezultate mund të përdoren për të vendosur një kriter për deformimin maksimal të elastomerit. Për shembull, disa kode projektimi për izolatorët e urave përcaktojnë deformimet

prerëse prej zhvendosjeve horizontale të izolatorit me  $\gamma_s$ , i cili kur shtohet në deformimin në prerje të shkaktuar nga shtypja  $\gamma_c$ , përdoret për të përcaktuar deformimin maksimal të barabartë me:

$$\gamma_S + \gamma_c \le \frac{1}{2}\varepsilon_b \tag{2.20}$$

ku  $\varepsilon_b$  është deformimi maksimal i lejuar.

Deformimi maksimal në prerje për shkak të shtypjes nuk është i vetmi deformim në prerje që përbën interes për projektuesin. Është gjithashtu e dobishme të vlerësojmë deformimin mesatar sipas mënyrës së mëposhtme: për arsye se goma është në njëfarë mënyre e ndjeshme ndaj deformimit, G shpesh modifikohet në lidhje me nivelin e deformimit. Në shtypje, deformimi në prerje varion shumë përgjatë vëllimit të njësisë, prandaj, vlera e përshtatshme e modulit të përdorur për të vlerësuar deformimin mesatar bazohet në llogaritje të energjisë elastike të akumuluar në njësi. Totali i kësaj energjie, U, jepet nga

$$U = \frac{1}{2G} \int_{A} \int_{t} \left( \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2 \right) dz dA$$

dhe deformimi mesatar në prerje  $\gamma_{ave}$ , merret nga:

$$U = \frac{1}{2}G\gamma_{ave}^2 At$$

prej të cilit:

$$\gamma_{ave}^2 = \frac{1}{G^2 A t} \int\limits_A \int\limits_t \int \left( \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2 \right) dz dA$$

Për njësinë shirit me gjatësi infinit kemi:

$$U = \frac{1}{2}G\frac{8b^3\varepsilon_c^2}{t}$$

$$\gamma_{ave}^2 = \frac{4b^2}{t^2} \varepsilon_c^2$$

ose

$$\gamma_{ave} = 2S\varepsilon_c \tag{2.21}$$

Një llogaritje e ngjashme për njësinë rrethore na jep:

$$U = \frac{1}{2}G\frac{36}{t^4}\varepsilon_c^2 2\pi \int_0^R r^3 dr \int_{-\frac{t}{2}}^{+\frac{t}{2}} z^2 dz = \frac{1}{2}G\frac{3\varepsilon_c^2 R^4 t^3 2\pi}{4t^4}$$

prej të cilit:

$$\gamma_{ave} = \sqrt{6}S\varepsilon_c \tag{2.22}$$

d.m.th.

Meqënëse moduli G dhe deformimi  $\varepsilon_c$  janë të ndërvarura nga njëra-tjetra nevojiten llogaritje ciklike deri sa gabimi të jetë më i vogël se ai i pranuar. Fillimisht duhet të pranojmë një vlerë të G në mënyrë që të llogarisim  $\varepsilon_c$  dhe prej saj ne llogarisim  $\gamma_{ave}$ ; pastaj modifikojmë G dhe përsërisim veprimet siç kërkohet. Për arsye se moduli nuk është shumë i ndjeshëm nga deformimet (maksimumi rreth 20%) pak cikle nevojiten.

#### 2.1.3 Ngurtësia në shtypje e izolatorit me armaturë fleksibël dhe gomë të pangjeshshme

Vlerësimi i ngurtësisë në shtypje të njësisë është matematikisht i thjeshtë gjatë trajtimit në plan të çdo lloj forme të izolatorit. Problemi ndërlikohet kur marrim në konsideratë fleksibilitetin e armaturës së njësisë, megjithatë, për thjeshtësi, derivimi do të bëhet për njësinë shirit me gjatësi infinit. Si më parë, goma supozohet e pangjeshshme dhe presioni supozohet të jetë komponenti kryesor i sforcimeve. Supozimi kinematik i ndryshimit parabolik i zhvendosjes do të modifikohet me përfshirjen e një zhvendosjeje shtesë konstante përgjatë trashësisë së njësisë e cila ka për qëllim të përfaqësojë zgjatjen e armaturës. Kështu në rastin e gjendjes së deformuar plane ( $\varepsilon_{vv} = 0$ ), ekuacionet e zhvendosjeve janë:

$$u(x,z) = u_0(x) \left( 1 - \frac{4z^2}{t^2} \right) + u_1(x)$$

$$w(x,z) = w(z)$$
(2.23)

Kushti i pangjeshshmërisë shprehet:

$$\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{zz} = 0 \tag{2.24}$$

Kjo sjell:

$$\frac{\partial u_0}{\partial x} \left( 1 - \frac{4z^2}{t^2} \right) + \frac{\partial u_1}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} = 0$$

Integrimi kundrejt trashësisë lidhur me z na jep:

$$\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{3}{2} \frac{\partial u_1}{\partial x} = \frac{3\Delta}{2t}$$

Ekuacioni i vetëm i ekuilibrit të sforcimeve në këtë rast është:

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0$$

Me supozimin e sjelljes elastike kemi:

$$\tau_{xz} = G\gamma_{xz} \tag{2.25}$$

me

$$\gamma_{xz} = -\frac{8z}{t^2} \tag{2.26}$$

të cilët duke u zëvendësuar në ekuacionin (2.23) japin:

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} = \frac{8Gu_0}{t^2}$$

Duke zëvendësuar  $\sigma_{xx} = \sigma_{zz} = -p$  marrim ekuacionin e vetëm të ekuilibrit:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{8Gu_0}{t^2}$$

Një shtresë e çfarëdoshme armimi (një fibër) karakterizohet nga trashësia  $t_f$ . Forca e brendshme për njësi gjerësie të shtresës së armimit, F(x), lidhet me sforcimet në pjesën e sipërme dhe të poshtme të njësisë me ekuacionin:

$$\frac{dF}{dx} - \tau_{xz} \Big|_{z=t/2} + \tau_{xz} \Big|_{z=-t/2} = 0$$

siç tregohet në Figurën 2.7.



Figura 2. 7: Forca në shtresën e armimit

Nga ekuacionet (2.25) dhe (2.26) kemi:

Kjo na jep:

$$\tau_{xz} \Big|_{z=t/2} = -\frac{8Gu_0}{2t}; \qquad \tau_{xz} \Big|_{z=-t/2} = \frac{8Gu_0}{2t}$$
$$\frac{dF}{dx} = -\frac{8Gu_0}{t}$$
ë armim  $\varepsilon_f$  lidhet me forcën tërheqëse, modulin e ela

Deformimi tërheqës në armim  $\mathcal{E}_f$  lidhet me forcën tërheqëse, modulin e elasticitetit të armaturës,  $E_f$ , dhe trashësinë  $t_f$ , në formën:

$$\varepsilon_f = \frac{\partial u_1}{\partial x} = \frac{F}{E_f t_f} \tag{2.27}$$

Duke kombinuar dy ekuacionet e mësipërme marrim:

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} = -\frac{8G}{E_f t_f t} u_0$$

Sistemi i ekuacioneve është:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{8Gu_0}{t^2} \tag{2.28}$$

$$\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{3}{2} \frac{\partial u_1}{\partial x} = \frac{3\Delta}{2t}$$
(2.29)

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} = -\frac{8G}{E_f t_f t} u_0 \tag{2.30}$$

me kushte kufitare dhe kushte simetrie:

$$u_0(0) = 0$$
$$u_1(0) = 0$$
$$\sigma_{xx}(\pm b) = 0$$
$$F(\pm b) = 0$$

Kombinimi i ekuacioneve (2.29) dhe (2.30) për të eleminuar  $u_0$  na jep:

$$\frac{\partial^3 u_1}{\partial x^3} - \frac{12G}{E_f t_f t} \frac{\partial u_1}{\partial x} = -\frac{12G}{E_f t_f t} \frac{\Delta}{t}$$

Me shënimin  $\alpha^2 = 12Gb^2/E_f t_f t$  kemi trajtën e mëposhtme të zgjidhjes së ekuacionit diferencial:

$$u_1 = A + B \cosh \frac{\alpha x}{b} + C \sinh \frac{\alpha x}{b} + \frac{\Delta}{t} x$$

Prej simetrisë A = 0 dhe B = 0 fitojmë:

$$u_1 = C \sinh \frac{\alpha x}{b} + \frac{\Delta}{t} x$$

Prej ekuacionit (2.27) kemi:

$$F = E_f t_f \frac{\partial u_1}{\partial x} = E_f t_f \left(\frac{\alpha}{\beta} C \cosh \frac{\alpha x}{b} + \frac{\Delta}{t}\right)$$

Ky barazim, për  $F(\pm b) = 0$ , na jep:

$$F(x) = \frac{\Delta}{t} E_f t_f \left( 1 - \frac{\cosh \frac{\alpha x}{b}}{\cosh \alpha} \right)$$
$$u_1(x) = \frac{\Delta}{t} \left( x - \frac{b \sinh \frac{\alpha x}{b}}{\alpha \cosh \alpha} \right)$$
$$u_0(x) = \frac{3}{2} \frac{\Delta}{t} \frac{b \sinh \frac{\alpha x}{b}}{\alpha \cosh \alpha}$$

Duke përdorur ekuacionin (2.28) dhe kushtin kufitar  $\sigma_{xx}(\pm b) = 0$  marrim:

$$p = \frac{\Delta}{t} \frac{E_f t_f}{t} \left( 1 - \frac{\cosh \frac{\alpha x}{b}}{\cosh \alpha} \right)$$

Ngarkesa, P, për njësi gjatësie e shiritit jepet nga barazimi:

$$P = \frac{E_f t_f}{t} 2 \int_0^b \left( 1 - \frac{\cosh \frac{\alpha x}{b}}{\cosh \alpha} \right) dx \cdot \frac{\Delta}{t} = \frac{2E_f t_f}{\alpha t} b(\alpha - \tanh \alpha) \frac{\Delta}{t}$$

Ky rezultat mund të interpretohet si moduli efektiv në shtypje, E<sub>c</sub>, ku

$$E_c = \frac{P}{A} \frac{t}{\Delta} = \frac{E_f t_f}{t} \left( 1 - \frac{\tanh \alpha}{\alpha} \right)$$
(2.31)

Vëmë re që për armaturë absolutisht të ngurtë, pra  $E_f \rightarrow \infty$  sjell  $\alpha \rightarrow 0$ , dhe moduli efektiv në shtypje shkon në  $E_c \rightarrow 4GS^2$  si në rastin e izolatorit të supozuar me armim rigjid.

Nga shqyrtimi i shprehjes së mësipërme vihet re gjithashtu se  $E_c < 4GS^2$  për të gjitha vlerat reale të  $E_f$ .

#### 2.1.4 Ngurtësia në shtypje e izolatorit me armaturë fleksibël dhe gomë të ngjeshshme

Analizat e mësipërme për armaturë rigjide dhe armaturë fleksibël janë bërë duke supozuar se goma është e pangjeshshme. Ky është një përafrim i arsyeshëm në rastet kur faktori i formës *S* nuk është i madh (le të themi < 20). Në rastet kur faktori i formës është më i madh, vlerësimi i  $E_c$  mund të jetë i krahasueshëm me modulin e fryrjes së materialit, për goma natyrale me  $E_c = 2000$  MPa (300'000 psi), kështu që neglizhimi i ngjeshshmërisë së gomës është i pajustifikueshëm. Për të përfshirë ndikimin e ngjeshshmërisë në sjelljen e njësisë në shtypje në mënyrë të tillë që të jetë në përputhje me supozimet e bëra në këtë analizë, është e mundur të zëvendësojmë ekuacionin e pangjeshshmërisë (2.24) me ekuacionin:

$$\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{zz} = -\frac{p}{K} \tag{2.32}$$

ku K është moduli i fryrjes.

Integrimi i tij ndaj trashësisë na jep formën e mëposhtme të ekuacionit (2.29):

$$\frac{2}{3}\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial u_1}{\partial x} + \frac{p}{K} = \frac{\Delta}{t}$$

Ky plotësohet më tej nga ekuacioni (2.28) i cili mbetet i pandryshuar, si dhe nga ekuacioni i forcave në armaturë (2.30). Sistemi i ekuacioneve për efektet e kombinuara të fleksibilitetit të armaturës dhe ngjeshshmërisë së gomës është:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{8Gu_0}{t^2} \tag{2.33}$$

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} = -\frac{8G}{E_f t_f t} u_0 \tag{2.34}$$

$$\frac{2}{3}\frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial u_1}{\partial x} + \frac{p}{K} = \frac{\Delta}{t}$$
(2.35)

Është e përshtatshme të përdorim dy parametra pa njësi,  $\lambda$  dhe  $\mu$ , të cilët janë funksion i fleksibilitetit të armaturës dhe ngjeshshmërisë së gomës.

$$\lambda = \frac{12Gb^2}{Kt^2} \qquad \text{dhe} \qquad \mu = \frac{12Gb^2}{E_f t_f t}$$

Këta parametra mund të shprehen edhe në funksion të faktorit të formës S.

Për njësinë shirit me gjatësi infinit, S = b/t sjell:

$$\lambda = \frac{12GS^2}{K} \qquad \text{dhe} \qquad \mu = \frac{12Gt\,S^2}{E_f t_f}$$

Ekuacionet (2.33) dhe (2.34) tashmë marrin formën:

$$\frac{\partial(\frac{p}{K})}{\partial x} = \frac{\frac{2}{3}\lambda u_0}{b^2}$$
(2.36)

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} = -\frac{\frac{2}{3}\mu u_0}{b^2}$$
(2.37)

Diferencimi një herë i ekuacionit (2.35) dhe zëvendësimi i p dhe  $u_1$  nga ekuacioni (2.33) dhe (2.34) na jep:

$$\frac{\partial^2 u_0}{\partial x^2} - \frac{(\lambda + \mu)}{b^2} u_0 = 0$$

prej të cilit kemi:

$$u_0 = A\cosh\frac{\beta x}{b} + B\sinh\frac{\beta x}{b}$$

ku  $\beta^2 = \lambda + \mu$ .

Ekuacionet (2.33) dhe (2.34) japin zgjidhje për p dhe  $u_1$  në formën:

$$u_1 = -\frac{2}{3}\frac{\mu}{\beta^2}A\cosh\frac{\beta x}{b} - \frac{2}{3}\frac{\mu}{\beta^2}B\sinh\frac{\beta x}{b} + C_1x + D$$

dhe

$$\frac{p}{K} = -\frac{2}{3}\frac{\lambda}{\beta b}A\sinh\frac{\beta x}{b} - \frac{2}{3}\frac{\lambda}{\beta b}B\cosh\frac{\beta x}{b} + C_2$$

Konstantet e integrimit, sigurisht, nuk janë të pavarura nga njëra - tjetra por lidhen përmes ekuacioneve bazë. Zëvendësimi i tre ekuacioneve në ekuacionin (2.35) na jep:

$$\frac{2}{3}\frac{\beta}{b}\left(A\sinh\frac{\beta x}{b} + B\cosh\frac{\beta x}{b}\right) - \frac{2}{3}\frac{\mu}{\beta b}\left(A\sinh\frac{\beta x}{b} + B\cosh\frac{\beta x}{b}\right) + C_{1}$$
$$-\frac{2}{3}\frac{\lambda}{\beta}\left(A\sinh\frac{\beta x}{b} + B\cosh\frac{\beta x}{b}\right) + C_{2} = \frac{\Delta}{t}$$

Meqë  $\beta^2 = \lambda + \mu$  koeficientet e sinh  $\frac{\beta x}{b}$  dhe cosh  $\frac{\beta x}{b}$  bien, rezultati është:

$$C_1 + C_2 = \frac{\Delta}{t}$$

Për rastin e veçantë të shtypjes së njësisë shirit, është e dobishme të konsiderojmë simetrinë në zgjidhje. Kështu  $u_0$  dhe  $u_1$  janë asimetrike dhe p është simetrike kur  $-b \le x \le +b$ . Kështu për A = 0 dhe D = 0 kemi:

$$u_0 = B \sinh \frac{\beta x}{b}$$
$$u_1 = -\frac{2}{3} \frac{\mu}{\beta^2} B \cosh \frac{\beta x}{b} + \frac{\Delta}{t} - C_1$$
$$\frac{p}{K} = -\frac{2}{3} \frac{\lambda}{\beta b} B \cosh \frac{\beta x}{b} + \frac{\Delta}{t} - C_1$$

Për llogaritjen e konstanteve B dhe  $C_1$  përdorim kushtet kufitare:

- për  $x = \pm b$ , presioni p = 0, dhe
- për x = ±b, sforcimet në armaturë  $E_f \frac{\partial u_1}{\partial x} = 0.$

Kështu:

$$-\frac{2}{3}\frac{\mu}{\beta b}B\cos\beta + C_1 = 0$$
$$-\frac{2}{3}\frac{\lambda}{\beta b}B\cosh\beta - C_1 = -\frac{\Delta}{t}$$

duke dhënë:

$$B = \frac{3}{2} \frac{\beta}{\lambda + \mu} b \frac{1}{\cosh \beta} \frac{\Delta}{t}$$
$$C_1 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \frac{\Delta}{t}$$

Zgjidhja përfundimtare është:

$$u_0 = \frac{3}{2}b\frac{\sinh\frac{\beta x}{b}}{\alpha\cosh\beta}\frac{\Delta}{t}$$

$$u_{1} = b \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left( \frac{x}{b} - \frac{\sinh \frac{\beta x}{b}}{\beta \cosh \beta} \right) \frac{\Delta}{t}$$

dhe

$$\frac{p}{K} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \left( 1 - \frac{\cosh \frac{\beta x}{b}}{\cosh \beta} \right) \frac{\Delta}{t}$$
(2.38)

Madhësia që përbën interes të madh është moduli efektiv në shtypje  $E_c$  i dhënë nga barazimi:

$$P = E_c A \frac{\Delta}{t} \tag{2.39}$$

ku

$$P = \int_{-b}^{b} p(x) \, dx \qquad \text{dhe} \qquad A = 2b$$

Duke zëvendësuar p në ekuacionin (2.38) më lart dhe duke integruar marrim:

$$E_c = K \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \left( 1 - \frac{\tanh \beta}{\beta} \right)$$
(2.40)

Vlen të përmendim që efekti i ngjeshshmërisë është i neglizhueshëm kur  $\lambda \to 0$ ,  $\beta^2 \to \mu$ . Nga kjo kemi:

$$K\lambda = \frac{12Gb^2}{t^2}$$

që na jep:

$$E_c = \frac{12Gb^2}{t^2} \frac{1}{\beta^2} \left( 1 - \frac{\tanh\beta}{\beta} \right) = \frac{E_f t_f}{t} \left( 1 - \frac{\tanh\beta}{\beta} \right)$$
(2.41)

i cili është i njëjtë me rezultatin e nxjerrë në diskutimin më sipër. Nga ana tjetër, nëse fleksibiliteti i armaturës mund të neglizhohet, atëherë  $\mu \rightarrow 0$  dhe  $\beta^2 \rightarrow \lambda$ , kështu:

$$E_c = K\left(1 - \frac{\tanh\beta}{\beta}\right)$$

Nëse moduli në shtypje normalizohet me  $4\text{GS}^2$  (vlera e *Ec* për njësinë shirit kur neglizhohet si fleksibiliteti i armimit ashtu dhe ngjeshshmëria e gomës) atëherë ekuacioni (2.40) merr formën:

$$\frac{E_c}{4GS^2} = \frac{3}{\lambda + \mu} \left( 1 - \frac{\tanh(\lambda + \mu)^{1/2}}{(\lambda + \mu)^{1/2}} \right) \le 1$$
(2.42)

Kjo tregon se si reduktohet ngurtësia vertikale nga ngjeshshmëria e gomës dhe nga fleksibiliteti i armaturës.

Rezultatet eksperimentale sugjerojnë që fleksibiliteti i fibrave dhe ngjeshshmëria e gomës në izolatorë ndikojnë në reduktimin e ngurtësisë së tij dhe efekti i ngjeshshmërisë në gomë nuk mund të neglizhohet.

Për të treguar shkallën e ndikimit të këtyre parametrave në pikën 2.2 në vazhdim, duke përdorur metodën e elementëve të fundëm janë bërë disa analiza në bazë të të cilave nxirren konkluzionet e nevojshme.

# 2.2 Analiza Numerike e Izolatorëve me Gomë të Armuar

Si rezultat i përpjekjeve të shumta të inxhinierëve drejt aplikimit të izolimit sizmik në bazë, ekzistojnë shumë lloje izolatorësh dhe një numër strukturash të izoluara në të gjithë botën. Për të zgjeruar këtë strategji të vlefshme në rritjen e rezistencës sizmike të banesave dhe ndërtesave të tjera publike, është e nevojshme të ulet kostoja dhe pesha e izolatorëve. Izolatorët prej gome të armuar janë të përbërë nga matrica dhe fibra. Parametrat kryesorë të izolatorëve janë ngurtësia e tyre vertikale dhe horizontale. Kryesisht ata karakterizohen nga ngurtësi e madhe vertikale, por me ngurtësi të vogël horizontale.

Në mënyrë që të projektohen izolatorë me kosto efektive është e nevojshme të zgjidhet materiali i duhur për matricën dhe fibrën si dhe të përdoret sasia optimale e tyre. Në këtë punim do të analizojmë efektin e materialit të matricës në ngurtësinë e izolatorëve me faktor të ndryshëm forme. Përveç kësaj do të analizojmë efektin e materialit të fibrave dhe trashësisë së tyre në ngurtësinë e izolatorëve me faktor të ndryshëm forme. Analizat i kemi kryer nëpërmjet modelimit tredimensional me Elementë të Fundëm në fazën lineare duke përdorur programin llogaritës SAP2000. Prej studimit të rezultateve dhe paraqitjes grafike të ngurtësive vertikale dhe horizontale të izolatorëve për parametra të ndryshëm të matricës dhe fibrave, arrihet në disa konkluzione dhe bëhen sugjerime në lidhje me reduktimin e peshës dhe kostos së izolatorëve.

Bazuar në teknikën e izolimit sizmik në bazë për kontrollin e reagimit sizmik të strukturave (ndërtesa, ura etj.), nevojitet që izolatorët të plotësojnë disa kritere. Ngurtësia horizontale realizohet me përdorimin e dy tipeve të përgjithshëm të izolatorëve, izolatorë me rrëshqitje dhe izolatorë me gomë të armuar. Me kombinimin e këtyre dy tipeve krijohen dhe sisteme të tjera izolatorësh (Naeim dhe Kelly, 1999).

Qëllimi kryesor i izolimit sizmik në bazë është reduktimi i njëkohshëm i dy parametrave bazë sizmikë; të nxitimeve (forcës sizmike) dhe i deformimeve të strukturës (interstory drifts). Për arritjen e këtij qëllimi nevojitet që izolatorët të kenë parametra të caktuara. Kështu për të reduktuar forcat sizmike nevojitet rritje e fleksibilitetit të sistemit (strukturë - izolator), prandaj izolatorët duhët të kenë ngurtësi horizontale të vogël. Me uljen e ngurtësisë horizontale të izolatorit arrihet që dhe deformimet e elementëve të strukturës të zvogëlohen pasi deformimet që pëson sistemi reduktohen kryesisht në deformime të vetë izolatorëve. Nga ana tjetër, izolatorët duhet të kenë ngurtësi vertikale të madhe për të përballuar ngarkesat e rënda vertikale të strukturës.

Plotësimi i dy parametrave kryesorë (ngurtësia horizontale e vogël dhe ngurtësia vertikale e madhe) nga i njëjti izolator, kërkon që këta të fundit të formohen nga bashkimi i dy materialeve me veti të ndryshme fiziko – mekanike. Për qëllim studimi teorik izolatori pranohet një kompozit i përbërë nga matrica dhe fibra. Në praktikën e deritanishme të izolatorëve, matrica përbëhet nga material gome, kurse fibrat janë material çeliku ose karboni të vendosur në shtresa horizontale. Prandaj shpesh emërtohen gomë e armuar me shtresa.


Figura 2. 8: Elastomer gome i armuar; a) me pllaka çeliku, b) me fibra karboni

Goma si matricë siguron fleksibilitet horizontal të kërkuar për strukturën e izolatorëve nën veprimin e forcave prerëse të shkaktuara nga veprimi sizmik pasi shtresat horizontale të fibrave thuajse nuk pengojnë rrëshqitjen e shtresave të gomës. Nga ana tjetër, shtresat e fibrave duke reduktuar mufatjen (bulging) e gomës, rrisin ngurtësinë vertikale të izolatorëve.

Vështirësia e përshtatjes së izolimit për një numër të madh strukturash lidhet me faktin që izolatorët ekzistues tradicionalë kanë përmasa të mëdha, janë të rëndë dhe shumë të kushtueshëm. Për të bërë të mundur përdorimin e izolatorëve për objekte të thjeshta banimi dhe ndërtesa publike, është e nevojshme të reduktohet kostoja dhe pesha e izolatorëve.

Në mënyrë që të kemi efektivitet në kosto, duhet që izolatorët të prodhohen me materialet e duhura për matricën dhe fibrat si dhe me sasinë optimale të tyre. Studime mbi sjelljen e izolatorëve kanë treguar ndikimin e disa karakteristikave në ngurtësinë horizontale dhe vertikale të tyre. Kryesisht ato klasifikohen në tre grupe të mëdha: faktori i formës, ngjeshshmëria e gomës dhe fleksibiliteti i fibrës.

Në këtë punim analizohet efekti i materialit të matricës  $E_m$ ,  $v_m$  dhe parametrave të fibrës  $E_f$ ,  $t_f$ , në ngurtësine vertikale dhe horizontale të izolatorëve me faktor të ndryshëm forme. Meqënëse rritja e faktorit të formës (që kryesisht arrihet me zmadhimin e numrit të shtresave të fibrave) shoqërohet me rritjen e kostos, në këtë studim tentohet të përcaktohet madhësia optimale e faktorit të formës.

# 2.2.1 Materialet, modelimi dhe parametrat fiziko – mekanike

Modelimi i izolatorit është bërë duke përdorur programin kompjuterik SAP2000.

Materialet e pranuara në analizë janë me parametra të ndryshëm fiziko - mekanike, siç tregohet në Tabelën 2.1:

Grupi i analizuar	E <sub>m</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	ν <sub>m</sub>	$E_f(kN / m^2)$	$\mathbf{t}_{\mathbf{f}}\left(\mathbf{m} ight)$	Nr. i analizës
	600			0.0002	1
1	3000	0.499	4.00E+08	0.0002	2
	6000			0.0002	3
		0.450		0.0002	4
2	6000	0.495	4.00E+08	0.0002	5
		0.499		0.0002	6
			4.00E+07	0.0002	7
3	6000	0.499	2.00E+08	0.0002	8
			4.00E+08	0.0002	9
				0.0002	10
4	6000	0.499	4.00E+08	0.0004	11
				0.002	12

Tabela 2. 1: Të dhënat e materialeve të përdorura në analiza

Kështu matrica është pranuar e përbërë nga tre lloje të ndryshme gome me modul elasticiteti  $E_m$  = 1000 kN/m<sup>2</sup>, gomë me ngurtësi të vogël,  $E_m$  = 3000 kN/m<sup>2</sup>, gomë me ngurtësi të mesme dhe  $E_m$  = 6000 kN/m<sup>2</sup>, gomë me ngurtësi të madhe, për të analizuar efektin e modulit të elasticitetit të matricës duke mbajtur të pandryshuar koeficientin e Puasonit v = 0.499.

Në grupin e dytë të modeleve, goma konsiderohet me modul elasticiteti  $E_m = 6000 \text{ kN/m}^2$  por për tre vlera të ndryshme të koeficientit të Puasonit, v = 0.45, v = 0.495 dhe v = 0.499.

Kurse fibra që përdorim për armimin e gomës është konsideruar për materiale të ndryshëm: fibër E-glass me modul elasticiteti  $E_f = 4 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$ , fibër çeliku me  $E_f = 2 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$  dhe fibër karboni me  $E_f = 4 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$ .

Parametrat gjeometrik të izolatorit tregohen në Figurën 2.9 sipas së cilës përcaktohen:

- Dimensionet e izolatorit a, b, h
- Trashësia e shtresës së matricës dhe fibrës,  $t_m$  dhe  $t_f$ , respektivisht.

Modelimi i izolatorëve është bërë duke u bazuar në Metodën e Elementëve të Fundëm (MEF) në hapësirë, për fazën lineare të materialeve përbërës. Për matricën është përdorur elementi i fundëm SOLID, kurse për fibrën elementi i fundëm SHELL.

Nyjet e faqes së poshtme kanë lidhje çernierë e palëvizshme kurse ato të faqes së sipërme janë të lira. Në faqen e sipërme të izolatorit veprojnë forcat e jashtme vertikale ( $P_v$ ) dhe ato horizontale ( $P_h$ ), të cilat i aplikojmë me intensitet uniformisht të shpërndarë në sipërfaqe.



Figura 2. 9: Parametrat gjeometrikë të izolatorit

Më poshtë tregohet skematikisht forma e deformimit të izolatorit në një shtresë, për shkak të ngarkesave të aplikuara si më lart:



Figura 2. 10: Forma e deformimit të një shtrese të izolatorit; a) forma e padeformueshme, b) nën veprimin e forcave vertikale, c) nën veprimin e forcave vertikale dhe horizontale

Me përkufizim, siç thamë më lart, faktori i formës *S*, është raporti i sipërfaqes së ngarkuar A = a x b kundrejt asaj të lirë të shtresës së gomës (a x b) x 2 t<sub>m</sub>. Pra:

$$s = \frac{a x b}{(a x b) x 2t_m}$$

Ngurtësia horizontale dhe ajo vertikale do të përcaktohen me shprehjet:

$$K_h = \frac{P_h}{d_h}$$
 dhe  $K_v = \frac{P_v}{d_v}$ 

Me interes është shpjegimi i modulit efektiv në shtypje të izolatorit  $E_c$  i cili do të shërbente si modul ekuivalent për llogaritjen e ngurtësisë vertikale si dhe modulin efektiv në rrëshqitje  $G_c$  i cili do të shërbente për llogaritjen e ngurtësisë horizontale, përkatësisht sipas shprehjeve:

$$K_v = \frac{E_c A}{h}$$
 dhe  $K_h = \frac{G_c A}{h}$ 

Në bazë të studimeve të deritanishme,  $G_c$  e izolatorit të armuar me shtresa horizontale konsiderohet e njëjtë me modulin në rrëshqitje të gomës (matricës),  $G_m$ . Kjo tregon se shtresat e armimit horizontal të gomës nuk ndikojnë në ngurtësinë horizontale të izolatorit.

Në këtë studim do të dallojmë sa ndikojnë shtresat e armimit horizontal në vlerën e  $G_c$  dhe për rrjedhojë edhe në ngurtësinë horizontale të izolatorit. Gjithashtu sipas shprehjes ( $K_v = E_c A/h$ ) për një izolator me përmasa të dhëna A dhe h, ngurtësia vertikale varet nga madhësia e  $E_c$ . Kjo e fundit ndryshon prej madhësisë  $E_m$  si rezultat i ndikimit që japin tre parametrat kryesorë të izolatorëve që janë faktori i formës S, ngjeshja e gomës dhe fleksibiliteti i fibrës.

Me njohjen e  $K_h$  dhe  $K_v$  mund të përcaktohen:

$$G_c = K_h \frac{h}{A}$$
 dhe  $E_c = K_v \frac{h}{A}$ 

#### 2.2.2 Analizat e kryera

Me qëllimin e studimit të ndikimit të këtyre parametrave kryesorë të materialit të matricës (gomë)  $E_m$ ,  $v_m$  dhe fibrës  $E_f$ ,  $t_f$ , për analizë janë marrë tre tipe izolatorësh:

- Izolatori Tip 1 me përmasa 25 x 25 x 24 cm
- Izolatori Tip 2 me përmasa 25 x 50 x 24 cm
- Izolatori Tip 3 me përmasa 50 x 50 x 24 cm

Për secilin Tip janë kryer këto grupe analizash:

- **1.** Grupi i parë i analizave kryhet për izolatorët me tre vlera të ndryshme të modulit të elasticitetit të gomës  $E_m = 1000$ , 3000 dhe 6000 kN/m<sup>2</sup> ndërkohë që parametrat e tjerë nuk ndryshojnë.
- **2.** Grupi i dytë i analizave kryhet për izolatorët me tre vlera të ndryshme të koeficientit të Poisson-it,  $v_m = 0.45$ ,  $v_m = 0.495$  dhe  $v_m = 0.499$  ndërkohë që parametrat e tjerë nuk ndryshojnë.
- **3.** Grupi i tretë i analizave kryhet për izolatorë me tre vlera të ndryshme të modulit të elasticitetit të fibrës  $E_f = 4 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$  (fibër E-glass),  $E_f = 2 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$  (fibër çeliku) dhe  $E_f = 4 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$  (fibër karboni), ndërkohë që vlerat e tjera nuk ndryshojnë.
- **4.** Grupi i katërt i analizave të izolatorëve kryhet për tre vlera të ndryshme të trashësisë së fibrave  $t_f = 0.2 \text{ mm}$ ,  $t_f = 0.4 \text{ mm}$  dhe  $t_f = 2 \text{ mm}$ .

Me qëllim që të analizohet efekti i faktorit të formës *S*, për secilin grup të analizave dhe për secilin Tip të izolatorëve, kryhen analizat për katër raste të ndryshme të armimit të tyre: me 4, 8, 16 dhe 32 shtresa.

#### 2.2.3 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre

Për të gjitha rastet e analizuara nën veprimin e forcave horizontale dhe vertikale merren madhësitë e zhvendosjeve horizontale dhe vertikale të izolatorëve.

Duke përdorur marrëdhëniet e shprehjeve të mësipërme llogariten, Ngurtësia horizontale,  $K_h$ , Ngurtësia vertikale,  $K_v$ , Moduli efektiv në rrëshqitje,  $G_c$ , dhe Moduli efektiv në shtypje,  $E_c$ .

Në mënyrë të përmbledhur këto rezultate jepen në tre tabelat e mëposhtme. Në Tabelën 2.2 jepen vlerat e faktorit të formës për rastet e realizuara, kurse në Tabelën 2.3 dhe 2.4 jepen përkatësisht rezultatet e ngurtësive horizontale dhe vertikale (në kN/m) për të gjithë rastet e realizuara.

<b>N</b> T •				Fakto	ori i fori	nës sipa	s numri	t të shtr	esave			
Nr. 1 analizës	<b>Tip 1</b> (25 x 25 x 24)			Т	<b>Tip 2</b> (25 x 50 x 24)			Т	<b>Tip 3</b> (50 x 50 x 24)			
ununzes	4	8	16	32	4	8	16	32	4	8	16	32
1												
2												
3												
4												
5	1.05	2.10	4.23	8.57	1.39	2.80	5.64	11.4	2.09	4.20	8.45	17.1
6												
7												
8												
9												
10	1.05	2.10	4.23	8.57	1.39	2.80	5.64	11.4	2.09	4.20	8.45	17.1
11	1.05	2.12	4.29	8.82	1.40	2.82	5.72	11.8	2.10	4.23	8.58	17.6
12	1.09	2.25	4.85	11.5	1.45	3.00	6.47	15.3	2.17	4.50	9.71	23.0

Tabela 2. 2: Faktorët e formës për analizat e kryera

Tabela 2. 3: Ngurtësia horizontale e izolatorëve

Grupi i		Tiŗ	<b>)</b> 1			Т	ip 2			Ti	p 3	
analizuar	4	8	16	32	4	8	16	32	4	8	16	32
	78	83	85	86	161	167	170	171	337	342	345	346
1	235	247	254	255	480	498	509	511	996	1017	1029	1034
	465	490	506	509	950	990	1014	1019	1942	2008	2045	2060
	410	425	442	450	827	855	885	901	1881	1936	1976	1998
2	437	463	485	491	890	933	973	983	1912	1978	2022	2043
	465	490	506	509	950	990	1014	1019	1942	2008	2045	2060
	385	434	470	490	791	880	944	982	1329	1580	1770	1901
3	455	484	502	507	932	978	1007	1016	1860	1961	2018	2045
	465	490	506	509	950	990	1014	1019	1942	2008	2045	2060
	465	490	506	509	950	990	1014	1019	1942	2008	2045	2060
4	471	494	508	510	961	995	1018	1021	1990	2035	2060	2068
	483	503	510	515	980	1010	1031	1032	2035	2058	2073	2075

Grupi i		J	Tip 1			Т	ip 2				Tip 3		
analiz uar	4	8	16	32	4	8	16	32	4	8	16	32	
	1656	5279	16706	24582	4072	12912	38052	55279	13565	40790	97087	129702	
1	4925	15533	48450	71839	12077	37793	109769	161031	39793	117440	277008	375940	
	9728	30211	92421	138122	23753	72993	207900	308642	77042	221484	516796	714286	
	3377	4503	5337	5681	7566	9590	10963	11476	17688	20788	22683	23356	
2	6135	14970	31486	40750	15848	37244	69735	86133	51894	104548	159744	185701	
	9728	30211	92421	138122	23753	72993	207900	308642	77042	221484	516796	714286	
	8024	20458	50659	83333	18567	45893	107759	177963	50761	114351	238949	388350	
3	9518	28818	85324	129870	23079	68823	190114	287356	73018	202020	461894	660066	
	9728	30211	92421	138122	23753	72993	207900	308642	77042	221484	516796	714286	
	9728	30211	92421	138122	23753	72993	207900	308642	77042	221484	516796	714286	
4	9850	31075	96899	143678	24155	75586	219780	321543	79586	234742	554017	751880	
	9960	31847	101010	148368	24510	77519	232558	333333	81756	246914	588235	784314	

 Tabela 2. 4: Ngurtësia vertikale e izolatorëve

Me rezultatet e këtyre tabelave në Figurat 2.11 deri në 2.13 paraqitet grafikisht varësia e ngurtësisë horizontale në funksion të faktorit të formës, për karakteristika të ndryshme të materialeve të matricës dhe të fibrës, kurse në Figurat 2.14 deri në 2.16 paraqitet grafikisht varësia e ngurtësisë vertikale në funksion të faktorit të formës.



Figura 2. 11: Ndikimi i materialeve të izolatorit në ngurtësinë horizontale të tij – Izolatori Tip 1



Figura 2. 12: Ndikimi i materialeve të izolatorit në ngurtësinë horizontale të tij – Izolatori Tip 2



Figura 2. 13: Ndikimi i materialeve të izolatorit në ngurtësinë horizontale të tij – Izolatori Tip 3



Figura 2. 14: Ndikimi i materialeve të izolatorit në ngurtësinë vertikale të tij - Izolatori Tip 1



Figura 2. 15: Ndikimi i materialeve të izolatorit në ngurtësinë vertikale të tij – Izolatori Tip 2



Figura 2. 16: Ndikimi i materialeve të izolatorit në ngurtësinë vertikale të tij – Izolatori Tip 3

Sipas rezultateve të mësipërme paraqesim konkluzionet e mëposhtme:

## Ndikimi i modulit të elasticitetit të gomës (matricës), E<sub>m</sub>

Moduli i elasticitetit të gomës ( $E_m$ ) ka ndikim të madh si në ngurtësinë horizontale, ashtu dhe në ngurtësinë vertikale të izolatorit; këto ngurtësi ndryshojnë thuajse me të njëjtin raport që ndryshon moduli i gomës. Me rritjen e faktorit të formës ky ndryshim në ngurtësinë vertikale bëhet më i madh.

Rekomandohet përdorimi i gomës me modul elasticiteti të madh (gomë e fortë).

Ndikimi i koeficientit të Puasonit të gomës (matricës),  $v_m$ 

Koeficienti i Puasonit të gomës ( $v_m$ ) nuk ka ndikim në ngurtësinë horizontale, por ka ndikim të madh në ngurtësinë vertikale të izolatorit. Për gomë me koeficient Puasoni të vogël rritja e faktorit të formës nuk shoqërohet me rritjen e ngurtësisë vertikale të izolatorit. Kurse për gomë me koeficient të madh, me rritjen e faktorit të formës përfitohet rritje e madhe në ngurtësinë vertikale të izolatorit.

Rekomandohet përdorimi i gomës me koeficient Puasoni të madh v = 0.49999 (gomë e pangjeshshme).

## Ndikimi i modulit të elasticitetit të fibrës, $E_f$

Moduli i elasticitetit të fibrës  $(E_f)$  thuajse nuk ka ndikim në ngurtësinë horizontale. Me rritjen e faktorit të formës ndikimi i tij shkon drejt zeros; moduli i elasticitetit të fibrës  $(E_f)$  ndikon në ngurtësinë vertikale, por ndikimi është i vogël në krahasim me ndikimin që jep faktori i formës. Kështu, për ndryshim 10 herë të modulit të elasticitetit të fibrës, ngurtësia vertikale ndryshon afërsisht 2 herë.

Pra zëvendësimi i materialit të fibrës prej çeliku me material tjetër më të lirë, si fibra karboni apo E-glass është i pranueshëm.

# Ndikimi i trashësisë së fibrës, t<sub>f</sub>

Trashësia e fibrës ( $E_f$ ) nuk ka ndikim as në ngurtësinë horizontale, as në ngurtësinë vertikale të izolatorit pavarësisht rritjes së faktorit të formës.

Për të prodhuar izolatorë me kosto të ulët, duhen përdorur fibra të holla dhe të shtohet sasia e shtresave të armimit.

# Ndikimi i Faktorit të Formës, S

Me rritjen e faktorit të formës (*S*), ngurtësia vertikale e izolatorit rritet në mënyrë të konsiderueshme (deri në 10 herë për faktor forme S = 15 - 20), për të gjitha vlerat e parametrave të materialeve. Me rritjen e faktorit të formës (*S*), ngurtësia horizontale e izolatorit nuk ndryshon, për të gjitha vlerat e parametrave të materialeve.

Faktori i formës ka ndikimin më të madh në ngurtësinë vertikale, prandaj për të prodhuar izolatorë me kosto të ulët, duhet rritur faktori i formës.

# **KAPITULLI 3**

# ANALIZA DINAMIKE DHE SIZMIKE E NDËRTESAVE TË IZOLUARA NË BAZË

# 3.1 Bazat Teorike të Analizës Sizmike të Ndërtesave të Izoluara<sup>1</sup>

#### 3.1.1 Teoria lineare e sistemit me dy shkallë lirie

Teoria lineare e izolimit sizmik është përshkruar me detaje nga Kelly. Në këtë material po japim një përmbledhje të shkurtër të kësaj teorie.

Teoria vetë bazohet në një model strukturor me masa të përqëndruara (m dhe  $m_b$ ) me dy shkallë lirie siç tregohet në Figurën 3.1.



Figura 3. 1: Parametrat e një sistemi të izoluar me dy shkallë lirie

Masa *m* përfaqëson mbistrukturën e një ndërtese, kurse masa  $m_b$  masën e bazës mbi izolatorë. Ngurtësia dhe shuarja e strukturës jepen nga parametrat  $k_s$  dhe  $c_s$ , kurse  $k_b$  dhe  $c_b$  janë përkatësisht ngurtësia dhe shuarja e izolatorit. Me  $U_s$  dhe  $U_b$  shënohen zhvendosjet absolute të masave përkatëse. Megjithatë është më e përshtatshme të përdorim zhvendosjet relative, të përcaktuara sipas formulave të mëposhtme:

$$u_b = U_b - u_g$$
 dhe  $u_s = U_s - U_b$ 

ku  $u_g$  është zhvendosja e bazamentit.

Arsyeja pse zhvendosjet relative janë më të përshtatshme lidhet me faktin që dy rezultatet kryesore që do nxjerrim nga kjo analizë janë zhvendosjet në izolator, të përfaqësuara nga  $u_b$  dhe driftet, të përfaqësuara nga  $u_s$ .

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Referuar F. Naeim dhe J. M. Kelly

Bazuar në këto madhësi, dy ekuacionet e ekuilibrit të lëvisjes dinamike, referuar modelit me dy shkallë lirie, do të jenë:

- Ekuacioni i parë nga ekuilibri i masës  $m_b$ , dhe
- Ekuacioni i dytë nga ekuilibri i masës m.

Sistemi i dy ekuacioneve të ekuilibrit dinamik është:

$$\begin{cases} (m+m_b)\ddot{u}_b + m\ddot{u}_s + c_b\dot{u}_b + k_bu_b = -(m+m_b)\ddot{u}_g \\ m\ddot{u}_b + m\ddot{u}_s + c_s\dot{u}_s + k_su_s = -m\ddot{u}_g \end{cases}$$
(3.1)

të cilët në formë matricore kanë trajtën:

$$\begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{u}_b \\ \ddot{u}_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{u}_b \\ \dot{u}_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_b \\ u_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \ddot{u}_g$$
(3.2)

ku  $M = m + m_b$ . Në trajtë të shkurtuar ekuacioni i mësipërm është:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{r\}\,\ddot{u}_g \tag{3.3}$$

Do të përkufizojmë raport të masave,  $\gamma$ , raportin:

$$\gamma = \frac{m}{m + m_b} = \frac{m}{M} \tag{3.4}$$

dhe frekuencat nominale,  $\omega_b$  dhe  $\omega_s$ , si:

$$\omega_b^2 = \frac{k_b}{m + m_b} \qquad \qquad \omega_s^2 = \frac{k_s}{m} \tag{3.5}$$

Shënojmë  $\frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} = \epsilon$  dhe  $\epsilon = 0(10^{-2})$ .

Faktorët e shuarjes  $\beta_b$  dhe  $\beta_s$  jepen nga formulat:

$$2\omega_b\beta_b = \frac{c_b}{m+m_b} \qquad 2\omega_s\beta_s = \frac{c_s}{m} \tag{3.6}$$

Tashmë ekuacionet e lëvizjes (3.1) marrin trajtën:

$$\begin{cases} \gamma u_s + \ddot{u}_b + 2\omega_b \beta_b \dot{u}_b + \omega_b^2 u_b = -\ddot{u}_g \end{cases}$$
(3.7a)

$$\left(\ddot{u}_s + \ddot{u}_b + 2\omega_s\beta_s\dot{u}_s + \omega_s^2u_s = -\ddot{u}_g\right)$$
(3.7b)

Shënojmë format klasike të sistemit me  $\{\phi\}^1$  dhe  $\{\phi\}^2$ , ku  $\{\phi\}^{i^T} = (\phi_b^i, \phi_s^i)$  për i = 1, 2, me frekuencat  $\omega_i$  dhe  $\omega_2$ .

Ekuacioni karakteristik i frekuencave është:

$$(1 - \gamma)\omega^4 - (\omega_s^2 + \omega_b^2)\omega^2 + \omega_b^2\omega_s^2 = 0$$
(3.8)

zgjidhjet e të cilit janë:

$$\omega_1^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 - \left[ (\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma \omega_b^2 \omega_s^2 \right]^{1/2} \right\}$$
$$\omega_2^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 + \left[ (\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma \omega_b^2 \omega_s^2 \right]^{1/2} \right\}$$
(3.9)

Për rendin e parë të  $\epsilon$  këto zgjidhje janë:

$$\omega_1^2 = \omega_b^2 (1 - \gamma \epsilon) \qquad \qquad \omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{1 - \gamma} (1 - \gamma \epsilon) \qquad (3.10)$$

Kurse format e lëkundjeve me ( $\phi_b^i = 1$ ), për i = 1, 2, janë:

$$\{\phi\}^{1^{T}} = (1,\epsilon) \qquad \{\phi\}^{2^{T}} = \left\{1, -\frac{1}{\gamma}[1-(1-\gamma)\epsilon]\right\}$$
(3.11)

Zhvendosjet relative të shprehura në koordinata modale janë:

$$u_b = q_1 \phi_b^1 + q_2 \phi_b^2$$
  $u_s = q_1 \phi_s^1 + q_2 \phi_s^2$ 

ku  $q_1$  dhe  $q_2$  janë koeficientë modalë në varësi të kohës (koordinata normale). Shënojmë madhësitë modale  $M_i$ ,  $L_i$  me shprehjet:

$$M_{i} = \{\phi\}^{i^{T}}[M]\{\phi\}^{i} \qquad \qquad L_{i} = \frac{\{\phi\}^{i^{T}}[M]\{r\}}{M_{i}} = \frac{\{\phi\}^{i^{T}}[M]\{r\}}{\{\phi\}^{i^{T}}[M]\{\phi\}^{i}}$$

Për rendin e parë të  $\epsilon$  ato janë:

$$M_1 = M(1 + 2\gamma\epsilon)$$
  $M_2 = M \frac{(1 - \gamma)[1 - 2(1 - \gamma)\epsilon]}{\gamma}$  (3.12)

dhe

$$L_1 = 1 - \gamma \epsilon \qquad \qquad L_2 = \gamma \epsilon \tag{3.13}$$

Shënojmë me  $\lambda_1$  dhe  $\lambda_2$  koeficientet e shprehur nga:

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

Nëse  $u_s$  dhe  $u_b$  shprehen në termat e  $\{\phi\}^1$  dhe  $\{\phi\}^2$ , marrim dy ekuacione me koeficientë modalë të  $q_1$  dhe  $q_2$  të trajtës:

$$(\ddot{q}_1 + 2\omega_1\beta_1\dot{q}_1 + \lambda_1\dot{q}_2 + \omega_1^2q_1 = -L_1\ddot{u}_g$$
(3.14)

$$\left( \ddot{q}_2 + \lambda_2 \dot{q}_1 + 2\omega_2 \beta_2 \dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 = -L_2 \ddot{u}_g \right)$$
(3.15)

Termat  $2\omega_1\beta_1$  dhe  $2\omega_2\beta_2$  llogariten prej:

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

prej të cilit marrim:

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

ose ndyshe:

$$\beta_1 = \beta_b \left( 1 - \frac{3}{2} \gamma \epsilon \right) \tag{3.16}$$

$$\beta_2 = \frac{\beta_s + \gamma \beta_2 \epsilon^{1/2}}{\left(1 - \gamma\right)^{1/2}} \left(1 - \frac{\gamma \epsilon}{2}\right)$$
(3.17)

Në formë të zbërthyer, koeficientet  $\lambda_1$  dhe  $\lambda_2$ , janë:

$$\lambda_1 M_1 = \lambda_2 M_2 = (1,\epsilon) \begin{bmatrix} c_b & 0\\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1\\ -a \end{pmatrix} = c_b - \epsilon a c_s \qquad \qquad a = \frac{1}{\gamma} [1 - (1-\gamma)\epsilon]$$

ku duke përdorur termat  $M_1$  dhe  $M_2$  nga ekuacioni (3.12) kemi:

$$\lambda_{1} = \frac{2\omega_{b}\beta_{b}M - \epsilon\{(1/\gamma)[1 - (1 - \gamma)\epsilon]\}2\omega_{s}\beta_{s}m}{M(1 + 2\gamma\epsilon)} = 2\omega_{b}\beta_{b}(1 - 2\gamma\epsilon) - \epsilon 2\omega_{s}\beta_{s}(1 - 2\gamma\epsilon)$$
$$= 2\omega_{b}\left[\beta_{b}(1 - 2\gamma\epsilon) - \epsilon^{1/2}\beta_{s}\right]$$
(3.18)

dhe

$$\lambda_{2} = \frac{2\omega_{b}\beta_{b}M - \epsilon\{(1/\gamma)[1 - (1 - \gamma)\epsilon]\}2\omega_{s}\beta_{s}m}{[M(1 - \gamma)/\gamma][1 - 2(1 - \gamma)\epsilon]}$$
$$= (2\omega_{b}\beta_{b} - \epsilon 2\omega_{s}\beta_{s})[1 + 2(1 - \gamma)\epsilon]\frac{\gamma}{1 - \gamma}$$
$$= 2\omega_{b}\{\beta_{b}[1 + 2(1 - \gamma)\epsilon] - \epsilon^{1/2}\beta_{s}\}\frac{\gamma}{1 - \gamma}$$
(3.19)

Në shumicën e strukturave reale supozohet se shuarja është mjaftueshëm e vogël në mënyrë që efekti i komponentëve jashtë diagonales kryesore matricore (këtu  $\lambda_1$  dhe  $\lambda_2$ ) mund të neglizhohet dhe zgjidhja e kërkuar mund të merret prej ekuacioneve të palidhur modalë të lëvizjeve:

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

Në fushën kohore të lëkundjes së truallit, me  $\ddot{u}_g(t)$  të dhënë, koeficientët modalë  $q_1(t)$  dhe  $q_2(t)$  mund të llogariten si:

$$q_1 = \frac{L_1}{\omega_1} \int_0^t \ddot{u}_g(t-\tau) e^{-\omega_1 \beta_1 \tau} \sin \omega_1 \tau \, d\tau \tag{3.20a}$$

$$q_2 = -\frac{L_2}{\omega_2} \int_0^t \ddot{u}_g(t-\tau) e^{-\omega_2 \beta_2 \tau} \sin \omega_2 \tau \, d\tau \tag{3.20b}$$

Kurse vlerat maksimale të tyre janë:

$$|q_1|_{\max} = L_1 S_D(\omega_1, \beta_1)$$
 (3.21*a*)

$$|q_2|_{\max} = L_2 S_D(\omega_2, \beta_2) \tag{3.21b}$$

ku  $S_D(\omega, \beta)$  është spektri i reagimit të zhvendosjeve për lëkundjen e truallit,  $\ddot{u}_g(t)$ , për një frekuencë  $\omega$  dhe faktor shuarjeje  $\beta$ .

Në mënyrë që të vlerësojmë madhësitë e ndryshme të reagimit nga vlerat maksimale të spektrit të reagimit, është e nevojshme të përdoret ndonjëra prej metodave të kombinimeve modale (SRSS ose CQC).

Vlerat maksimale të zhvendosjeve të sistemit izolues dhe deformimeve të strukturës jepen nga barazimet:

$$|u_{s}|_{\max} = \left[(\phi_{2}^{1}|q_{1}|_{\max})^{2} + (\phi_{2}^{2}|q_{2}|_{\max})^{2}\right]^{1/2}$$
(3.22a)

. .

$$|\mathbf{u}_{b}|_{\max} = \left[ (\phi_{1}^{1} |q_{1}|_{\max})^{2} + (\phi_{1}^{2} |q_{2}|_{\max})^{2} \right]^{1/2}$$
(3.22b)

Nëse zëvendësojmë ekuacionet (3.12), (3.13), (3.21a) dhe (3.21b), në ekuacionin më sipër marrim:

$$|u_b|_{max} = \{ [L_1 S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [L_2 S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \}^{1/2} = \{ (1 - \gamma \epsilon)^2 S_D^2(\omega_1, \beta_1) \gamma^2 \epsilon^2 S_D^2(\omega_2, \beta_2) \}^{1/2}$$
(3.23)

dhe

$$|u_{s}|_{max} = \left\{ \epsilon^{2} (1 - \gamma \epsilon)^{2} S_{D}^{2}(\omega_{1}, \beta_{1}) + \gamma^{2} \epsilon^{2} \frac{1}{\gamma^{2}} [1 - (1 - \gamma)\epsilon]^{2} S_{D}^{2}(\omega_{2}, \beta_{2}) \right\}^{1/2}$$
  
=  $\epsilon \{ (1 - 2\gamma \epsilon)^{2} S_{D}^{2}(\omega_{1}, \beta_{1}) + [1 - 2(1 - \gamma)\epsilon]^{2} S_{D}^{2}(\omega_{2}, \beta_{2}) \}^{1/2}$  (3.24)

Në përgjithësi, termi  $\epsilon^2 S_D(\omega_2, \beta_2)$  mund të neglizhohet për spektrat e tërmeteve në të cilët zhvendosja në frekuencat e larta (d.m.th.,  $\omega_2$ ) është shumë më e vogël se në frekuencat e ulëta (d.m.th.,  $\omega_1$ ). Me këtë neglizhim, prej ekuacionit (3.23) zhvendosja maksimale e sistemit izolues është:

$$|u_b|_{max} = (1 - \gamma \varepsilon) S_D(\omega_1, \beta_1)$$
(3.25)

Nëse neglizhojmë çdo term të rendit më të lartë se  $\epsilon^2$ , atëherë prej shprehjes (3.24) deformimi maksimal i strukturës (drifti,  $u_s$ ) është:

$$|u_s|_{max} = \epsilon [S_D^2(\omega_1, \beta_1) + S_D^2(\omega_2, \beta_2)]^{1/2}$$
(3.26)

Në mënyrë të ngjashme, koeficienti i forcës prerëse në bazë,  $C_S$ , i dhënë nga barazimi:

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

merr trajtën:

$$C_{S} = \omega_{S}^{2} \epsilon [S_{D}^{2}(\omega_{1},\beta_{1}) + S_{D}^{2}(\omega_{2},\beta_{2})]^{1/2} = [\omega_{b}^{4}S_{D}^{2}(\omega_{1},\beta_{1}) + \epsilon^{2}\omega_{s}^{4}S_{D}^{2}(\omega_{2},\beta_{2})]^{1/2}$$
  
=  $[S_{A}^{2}(\omega_{1},\beta_{1}) + \epsilon^{2}S_{A}^{2}(\omega_{2},\beta_{2})]^{1/2}$  (3.27)

Prej të cilit forca prerëse në bazë llogaritet me shprehjen  $F = C_S m$ .

Nëse prej shprehjes (3.26) mbajmë vetëm termin e parë kemi:

$$|u_s|_{max} = \frac{\epsilon S_V}{\omega_b} = \epsilon S_D(\omega_b, \beta_b)$$
(3.28a)

$$|u_b|_{max} = \frac{S_V}{\omega_b} = S_D(\omega_b, \beta_b)$$
(3.28b)

Kurse, koeficienti i projektimit i forcës prerëse

$$C_S = \frac{k_s u_s}{m} = \omega_s^2 u_s$$

bëhet

$$C_S = \omega_b S_V \left[ 1 + \epsilon^2 \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} \right]^{1/2} = S_A(\omega_b, \beta_b) \left( 1 + \frac{\epsilon}{1 - \gamma} \right)^{1/2} \approx S_A(\omega_b, \beta_b)$$
(3.29)

Kjo tregon që për vlera të vogla të  $\epsilon$  dhe për një spektër tipik projektimi, sistemi izolues mund të llogaritet (të paktën në fazën fillestare) për zhvendosje relative në bazë  $=S_D(\omega_b, \beta_b)$ , kurse ndërtesa për koeficient të forcës prerëse në bazë  $=S_A(\omega_b, \beta_b)$ . Reduktimi i forcës prerëse në bazë krahasuar me strukturën me bazë fikse, ku  $C_S = S_A(\omega_s, \beta_s)$ , jepet nga raporti  $S_A(\omega_b, \beta_b)/S_A(\omega_s, \beta_s)$ , i cili për zonën e spektrit me shpejtësi konstante është  $\omega_b/\omega_s$ , ose përafërsisht i rendit  $\epsilon^{1/2}$ . Ky përafrim jep një vlerë më të vogël (përafrim nga poshtë) të reduktimit të forcës prerëse në bazë, sepse, në përgjithësi,  $\beta_b$  është më e madhe se  $\beta_s$ .

#### 3.1.2 Teoria lineare e sistemit me shumë shkallë lirie

#### a) Ekuacionet e lëvizjes

Analiza e një modeli të thjeshtë linear me dy shkallë lirie e zhvilluar më lart mund të aplikohet edhe për ndërtesat shumë katëshe. Le të shohim një sistem strukturor të një ndërtese me matricë mase [*M*], matricë shuarjeje, [*C*], dhe matricë ngurtësie [*K*].

Për një strukturë të zakonshme, sistemi i ekuacioneve të ekuilibrit dinamik do të shprehej me barazimin:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{u\} + [K]\{u\} = -[M]\{r\}\ddot{u}_g$$
(3.30)

ku  $u_i$  janë zhvendosjet relative të secilës shkallë lirie kundrejt truallit, {r} është një vektor që lidh çdo shkallë lirie me lëkundjet e truallit dhe  $\ddot{u}_g$  është nxitimi i truallit.

Për një strukturë të izoluar në bazë me masë të bazës  $m_b$ , ngurtësi  $k_b$  dhe shuarje  $c_b$ , ekuacioni (3.30) merr trajtën:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{r\}(\ddot{u}_g + \ddot{u}_b)$$
(3.31)

ku  $u_i$  janë zhvendosjet relative të secilës shkallë lirie kundrejt bazës,  $u_b$  është zhvendosja e bazës në lidhje me truallin dhe  $\ddot{u}_b$  është nxitimi i bazës kundrejt truallit.



Figura 3. 2: Parametrat e sistemit të izoluar me shumë shkallë lirie

Tashmë ekuacioni i përgjithshëm i lëvizjes merr trajtën:

$$\{r\}^{T}[M](\{\ddot{u}\}+\{r\}\ddot{u}_{b}+\{r\}\ddot{u}_{g})+m_{b}(\ddot{u}_{b}+\ddot{u}_{g})+k_{b}v_{b}=0$$
(3.32)

i cili mund të shkruhet ndryshe:

$$\{r\}^{T}[M]\{\ddot{u}\} + (m+m_{b})\ddot{u}_{b} + c_{b}\dot{u}_{b} + k_{b}u_{b} = -(m+m_{b})\ddot{u}_{g}$$
(3.33)

Ekuacioni (3.33) përcakton  $\{r\}^T[M]\{r\}$  si masën totale *m* të ndërtesës; kështu që, *m*+ *m*<sub>b</sub> është masa totale që mban sistemi izolues. Forma matricore e këtij ekuacioni është:

$$[M^*]\{\ddot{u}^*\} + [C^*]\{\dot{u}^*\} + [K^*]\{u^*\} = -[M^*]\{r^*\}\ddot{u}_g$$
(3.34)

ku

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

dhe

$$\begin{bmatrix} K^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_b & 0\\ \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} K \end{bmatrix} \qquad \{r^*\} = \begin{bmatrix} 1\\ \{0\} \end{bmatrix} \qquad \{u^*\} = \begin{bmatrix} u_b \\ \{u\} \end{bmatrix}$$

#### b) Analiza modale e sistemeve me shumë shkallë lirie

Modet natyrale të strukturës me bazë fikse supozohet se njihen dhe përcaktohen nga  $\{\phi\}^i$ , ku i = 1, ..., N. Në këto terma, zhvendosjet për secilën shkallë lirie të strukturës përcaktohen nga:

$$\{u\} = \sum_{i=1}^{N} q_i \{\phi\}^i$$
(3.35)

Frekuenca natyrore  $\omega_i^2$  jepet nga:

$$[M]{\phi}^i\omega_i^2 = [K]{\phi}^i$$

gjithashtu supozojmë se  $\{\phi\}^i [C] \{\phi\}^j = 0$  nëse  $i \neq j$ .

Ekuacionet matricore të lëvizjes reduktohen në N-1 ekuacione:

$$\sum_{i=1}^{N} \{\phi\}^{i} \{r\}^{T} [M] \ddot{q}_{i} + (m+m_{b}) \ddot{u}_{b} + c_{b} \dot{u}_{b} + k_{b} u_{b} = -(m+m_{b}) \ddot{u}_{g} \qquad (3.36a)$$

dhe

$$\ddot{q}_i + 2\omega_i\beta_i\dot{q}_i + \omega_i^2q_i = -L_i(\ddot{u}_b + \ddot{u}_g)$$
(3.36b)

ku L<sub>i</sub> janë faktorët e pjesëmarrjes modale të strukturës me bazë fikse

$$L_{i} = \frac{\{\phi\}^{i^{T}}[M]\{r\}}{\{\phi\}^{i^{T}}[M]\{\phi\}^{i}}$$

Masa modale e strukturës me bazë fikse është:

$$M_i = \{\phi\}^{i^{\mathrm{T}}} [\mathrm{M}] \{\phi\}^i$$

Këto ekuacione mund t'i shkruajmë në trajtën:

12 h/

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{L_i M_i}{m + m_b} \ddot{q}_i + \ddot{u}_b + 2\omega_b \beta_b \dot{u}_b + \omega_b^2 u_b = -\ddot{u}_g$$
(3.37*a*)

dhe

$$L_i \ddot{u}_b + \ddot{q}_i + 2\omega_i \beta_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = -L_i \ddot{u}_g$$
(3.37b)

Analiza modale e përfunduar e këtyre *N-1* ekuacioneve jepet nga Kelly, ku përshkruhet dhe procedura e përcaktimit të frekuencave dhe modeve për strukturat e kombinuara. Në pjesën më të madhe të rasteve modet më të larta se modi i parë nuk luajnë ndonjë rol në projektimin e strukturës ose të sistemit izolator; kështu që mjafton të përfshijmë vetëm modin e parë.

Nëse krahasojmë ekuacionin e lëvizjeve (2.37a) dhe (2.37b), me ekuacionet e sistemit me një shkallë lirie (3.7a) dhe (3.7b), shohim që këto ekuacione janë të njëjtë nëse zëvendësojmë  $u_b$  në analizën fillestare me  $L_1 u b$ , dhe  $\ddot{u}_q$  me  $L_1 \ddot{u}_q$ ; atëherë:

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

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

Kjo na jep:

me

$$\frac{L_1^2 M_1}{m + m_b} \ddot{q}_1 + (L_1 \ddot{u}_b) + 2\omega_b \beta_b (L_1 \dot{u}_b) + \omega_b^2 (L_1 u_b) = -L_1 \ddot{u}_g$$
$$(L_1 \ddot{u}_b) + \ddot{q}_1 + 2\omega_1 \beta_1 \ddot{q}_1 = -L_1 \ddot{u}_g$$

Zgjidhja  $q_1$ , e këtyre ekuacioneve është e ngjashme me atë të sistemit me një shkallë lirie. Rezultatet bazë për sistemin me një shkallë lirie

$$|u_b|_{max} = \frac{1}{\omega_b^2} S_A(\omega_b, \beta_b)$$
(3.38)

dhe

$$C_{S} = \left[S_{A}(\omega_{b}^{*},\beta_{b}^{*}) + \epsilon^{2}(1-\gamma)^{2}S_{A}^{2}(\omega_{s}^{*},\beta_{s}^{*})\right]^{1/2}$$
(3.39)

zëvendësohen si në vijim. Zhvendosja maksimale relative e bazës është:

$$|L_1 v_b|_{max} = \frac{1}{\omega_b^2} L_1 S_A(\omega_b, \beta_b)$$
(3.40)

dhe duke qënë se  $L_i$  shfaqet në të dy anët e barazimit, ky i fundit është i njëjti me të mëparshmin. Për forcën prerëse kemi:

$$|q_1|_{max} = \left[\frac{\epsilon^2 L_1^2 S_A^2(\omega_b^*, \beta_b^*)}{\omega_b^{*^4}} + \frac{\epsilon^2 L_1^2 S_A^2(\omega_s^*, \beta_s^*)}{\omega_s^{*^4}}\right]^{1/2}$$
(3.41)

me  $\omega_s^*$ ,  $\beta_s^*$  të llogaritura si më parë dhe me  $\epsilon$  të zëvendësuar nga  $\epsilon_1 = \frac{\omega_b^2}{\omega_1^2}$ .

Vektori i zhvendosjeve relative është:

$$\{u\} = q_1\{\phi\}^1 \tag{3.42}$$

dhe nëse neglizhojmë kontributin që jep shuarja, forca fillestare në secilin element është:

$$\{F\} = [K]\{v\} = q_1[K]\{\phi\}^1 = q_1[M]\{\phi\}^1\omega_1^2$$
(3.43)

Forca horizontale totale në mbistrukturë është:

$$\{r\}^T\{F\} = q_1 \omega_1^2 L_1 M_1 \tag{3.44}$$

Kjo mund të shprehet në terma të koeficientit të forcës prerëse në bazë:

$$C_{S}m = \{r\}^{T}\{F\}$$
(3.45)

Kështu që:

$$C_{S} = \frac{L_{1}M_{1}}{m} [L_{1}^{2}S_{A}^{2}(\omega_{b},\beta_{b}) + (1-\gamma_{1})^{2}\epsilon^{2}L_{1}^{2}S_{A}^{2}(\omega_{s}^{*},\beta_{s}^{*})]^{1/2}$$
  
$$= \frac{L_{1}^{2}M_{1}}{m} [S_{A}^{2}(\omega_{b},\beta_{b}) + (1-\gamma_{1})^{2}\epsilon^{2}S_{A}^{2}(\omega_{s}^{*},\beta_{s}^{*})]^{1/2}$$
(3.46)

me  $\epsilon = \omega_b^2 / \omega_1^2$  të përcaktuar më sipër.

# 3.2 Reagimi Sizmik i Strukturave Inelastike me Bazë Fikse dhe me Bazë të Izoluar

Shumica e strukturave ndërtimore projektohen të tilla që nën reagimin e veprimeve sizmike të deformohen përtej pragut elastik. Kështu që në inxhinierinë e tërmeteve është shumë e rëndësishme analiza e reagimit inelastik të strukturave, duke pasur parasysh marrëdhënien elasto - plastike të elementëve strukturorë siç paraqitet skematikisht në Figurën 3.3:



Figura 3. 3: Diagrama inelastike jolineare forcë - deformim e elementëve strukturorë

Gjatë analizave joelastike të strukturave, përdoret koncepti i duktilitetit i cili shpreh raportin e deformimeve maksimale kundrejt deformimeve në fazën e rrjedhshmërisë (me termin deformim kuptohet çdo lloj deformimi linear apo rrotullues)  $\mu = \frac{\Delta m}{\Delta_v}$ .

Madhësia e duktilitetit të një seksioni, elementi, nyje apo strukturës varet nga shumë faktorë siç mund të përmendim: vetitë fiziko - mekanike të materialeve, forma e seksioneve, përmasat e elementëve strukturorë dhe skema strukturore, si dhe lidhjet ndërmjet elementëve strukturorë dhe natyra e punës së elementëve.

Llogaritja e duktilitetit për strukturat reale ndërtimore paraqet vështirësi dhe shpesh pasiguri të vlerësimit të saktë të tij.

#### 3.2.1 Marrëdhënia midis duktilitetit dhe rezistencës

Për thjeshtësi të interpretimit do të konsiderojmë strukturën me sjellje ideale elasto-plastike, diagrama forcë-zhvendosje e së cilës paraqitet në Figurën 3.4:



Figura 3. 4: Diagrama elasto-plastike forcë-zhvendosje e elementëve strukturorë

Në diagramë, përveç zhvendosjeve të rrjedhshmërisë  $\Delta_y$  dhe asaj maksimale  $\Delta_m$ , me anën e të cilave përcaktohet duktiliteti, dallohen dhe dy parametra të tjerë: madhësia e forcës së rrjedhshmërisë f<sub>y</sub> dhe ngurtësia k.

Meqënëse projektimi i strukturave (reduktimi i forcës në bazë të duktilitetit) bazohet në madhësinë e kësaj force, ajo konsiderohet rezistenca llogaritëse (rezistenca e rrjedhshmërisë).

Për një strukturë të dhënë me një ngurtësi *k*, të caktuar në funksion të pranimit të sjelljes së saj gjatë forcave të tërmetit, ne mund të studiojmë dy situata:

- Situata e parë sipas së cilës struktura reagon vetëm në fazën elastike e cila karakterizohet nga rezistenca e rrjedhshmërisë elastike  $f_y^e$  dhe duktiliteti  $\mu = 1$  (pra  $\Delta_y = \Delta_m$ ) siç tregohet në Figurën 3.5a.
- Situata e dytë sipas së cilës struktura reagon sipas marrëdhënies elasto plastike e karakterizuar nga rezistenca e rrjedhshmërisë plastike  $f_y^p$  dhe duktiliteti  $\mu > 1$  (pra  $\Delta_y < \Delta_m$ ), Figura 3.5b.



Figura 3. 5: Diagrama forcë-zhvendosje e strukturës: a) reagim elastik, b) reagim elasto-plastik

Nëse pranojmë që struktura prej tërmetit të pësojë të njëjtën zhvendosje maksimale për të dyja situatat e reagimit, elastik sipas Figurës 3.5a dhe elasto-plastik sipas 3.5b, atëherë zhvendosja e rrjedhshmërisë së strukturës elastike do të jetë e barabartë me zhvendosjen maksimale të strukturës elasto - plastike dhe diagrama e sjelljes së tyre do të paraqitej bashkarisht sipas figurës së mëposhtme:



Figura 3. 6: Diagrama forcë - zhvendosje e strukturave për dy situatat e reagimit

Bazuar në diagramën më sipër gjendet raporti i rezistencës së rrjedhshmërisë midis dy situatave të strukturës:

$$\frac{f_y^e}{f_y^{ep}} = \frac{\Delta_m}{\Delta_y} = \mu$$

$$\operatorname{Pra}, f_y^{ep} = \frac{f_y^e}{\mu}.$$

Kështu konstatohet se me rritjen e duktilitetit të pranuar për strukturën reduktohet rezistenca e rrjedhshmërisë së saj. N.q.s. arsyetojmë nga e kundërta (sipas procedurës së projektimit) për një madhësi të pranuar të duktilitetit rezistenca e rrjedhshmërisë (llogaritëse) e strukturës elasto - plastike  $f_y^{ep}$ , do të merret e zvogëluar  $\mu$  - herë kundrejt rezistencës së rrjedhshmërisë elastike,  $f_y^e$ .

#### 3.2.2 Duktiliteti i pranuar (lejuar) dhe duktiliteti i kërkuar

Reagimi sizmik i strukturës mund të kryhet sipas metodës spektrale (response spectrum analysis, RSA) apo analizës në fushën kohore (time history analysis, THA). Analiza spektrale bazohet në spektrat e reagimit sizmik të cilët ndërtohen për nivele të pranuar të duktilitetit të strukturës. Për ilustrim në Figurën 3.7 paraqesim spektrin e reagimit të tërmetit El Centro ( $a_g$ =0.349g) për shuarje  $\eta = 5\%$ , për dy raste të duktilitetit të pranuar;  $\mu_p = 1$  (strukturë elastike) dhe  $\mu_p = 4$  (strukturë elasto-plastike).



**Figura 3. 7:** Spektri i reagimit të pseudo nxitimit dhe të zhvendosjeve të tërmetit El Centro për dy nivele të duktiliteti,  $\mu_p = 1$  dhe  $\mu_p = 4$  (shuarje 5%)

Kështu sipas analizës spektrale përcaktohet rezistenca llogaritëse e rrjedhshmërisë në funksion të duktilitetit të pranuar sipas shprehjes:

$$f_y = A_y \cdot m$$

ku *m* është masa e sistemit dhe  $A_y$  është pseudo nxitimi i fituar prej spektrit të reagimit për duktilitetin e pranuar.

Konsiderojmë një strukturë me periodë dhe shuarje të caktuar. Kryejmë dy llogaritje të ndryshme të saj. Në njërin rast duktiliteti i pranuar është  $\mu_p = 1$  dhe në rastin tjetër  $\mu_p = 4$ . Sipas analizës spektrale, rezistenca e rrjedhshmërisë ( $f_y$ ) dhe deformimi i rrjedhshmërisë ( $\Delta_y$ ) përcaktohen prej spektrit të reagimit në korrespondencë me vlerat e  $\mu_p$ .

Nëse strukturën e rianalizojmë në fushën kohore, bazuar në diagramën elasto - plasike të sjelljes me parametrat e llogaritur prej analizës spektrale (k,  $f_y$ ,  $\Delta_y$ ), do përcaktojmë deformimin maksimal  $\Delta_m$  që struktura kërkon të realizojë. Raportin e këtij deformimi me deformimin e rrjedhshmërisë do ta quajmë duktilitet të kërkuar:

$$\mu_k = \frac{\Delta_m}{\Delta_y}$$

Shtrohet pyetja: A është i barabartë duktiliteti i kërkuar  $(\mu_k)$  me atë të pranuar  $(\mu_p)$ ? Për sistemet me një shkallë lirie duktiliteti i kërkuar është i barabartë me atë të pranuar, kurse për sistemet me shumë shkallë lirie duktiliteti i kërkuar është i ndryshëm nga ai i pranuar (më i madh ose më i vogël).

Kjo tregon se reagimi real i elementëve elasto - plastik kërkon një nivel të caktuar të deformimit. Madhësia e këtij deformimi të kërkuar gjatë reagimit sizmik mund të jetë më i madh ose më i vogël se kapaciteti në zhvendosje i këtij elementi. Kjo kërkesë për zhvendosje gjatë reagimit elasto - plastik paraqitet skematikisht në figurën e mëposhtme:



Figura 3. 8: Deformimi maksimal i pranuar dhe i kërkuar për dy sistemet,  $\mu_p=1$  dhe  $\mu_p=4$ 

#### 3.2.3 Reagimi i ndërtesave shumë katëshe, duktiliteti i kateve

Për të studiuar reagimin e ndërtesave shumë katëshe me bazë fikse apo të izoluar në situata të ndryshme të shpërndarjes së ngurtësive dhe rezistencave të rrjedhshmërisë së kateve, si dhe për vlera të ndryshme të duktiliteteve të pranuara, do të krijojmë disa modele. Në trajtë të përmbledhur, këto modele i paraqesim në bllok - skemën e mëposhtme:

Strukturat r	Strukturat me bazë fikse								
<b>TIP 1</b> $k_1 \ge 1$ dhe $k_{2-5} \ge 1$ $\mu_p = 1$ dhe $\mu_p = 4$	TIP 2 $k_1 \ge 1$ dhe $k_{2-5} \ge 4 \implies f_{y_{2-5}} \ge x$ $\mu_p = 1$ dhe $\mu_p = 4$								
Strukturat e reja të iz	oluara në bazë (µ <sub>p</sub> = 1)								
TIP 1a	<b>TIP 2a</b> $k_1 \ge 1$ dhe $k_{2-5} \ge 4 \implies f_{y_2-5} \approx \ge 1$								
k <sub>1</sub> x 1 dhe k <sub>2-5</sub> x 1	<b>TIP 2b</b> $k_1 x 1$ dhe $k_{2-5} x 4$ $f_{y2-5}$ supozuar x 2								
Strukturat ekzistuese të	izoluara në bazë (µ <sub>p</sub> = 4)								
<b>TIP 1 BI</b> k <sub>1</sub> x 1 dhe k <sub>2-5</sub> x 1	<b>TIP 2 BI</b> $k_1 \ge 1$ dhe $k_{2-5} \ge 4 \implies f_{y^2-5} \approx \ge 2$								

Shqyrtojmë një ndërtesë me 5 kate të idealizuar si ramë në prerje të paraqitur në Figurën 3.9:





Fillimisht kryejmë analizën spektrale të ramës duke përdorur programin SAP2000 në fazën elastike ( $\mu = 1$ ) për shuarje  $\eta = 5\%$ .

Nga analiza marrim rezultatet e reagimit të ramës të cilat paraqiten në mënyrë të përmbledhur në Tabelën 3.1 më poshtë. Meqënëse rezultatet e marra nga analiza spektrale përfaqësojnë madhësitë në fazën e rrjedhshmërisë, i dallojmë me indeksin "y" (yield).

Kati	Zhvendosja U <sub>yj</sub> (cm)	Deformimi ⊿ <sub>yj</sub> (cm)	Forca prerëse $f_{y,j}^e$ (kN)	Ngurtësia e katit k <sub>j</sub> (kN/m)
5	11.07	1.82	1149	63132
4	9.25	2.24	1953	57185
3	7.01	2.43	2504	103045
2	4.58	2.42	2937	121364
1	2.16	2.16	3221	149120

Tabela 3. 1: Rezultatet e reagimit elastik linear të ramës 5 katëshe

ku  $U_{yj}$  është zhvendosja e rrjedhshmërisë së katit "*j*";  $\Delta_{yj} = U_{yj} - U_{y(j-1)}$  është deformimi i rrjedhshmërisë së katit "*j*";  $f_{y,j}^{e}$  është forca prerëse e katit "*j*" e cila përfaqëson rezistencën e rrjedhshmërisë në rastin e sistemeve elasto - plastike; dhe  $k_j$  është ngurtësia e katit "*j*",  $k_j = f_{yj}^{e}/\Delta_{yj}$ . Për qëllimin e analizës në fushën kohore do të përdorim një model të ri të ramës për të mundësuar përveç analizës në fazën elastike ( $\mu = 1$ ) edhe analizën në fazën elasto - plastike ( $\mu > 1$ ). Këtë model të strukturës do ta emërtojmë TIP 1. Ky model i paraqitur në Figurën 3.10 përfaqëson zëvendësimin e kollonave me elementë me ngurtësi EI =  $\infty$  dhe vetitë elastike të përfaqësuara nga elementët jolineare NLIN<sub>j</sub>, karakteristikat e të cilëve merren të njëjta me kollonat që zëvendësojnë. Konkretisht elementët jolinearë NLIN<sub>j</sub> janë modeluar si elementë bilinearë me ngurtësi k<sub>j</sub> dhe rezistencën e rrjedhshmërisë  $f_{yj}^{ep}$ . Diagrama elasto - plastike e elementëve jolineare NLIN<sub>j</sub> tregohet në Figurën 3.11. Është e qartë se në rastin e sistemeve elastike  $f_{yj}^{ep} = f_{yj}^{e}$  (pasi  $\mu = 1$ ), kurse në sistemet elasto-plastike  $f_{yj}^{ep}$  është funksion i duktilitetit të pranuar.



Figura 3. 10: Modeli elasto-plastik (jolinear) i ramës



Figura 3. 11: Diagrama elasto-plastike midis forcës prerëse dhe deformimit të katit

Do të kryejmë dy lloj analizash: analizën spektrale (RSA) dhe analizën në fushën kohore (THA). Këto analiza do t'i kryejmë për nivele të ndryshme të duktilitetit të pranuar. Konkretisht do të analizojmë strukturën me duktilitet të pranuar  $\mu_p = 1$  (sistem elastik) dhe  $\mu_p = 4$  (sistem elasto - plastik).

Fillimisht kryejmë analizën spektrale duke përdorur spektrin e reagimit El Centro me shuarje 5% në madhësinë e pranuar të duktilitetit.

Me rezultatet e marra nga analiza spektrale, modelojmë karakteristikat e elementëve NLIN<sub>j</sub> për të vazhduar me analizën në fushën kohore. Këtë të fundit e kryejmë nën veprimin e akselerogramës së të njëjtit tërmet, El Centro me shuarje 5% (spektrin e reagimit të të cilit përdorëm gjatë analizës spektrale). Prej rezultateve të analizës jolineare marrim zhvendosjet maksimale të kërkuara të kateve  $U_{mj}$ , me anën e të cilave llogarisim deformimet maksimale të kërkuara të tyre (sipas mënyrës së diferencës së maksimumeve).

$$\Delta_{mj} = U_{mj} - U_{m(j-1)}$$

Duke njohur deformimet elastike të kateve  $\Delta_{yj}$  dhe deformimet maksimale të kërkuara të tyre, bëhet e mundur llogaritja e duktilitetit të kërkuar të kateve,  $\mu_{kj}$ .

Nga analiza dinamike llogarisim periodat e lëkundjeve. Vlerat e tyre për tre format e para të lëkundjeve janë:  $T_1 = 0.79$  s,  $T_2 = 0.3$  s,  $T_3 = 0.2$  s.

Rezultatet e analizave të parametrave që paraqesin interes për interpretim, jepen në mënyrë të përmbledhur në dy tabelat e mëposhtme:

Lloji i :	analizës	Ana	liza spektral	e (L)	Analiza në fushën kohore (NL)			
Kati	k <sub>j</sub>	Uyj(cm)	$\Delta_{yj}(\mathbf{cm})$	$f_{yj}^{ep}(kN)$	U <sub>mj</sub> (cm)	$\Delta_{mj}(\mathbf{cm})$	$\mu_{kj}$	
5	63132	10.6	1.74	1117	9.94	1.28	0.74	
4	87185	8.86	2.06	1878	8.66	1.61	0.78	
3	103045	6.80	2.34	2446	7.05	2.08	0.89	
2	121364	4.46	2.36	2881	4.97	2.44	1.03	
1	149120	2.10	2.10	3126	2.53	2.53	1.2	

**Tabela 3. 2:** Rezultatet e analizave të strukturës TIP 1, për  $\mu_p = 1$ 

**Tabela 3. 3:** Rezultatet e analizave të strukturës TIP 1, për  $\mu_p = 4$ 

Lloji i a	analizës	Ana	liza spektral	e (L)	Analiza në fushën kohore (NL)			
Kati	kj	Uyj(cm)	$\Delta_{yj}(\mathbf{cm})$	$f_{yj}^{ep}(kN)$	U <sub>mj</sub> (cm)	$\Delta_{mj}(\mathbf{cm})$	$\mu_{kj}$	
5	63132	2.65	0.43	280	6.76	0.6	1.4	
4	87185	2.22	0.52	470	6.16	0.18	0.35	
3	103045	1.70	0.58	611	5.98	0.89	1.53	
2	121364	1.12	0.59	720	5.09	1.67	2.83	
1	149120	0.53	0.53	781	3.42	3.42	6.45	

Grafikët e zhvendosjeve maksimale të kërkuara të kateve (ku dallohen dhe deformimet maksimale të kërkuara të tyre) dhe të duktilitetit të kërkuar paraqiten në Figurat 3.11 dhe 3.12, për të dy rastet e analizuara me  $\mu_p = 1$  dhe për  $\mu_p = 4$ :



**Figura 3. 12:** Zhvendosja maksimale në kate në strukturën TIP 1: **a**) për  $\mu_p=1$ , **b**) për  $\mu_p=4$ 



**Figura 3. 13:** Duktiliteti i kërkuar në strukturën TIP 1: a) për  $\mu_p=1$ , b) për  $\mu_p=4$ 

Prej grafikut dallohet që struktura TIP 1 e llogaritur për nivelin e parë me duktilitet të pranuar  $\mu_p$  = 1, në katin e parë nevojitet të posedojë duktilitetin e kërkuar  $\mu_k$  = 1.2 ndërkohë që në katet e sipërme reagon brenda fazës elastike lineare. Për rastin e skemës së llogaritur në nivelin e dytë të duktilitetit të pranuar  $\mu_p$  = 4, duktiliteti i kërkuar i katit të parë është  $\mu_k$  = 6.45. Nëse struktura e posedon këtë nivel të duktilitetit të kërkuar ajo konsiderohet e pranueshme, në të kundërt struktura duhet ndryshuar dhe rianalizuar.

#### 3.2.4 Strukturat e ndërtesave shumë katëshe me kat të dobët dhe të butë

Gjatë përcaktimeve të duktilitetit vihet re se ai varet nga disa faktorë. Për strukturat e ndërtesave me kate është e rëndësishme të dallohet varësia e duktilitetit të kërkuar të kateve nga rezistenca e rrjedhshmërisë dhe ngurtësia e tyre. Për të analizuar këtë varësi do të përdorim konceptin e kateve të dobët, të cilët kanë rezistencë rrjedhshmërie të vogël kundrejt rezistencës së nevojshme dhe konceptin e kateve të butë, të cilët kanë ngurtësi të vogël kundrejt ngurtësisë së nevojshme të tyre.

Për ta ilustruar këtë varësi do të konsiderojmë një strukturë, TIP 2, me katin e parë të dobët. Praktikisht ndërtesat me kat të dobët janë edhe me kat të butë pasi ky kat do të jetë me fleksibilitet më të madh se katet e tjerë. Kjo ndodh nga që rezistenca dhe ngurtësia janë të ndërlidhura me njëra - tjetrën. Nëse arrihet që kati të ndërtohet me elementë të butë (fleksibël), por njëkohësisht të ketë rezistencë të mjaftueshme, atëherë kjo strukturë mund të ndihmohet nga kërkesa për duktilitet (si në rastin e strukturës së izoluar në bazë ku elementi izolues gëzon vetitë e sipërpërmendura).

Të dhënat e strukturës TIP 2 merren prej strukturës TIP 1 duke rritur me katër herë ngurtësinë e kateve prej të dytit deri tek i pesti pa e ndryshuar ngurtësinë e katit të parë. Kjo bën që kjo strukturë të ketë katin e parë më të butë se katet e tjerë. Duke përdorur modelin elasto-plastik të strukturës kryejmë dy lloje analizash: analizën spektrale dhe analizën në fushën kohore. Këto analiza do të kryhen për dy nivele të duktilitetit  $\mu_p = 1$  dhe  $\mu_p = 4$ .

Fillimisht kryejmë analizën spektrale prej së cilës do të përcaktojmë rezistencat e rrjedhshmërisë së kateve të dytë deri në të pestin, të cilat sigurisht do të jenë më të mëdha se në strukturën TIP 1. Rezistencën e rrjedhshmërisë së katit të parë do ta pranojmë të njëjtë me strukturën TIP 1  $(f_{y1}^{ep} = 3112kN \text{ për } \mu = 1 \text{ dhe } f_{y1}^{ep} = 778kN \text{ për } \mu = 4)$ . Kështu, struktura TIP 2 paraqitet me katin e parë të dobët dhe të butë (shpesh struktura të tilla quhen edhe shkurt me kat të butë) pasi si ngurtësia dhe rezistenca e rrjedhshmërisë së tij janë më të vogla se katet e tjera.

Meqënëse rezistencën e rrjedhshmërisë së katit të parë të strukturës TIP 2 e kufizojmë duke e marrë të njëjtë me atë të strukturës TIP 1, atëherë deformimin e rrjedhshmërisë së këtij kati do e llogarisim me shprehjen:

$$\Delta_{y1} = \frac{f_{y1}^{ep}}{k_1}$$

Më tej kryejmë analizën jolineare në fushën kohore dhe prej rezultateve të zhvendosjeve maksimale të kërkuara të kateve,  $U_{mj}$ , llogarisim deformimet maksimale të kërkuara,  $\Delta_{mj}$ , dhe duktilitetet e kërkuara të kateve  $\mu_{kj}$ .

Nga analiza dinamike marrim rezultatet e periodave:  $T_1 = 0.54$  s,  $T_2 = 0.18$  s,  $T_3 = 0.11$  s.

Rezultatet e analizave të parametrave që paraqesin interes për interpretim, jepen në mënyrë të përmbledhur në dy tabelat e mëposhtme:

Lloji i a	analizës	Ana	liza spektral	e (L)	Analiza në fushën kohore (NL)			
Kati	kj	<i>U<sub>yj</sub></i> (cm)	$\Delta_{yj}(\mathbf{cm})$	$f_{yj}^{ep}(kN)$	U <sub>mj</sub> (cm)	$\Delta_{mj}(\mathbf{cm})$	$\mu_{kj}$	
5	252528	8.24	0.66	1665	5.71	0.35	0.53	
4	348740	7.58	0.92	3196	5.36	0.47	0.51	
3	412180	6.66	1.10	4542	4.89	0.53	0.48	
2	485456	5.56	1.16	5664	4.36	0.53	0.46	
1	149120	2.1	2.1	3126	3.83	3.83	1.82	

**Tabela 3. 4:** Rezultatet e analizave të strukturës TIP 2, për  $\mu_p=1$ 

**Tabela 3. 5:** Rezultatet e analizave të strukturës TIP 2, për  $\mu_p=4$ 

Lloji i a	analizës	Ana	liza spektralo	e (L)	Analiza në fushën kohore (NL)			
Kati	k <sub>j</sub>	<i>U<sub>yj</sub></i> (cm)	$\Delta_{yj}(\mathbf{cm})$	$f_{yj}^{ep}(kN)$	U <sub>mj</sub> (cm)	$\Delta_{mj}(\mathbf{cm})$	$\mu_{kj}$	
5	252528	2.06	0.16	416	8.05	0.04	0.25	
4	348740	1.90	0.23	799	8.01	0.06	0.26	
3	412180	1.67	0.28	1135	7.95	0.10	0.36	
2	485456	1.39	0.29	1416	7.85	0.11	0.38	
1	149120	1.10	0.53	781	7.74	7.74	14.6	

Prej rezultateve të Tabelave 3.4 dhe 3.5 vihet re që për modelin TIP 2 kundrejt modelit TIP 1, me rritjen e ngurtësisë së kateve 2 deri në 5 me katër herë, rezistencat e rrjedhshmërisë së këtyre kateve, jane rritur përafërsisht dy herë. Pra, me krijimin e katit të parë të butë, ky kat rezulton të jetë dhe i dobët.

Grafikët e zhvendosjeve maksimale të kërkuara të kateve dhe të duktilitetit të kërkuar të tyre paraqiten në Figurat 3.13 dhe 3.14, për të dy rastet e analizuara me  $\mu_p = 1$  dhe për  $\mu_p = 4$ :



**Figura 3. 14:** Zhvendosja maksimale në kate në strukturën TIP 2: **a**) për  $\mu_p=1$ , **b**) për  $\mu_p=4$ 



Pra duktiliteti i kërkuar i katit të parë  $\mu_{k1} = 14.6$  është shumë më i madh krahasimisht duktilitetit të pranuar  $\mu_p = 4$  dhe praktikisht i pamundur për t'u poseduar nga struktura e zakonshme. Kështu kjo strukturë e cila paraqitet me katin e parë të butë, nuk mund t'i rezistojë realisht veprimit sizmik për të cilin qe projektuar. Prandaj lind nevoja e ndryshimit të saj.

Një mënyrë e mundshme për rregullimin e mangësive që paraqet kjo strukturë do të jetë izolimi sizmik në bazë i saj siç trajtohet në rastin (3.2.5).

#### 3.2.5 Izolimi sizmik i strukturave të ndërtesave shumë katëshe

Në Kapitullin 1 kemi treguar efektivitetin e izolimit sizmik të strukturave. Këtu do të studiojmë disa nga ndryshimet që i ndodhin strukturës së izoluar kundrejt asaj me bazë fikse. Për ilustrim do të marrim përsëri ramën 5 katëshe të trajtuar në pikën 3.2.3 por në këtë rast ajo do të jetë e izoluar në bazë, skema e së cilës paraqitet në Figurën 3.16 më poshtë:



Figura 3. 16: Skema e idealizuar e ramës 5 katëshe të izoluar në bazë

Analiza sizmike do të kryhet nën veprimin e tërmetit El Centro, akselerograma e të cilit shkallëzohet për truall me  $a_g = 0.4g$ .

Karakteristikat e izolatorëve të konsideruar bilinearë llogariten sipas procedurës së përshkruar në vazhdim të këtij kapitulli në pikën 3.3.4.

Prej të dhënave W = 7350 kN, T = 2.3 s, D = 0.15 m,  $\beta = 15\%$  dhe r = 0.1, karakteristikat e izolatorëve janë:

- $K_{eff} = 5591 \text{ kN/m}$
- $K_1 = 42256 \text{ kN/m}$
- $Q_y = 228 \text{ kN}$
- Zhvendosja e rrjedhshmërisë së izolatorit  $u_v = Q_v/K_1 = 0.539$  cm.

Fillimisht kryejmë analizën spektrale të ramës duke përdorur programin SAP2000 në fazën elastike ( $\mu = 1$ ) për shuarje  $\eta = 15\%$ . Nga analiza dinamike marrim vlerat e periodave të tre formave të para të lëkundjeve,  $T_1 = 2.49$  s,  $T_2 = 0.4$  s,  $T_3 = 0.17$  s si dhe rezultatet e reagimit elastik të paraqitur në Tabelën 3.6:

Kati	<i>U<sub>yj</sub></i> (cm)	$\Delta_{yj}$ (cm)	$f_{yj}^{e}$ (kN)	$K_j$ (kN/m)
5	23.65	0.48	241	50208
4	23.17	0.6	484	80667
3	22.57	0.71	718	101127
2	21.86	0.76	932	122632
1	21.10	0.70	1138	162571
0	20.4	0.539	228	42256

Tabela 3. 6: Rezultatet e reagimit elastik të ramës 5 katëshe me bazë të izoluar

Për analizën në fushën kohore do të përdorim modelin me elementë jolinearë me qëllim që përveç analizës në fazën elastike lineare të bëjmë edhe analizën në fazën elasto - plastike jolineare të saj. Ky model paraqitet skematikisht në figurën e mëposhtme:



Figura 3. 17: Modeli elasto-plastik (jolinear) i ramës së izoluar në bazë





Ky model, i paraqitur në Figurën 3.17, përfaqëson zëvendësimin e kollonave me elementë me ngurtësi  $EI = \infty$  dhe vetitë elastike të përfaqësuara nga elementët jolinearë NLIN<sub>j</sub>, karakteristikat e të cilëve merren të njëjta me kollonat që zëvëndësojnë. Konkretisht elementët jolinearë NLIN<sub>j</sub> janë modeluar si elementë bilinearë me ngurtësi k<sub>j</sub> dhe rezistencën e rrjedhshmërisë  $f_{yj}^{ep}$ . Diagrama elasto - plastike e elementëve jolinearë NLIN<sub>j</sub> tregohet në Figurën 3.18a kurse diagrama bilineare e izolatorëve tregohet në Figurën 3.18b.

Me modelin elasto - plastik kryejmë dy lloj analizash: analizën spektrale (RSA) dhe analizën në fushën kohore (THA). Fillimisht kryejmë analizën spektrale duke përdorur spektrin e reagimit El Centro me shuarje  $\eta = 15\%$  (për të konsideruar nivelin e shuarjes së izolatorëve). Me rezultatet e marra nga kjo analizë modelojmë karakteristikat e elementëve *NLIN<sub>j</sub>* për të vazhduar me analizën në fushën kohore. Meqënëse strukturat e izoluara reagojnë në fazën elastike, niveli i shuarjes së saj është i ulët prandaj elementët jolinearë *NLIN<sub>j</sub>* i pranojmë me shuarje elastike  $\eta = 2\%$ .

Për të shqyrtuar efektin e izolimit sizmik në struktura të ndryshme do të analizojmë struktura të reja të izoluara në bazë, dhe izolimin sizmik të strukturave ekzistuese.

#### a) Struktura të reja të izoluara në bazë

Meqënëse strukturat e izoluara në bazë projektohen për sjellje pranë kufirit elastik, atëherë në analizat e kryera do të pranojmë nivelin e duktilitetit  $\mu_p = 1$ .

Do të analizojmë tre raste të strukturës së dhënë më sipër. Rasti i parë i emërtuar struktura TIP 1a trajton strukturën me shpërndarje të ngurtësisë së kateve të dhënë në Tabelën 3.6. Ky rast përfaqëson izolimin sizmik të strukturës TIP 1 për duktilitet të pranuar  $\mu_p = 1$ . Rasti i dytë i emërtuar TIP 2a trajton strukturën me rritjen e ngurtësisë së kateve 2 deri në 5 me katër herë kundrejt kateve respektive të strukturës TIP 1a, duke bërë kështu katin e pare të butë. Ky rast do të përfaqësonte izolimin sizmik të strukturës TIP 2 për duktilitet të pranuar  $\mu_p = 1$ . Nga analiza spektrale e këtij rasti do të konstatojmë se nuk krijohet kat i parë i dobët pasi rezistenca e rrjedhshmërise në katet 2 deri në 5 pothuajse nuk ndryshon prej rritjes së ngurtësisë së tyre në strukturat e izoluara. Rasti i tretë i emërtuar struktura TIP 2b trajton strukturën me rritjen e ngurtësisë me katër herë dhe rritjen e rezistencës së rrjedhshmërisë me dy herë të kateve 2 deri në 5, kundrejt kateve respektive të strukturës TIP 1a. Ky rast do të përfaqësonte izolimin sizmik të strukturës TIP 2 për duktilitet të pranuar  $\mu_p = 1$  (pra izolimin sizmik të strukturës me katin e parë të butë dhe të dobët).

Vëmë re analogjinë midis këtyre tipeve të strukturave: Struktura TIP 2b ndryshon në ngurtësi dhe rezistencë rrjedhshmërie kundrejt strukturës TIP 1a, në të njëjtat raporte që ndryshonte struktura TIP 2 kundrejt asaj TIP 1.

Meqënëse rezistencat e rrjedhshmërisë së kateve të këtij tipi strukture (TIP 2b) po i pranojmë të ndryshme nga madhësitë e marra prej analizës spektrale, deformimet e rrjedhshmërisë së kateve të saj do i llogarisim me shprehjen  $\Delta_{yj} = f_{yj}/k_j$  për të gjitha katet (siç tregohet në Tabelën 3.10).

Për këtë tip do të kryejme vetëm analizën jolineare në fushën e kohës për të vlerësuar deformimet dhe duktilitetin e kërkuar të kateve ( $\Delta_{mj}$  dhe  $\mu_{kj}$ ).

Rezultatet e analizave të strukturave TIP 1a, TIP 2a dhe TIP 2b paraqiten në Tabelat 3.7, 3.9, dhe 3.10:

Lloji i a	analizës	Ana	liza spektral	e (L)	Analiza në fushën kohore (NL)			
Kati	k <sub>j</sub>	U <sub>yj</sub> (cm)	$\Delta_{yj}(\mathbf{cm})$	$f_{yj}^{ep}(kN)$	U <sub>mj</sub> (cm)	$\Delta_{mj}(\mathbf{cm})$	$\mu_{kj}$	
5	50208	22.34	0.46	236	16.39	0.55	1.2	
4	80667	21.88	0.56	455	15.84	0.65	1.16	
3	101127	21.32	0.67	676	15.19	0.78	1.16	
2	122632	20.65	0.71	878	14.41	0.73	1.03	
1	162571	19.94	0.66	1079	13.68	0.46	0.7	

**Tabela 3. 7:** Rezultatet e analizave të strukturës TIP 1a, për  $\mu_p = 1$ 

Periodat për tre format e para të lëkundjeve të strukturës TIP 1a janë:  $T_1 = 2.4$  s,  $T_2 = 0.43$  s,  $T_3 = 0.23$  s.

Pra izolimi i ndërtesave të llogaritura deri në fazën lineare ( $\mu_p = 1$ ) përmirëson katet e para prej deformimeve plastike që kërkon të realizojë ( $\mu_k = 1.2$  në strukturën TIP 1 dhe  $\mu_k = 0.7$  në strukturën TIP 1a).

Megjithatë përfitimi më i madh është në reduktimin e rezistencës së rrjedhshmërisë (forcës prerëse), raportet e të cilave paraqiten në Tabelën 3.8.

Tabela 3. 8: Raporti i rezistencave të r	edhshmërisë midis strukturës	TIP 1a dhe TIP 1
--	------------------------------	------------------

	Kati 1	Kati 2	Kati 3	Kati 4	Kati 5
$f_{yj}^{ep}$ (TIP 1)	1079	878	676	455	236
$f_{yj}^{ep}$ (TIP 1a)	3124	2881	2448	1878	1117
Raporti	2.895	3.281	3.621	4.127	4.733

Prej këtyre vlerave konstatojmë që rezistencat e rrjedhshmërisë (forcat prerëse) së kateve, u reduktuan afërsisht 3 deri në 5 herë prej izolimit në bazë të strukturës.

**Tabela 3. 9:** Rezultatet e analizave të strukturës TIP 2a, për  $\mu_p = 1$ 

Lloji i :	analizës	Analiza spektrale (L)			Analiza në fushën kohore (NL)		
Kati	k <sub>j</sub>	Uyj(cm)	$\Delta_{yj}(\mathbf{cm})$	$f_{yj}^{ep}(kN)$	U <sub>mj</sub> (cm)	$\Delta_{mj}(\mathbf{cm})$	$\mu_{kj}$
5	200932	20.78	0.11	223	14.89	0.1	0.91
4	322668	20.67	0.14	445	14.79	0.11	0.79
3	404508	20.53	0.16	655	14.68	0.13	0.81
2	490528	20.37	0.18	874	14.55	0.15	0.83
1	162571	20.19	0.66	1079	14.40	0.48	0.73

Periodat për tre format e para të lëkundjeve të strukturës TIP 2a janë:  $T_1 = 2.34$  s,  $T_2 = 0.22$  s,  $T_3 = 0.12$  s.

Rritja e ngurtësisë së kateve 2 deri në 5 ka sjellë ndryshimin e periodës  $T_2$  dhe  $T_3$ , kurse perioda e parë prej  $T_1 = 2.4$  s në  $T_1 = 2.34$  s pësoi ndryshim të papërfillshëm. Kjo ndodh sepse izolimi sizmik predominohet nga modi i parë i lëkundjeve kështu që sado e ngurtë të jetë struktura, reagimi dinamik i saj varet nga ngurtësia horizontale e izolatorëve. Megjithatë ndryshimi i periodës së modeve 2 e sipër jep ndikimin e vet në reagimin e strukturës prandaj nuk duhen neglizhuar.

Po kështu dhe rezistencat e rrjedhshmërisë së kateve pothuajse nuk ndryshojnë midis strukturës TIP 1a dhe TIP 2a pavarësisht rritjes me 4 herë të ngurtësisë së kateve 2 deri në 5. Për të gjitha katet duktilitet e kërkuara janë  $\mu_{kj} < 1$ .

			Analiza në fushën kohore (NL)			
Kati	k <sub>j</sub>	$f_{yj}^{ep}(kN)$	$\Delta_{yj}(\mathbf{cm})$	U <sub>mj</sub> (cm)	$\Delta_{mj}(\mathbf{cm})$	$\mu_{kj}$
5	200832	472	0.24	14.92	0.08	0.34
4	322668	910	0.28	14.84	0.1	0.35
3	404508	1352	0.33	14.74	0.12	0.36
2	490528	1756	0.36	14.62	0.13	0.36
1	162571	1079	0.66	14.49	0.49	0.74

**Tabela 3. 10:** Rezultatet e analizave të strukturës TIP 2b, për  $\mu_p = 1$ 

Periodat për tre format e para të lëkundjeve të strukturës TIP 2b janë:  $T_1 = 2.34$  s,  $T_2 = 0.22$  s,  $T_3 = 0.12$  s. Pra, periodat e këtij modeli janë të njëjta me ato të modelit TIP 2a pasi këto dy modele kanë ngurtësi, k<sub>i</sub>, të njëjta.

Prej rezultateve të strukturës TIP 2b arrijmë në përfundimin që izolimi në bazë i strukturës me kat të parë të butë (dhe të dobët) është shumë i efektshëm pasi edhe ndryshimet që mund t'i ndodhin strukturës në ngurtësi dhe rezistencë për katet 2 e sipër, nuk sjellin efekte negative në reagimin e saj, siç ndodhte në strukturat e paizoluara.

Pra izolimi sizmik arrin të eleminojë efektet negative të kateve të buta në struktura.

Rezultatet tregojnë se nëse neglizhimi i ngurtësisë së mureve ndarëse në strukturat e zakonshme do të sillte efekte negative, në strukturat e izoluara ky neglizhim nuk sjell asnjë efekt. Me fjalë të tjera, ndërtimi i strukturave me bazë të izoluar është më pak i ndjeshëm ndaj neglizhimeve gjatë projektimit apo gabimeve të mundshme në realizimin e objektit.

## b) Strukturat ekzistuese të izoluara në bazë

Nëse aplikojmë izolim në bazë për strukturat ekzistuese (të projektuara më parë) me kat të parë të dobët dhe të butë do të konstatojmë që duktiliteti i kërkuar i kateve do të përmirësohet ndjeshëm.

Për ta ilustruar këtë ndikim do të konsiderojmë ramën 5 katëshe të shqyrtuar më parë në rastet TIP 1 dhe TIP 2. Duke pranuar që strukturat ekzistuese janë llogaritur për nivelin e duktilitetit të pranuar  $\mu_p = 4$ , vlerat e ngurtësisë dhe të forcave të rrjedhshmërisë së kateve do i marrim prej

rezultateve të analizës spektrale të tyre në Tabelat 3.3 për strukturën TIP 1 dhe 3.5 për strukturën TIP 2.

Strukturat e izoluara në bazë do t'i emërtojmë struktura TIP 1 BI, e cila përfaqëson izolimin në bazë të strukturës ekzistuese TIP 1 dhe struktura TIP 2 BI, e cila përfaqëson izolimin në bazë të strukturës ekzistuese TIP 2. Karakteristikat e izolatorëve janë të njëjta me ato të aplikuara në strukturat TIP 1a, TIP 2a dhe TIP 2b.

Kryejmë analizën jolineare në fushën kohore dhe rezultatet i paraqesim në Tabelën 3.11 dhe 3.12:

Lloji i	analizës	Analiza spektrale (L)			Analiza në fushën kohore (NL)		
Kati	k <sub>j</sub>	U <sub>yj</sub> (cm)	$\Delta_{yj}(\mathbf{cm})$	$f_{yj}^{ep}(kN)$	<i>U<sub>mj</sub></i> (cm)	$\Delta_{mj}(\mathbf{cm})$	$\mu_{kj}$
5	63132	2.65	0.43	280	16.07	0.39	0.91
4	87185	2.22	0.52	470	15.68	0.58	1.12
3	103045	1.70	0.58	611	15.10	0.86	1.48
2	121364	1.12	0.59	720	14.24	0.96	1.63
1	149120	0.53	0.53	781	13.28	0.48	0.91

Tabela 3. 11: Rezultatet e analizave të strukturës TIP 1 BI

Periodat për tre format e para të lëkundjeve të strukturës TIP 1 BI janë:  $T_1 = 2.41$  s,  $T_2 = 0.22$  s,  $T_3 = 0.13$  s.

Prej krahasimit të duktilitetit të kërkuar të kateve midis TIP 1 BI dhe TIP 1 konstatojmë përmirësimin e tij në të gjitha katet. Ky përmirësim dallohet qartë në katin e parë, ku prej  $\mu_k = 6.45$  në strukturën TIP 1 (vlerë e cila me vështirësi mund të posedohet), bëhet  $\mu_k = 0.91$  në strukturën TIP 1 BI (vlerë e cila tregon se ky kat, ashtu si katet e tjerë, reagon pranë kufirit të elasticitetit).

Lloji i	Lloji i analizës Analiza spektrale (L)			Analiza në fushën kohore (NL)			
Kati	kj	Uyj(cm)	$\Delta_{yj}(\mathbf{cm})$	$f_{yj}^{ep}(kN)$	U <sub>mj</sub> (cm)	$\Delta_{mj}(\mathbf{cm})$	$\mu_{kj}$
5	25258	2.06	0.16	416	14.91	0.09	0.56
4	348740	1.90	0.23	799	14.82	0.13	0.57
3	412180	1.67	0.28	1135	14.69	0.14	0.50
2	485456	1.39	0.29	1416	14.55	0.15	0.52
1	149120	1.1	0.53	781	14.40	0.52	0.98

Tabela 3. 12: Rezultatet e analizave të strukturës TIP 2 BI

Periodat për tre format e para të lëkundjeve të strukturës TIP 2 BI janë:  $T_1 = 2.35$  s,  $T_2 = 0.21$  s,  $T_3 = 0.11$  s.

Prej krahasimit të periodave të lëkundjeve vihet re se me rritjen e ngurtësisë së kateve 2 deri në 5, midis strukturave të paizoluara (TIP 1 dhe TIP 2), kemi ndryshim të konsiderueshëm të vlerave të tyre, kurse prej krahasimit midis strukturave të izoluara (TIP 1 BI dhe TIP 2 BI) ndryshimi i vlerave të lëkundjeve është i papërfillshëm. Kjo ndodh sepse periodat e lëkundjeve
të sistemeve të izoluara varen kryesisht nga ngurtësia e izolatorëve dhe jo nga ngurtësia e sistemeve të izoluara.

Për të dalluar deformimet e elementëve strukturorë dhe izolatorëve, të kërkuar gjatë lëkundjeve vetjake të strukturës, në Figurat 3.19 dhe 3.20 paraqiten tre format e para të lëkundjeve të strukturave TIP 2 dhe TIP 2 BI.



Figura 3. 19: Tre format e para të lëkundjeve të strukturës TIP 2



Figura 3. 20: Tre format e para të lëkundjeve të strukturës TIP 2 BI

Prej krahasimit të formave të lëkundjeve midis strukturave TIP 2 dhe TIP 2 BI, dallohet qartësisht influenca e izolimit në formën e parë (e cila ka kontributin kryesor në reagimin e strukturave). Lëkundja sipas kësaj forme në rastin e strukturës së izoluar kryhet thuajse prej deformimit të izolatorëve, kurse në strukturën e paizoluar (me bazë fikse) lëkundja kryhet prej deformimit të elementëve strukturorë. Nëse krahasojmë deformimet që kërkohet të pësojnë elementet strukturorë të kateve të para sipas formës së parë të lëkundjeve, konstatojmë se për strukturën e paizoluar kërkesa për deformimi e shtë shumë e madhe, kurse për strukturën e izoluar, meqënëse kërkesa për deformimin e këtij kati kryhet në izolator, elementët strukturorë thuajse nuk deformohen.

Përsa i takon formave të dyta dhe të treta ato janë gjeometrikisht të ngjashme midis dy tipeve të strukturave. Lëkundja sipas këtyre formave, pavarësisht se kanë kontribut të vogël në reagimin e strukturave, tregon se izolimi në bazë, ndihmon më tepër zvogëlimin e deformimit të kërkuar të elementëve strukturorë të katit të parë krahasimisht deformimeve të kateve të tjerë.

Konstatojmë se me anën e izolimit sizmik të ndërtesave ekzistuese me kat të parë të butë (dhe të dobët) me duktilitet të kërkuar të këtij kati  $\mu_{k1} = 14.6$  siç paraqitet struktura TIP 2, u arrit që duktiliteti i kateve të zvogëlohet në  $\mu_{k1} = 0.98$  në strukturën TIP 2 BI. Pra, pas izolimit sizmik edhe kati i butë reagon në fazën elastike.

Në këtë rast izolimi sizmik konsiston në rregullimin e duktilitetit të kërkuar të katit të parë dhe jo në nevojën e reduktimit të forcave në elementët strukturorë. Nga pikëpamja e përballimit të forcave struktura ekzistuese paraqet rezervë në soliditet.

Për të dalluar më qartë se si ndryshon duktiliteti i kërkuar i kateve për strukturat e paizoluara dhe ato të izoluara, të reja apo ekzistuese, po paraqesim grafikët e përbashkët të vlerave të tyre në Figurat 3.21 dhe 3.22.



**Figura 3. 21:** Duktiliteti i kërkuar i kateve të strukturave të paizoluara (TIP 1 dhe TIP 2) me duktilitet të pranuar  $\mu_p = 1$  dhe i strukturave të reja të izoluara në bazë (TIP 1a, TIP 2a dhe TIP 2b)



**Figura 3. 22:** Duktiliteti i kërkuar i kateve të strukturave ekzistuese (TIP 1 dhe TIP 2) të projektuara me duktilitet $\mu_p = 4$  dhe duktiliteti i kërkuar pas izolimit sizmik të tyre (TIP 1 BI dhe TIP 2 BI)

Pra izolimi sizmik përdoret me shumë efektivitet në përmirësimin e duktilitetit të kërkuar të kateve të strukturës nëse ajo projektohet me duktilitet të kërkuar të pamundur për t'u poseduar.

Theksojmë se këto analiza jolineare të strukturave TIP 1 BI dhe TIP 2 BI, i kryejmë duke përdorur rezistencat ekzistuese të rrjedhshmërisë së kateve. Fakti që nga kryerja e analizave jolineare të këtyre strukturave në kushtet e reja të izolimit në bazë rezulton se duktiliteti i kërkuar është më i vogël se 1, tregon që struktura do të ketë rezervë në soliditet (pasi nuk shfrytëzohet e gjithë aftësia e sjelljes elastike të saj).

## **3.3 Analiza e Efektit të Izolimit Sizmik në Ndërtesa Betonarme me Kat të Dobët e të Butë**

#### 3.3.1 Të dhënat gjeometrike të strukturave

Për analizën e efektit të izolimit sizmik në eleminimin e efektit të katit të dobët dhe të butë të ndërtesës do të konsiderojmë ndërtesën 5 kate të tipit "BOKS". Arsyeja e përzgjedhjes së këtij tipi është:

- Struktura e këtij tipi është shumë e ngurtë dhe për rrjedhojë do të pësonte efektin e forcave të mëdha nën veprimin e tërmeteve; dhe
- Meqënëse ky tip strukture ka duktilitet të ulët, faktori i sjelljes është i vogël dhe për rrjedhojë spektri i projektimit do të aplikonte forca të mëdha në strukturë.

Në praktikën e projektimit të këtij tipi struktural, shpesh lind nevoja që muret betonarme të pakësohen deri në eleminim në katin përdhe. Kjo do të bënte që ky tip struktural të kthehet shumë dukshëm në strukturë me kat të dobët dhe të butë (kati përdhe).

Për të krahasuar parametrat dinamikë dhe reagimin sizmik për këtë tip strukture do të marrim rastin më ekstrem kur kati përdhe përbëhet vetëm nga kollona. Këtë strukturë do ta analizojmë në tre modele:

- **Modeli 1:** Struktura me bazë fikse (SF). Sigurisht që do të jetë e papranueshme pasi ky model do të shfaqë dukshëm fenomenin e katit të dobët dhe të butë;
- Modeli 2: Struktura e izoluar në bazë (SIB); dhe
- **Modeli 3:** Struktura e izoluar në përdhe (SIP). Ky model do të ndante më mirë lëkundjet e kateve të sipërm me strukturë BOKS kundrejt katit përdhe me strukturë ramë. Këto pjesë të strukturës nuk do të lëkunden së bashku si në rastin e izolimit poshtë, pasi i ka ndarë sistemi izolues.

Të dhënat gjeometrike të strukturave tregohen në Figurën 3.23 dhe 3.24.



Figura 3. 23: Prerja dhe pozicioni i sistemit izolues: a) Strukturë fikse SF, b) Strukturë e izoluar në bazë SIB, c) Strukturë e izoluar në përdhe SIP



Figura 3. 24: Plani i katit përdhe dhe izolatorët e strukturës BOKS për të tre modelet

Lartësia e katit:  $H_k=3.15 \text{ m}$ Betoni: C25/30 Përmasimi i elementëve të ndërtesës: Soleta: me trashësi  $h_s=15 \text{ cm}$ Trarët: me përmasa  $h_t=60\text{cm}$ ,  $b_t=30\text{cm}$ Kollonat: anësoret me përmasa  $b_k=40\text{cm}$ ,  $h_k=60\text{cm}$ , qëndroret  $b_k=60\text{cm}$ ,  $h_k=60\text{cm}$ Muret beton arme:  $t_m=20\text{cm}$ 

#### 3.3.3 Ngarkesat e aplikuara

Për llogaritjen e parametrave dinamik dhe për analizën sizmike, në strukturë janë aplikuar ngarkesat e përhershme  $g = 300 \text{ daN/m}^2$ , të përkohshme  $p = 200 \text{daN/m}^2$  dhe të tërmeteve. Ngarkesa e tërmeteve është dhënë nëpërmjet akselerogramës së tërmetit real të shkallëzuar për kushtet e zgjedhura të truallit me nxitimin maksimal të konsideruar  $A_{max} = 0.25g$ . Akselerograma e pranuar është ajo e tërmetit "EL Centro" me nxitim maksimal PGA = 0,349g, e cila shumëzohet me faktorin e shkallës S =  $(0.25 / 0,349) \times 10^{-3} = 0.716 \times 10^{-3}$ . Akselerograma e përdorur si e dhënë hyrëse për analizën kohore sizmike të shkallëzuar është paraqitur në Figurën 3.25. Kjo akselerogramë është aplikuar në të dy drejtimet horizontale, X dhe Y.



Figura 3. 25: Akselerograma - El Centro e modifikuar për truall me PGA = 0.25g

#### 3.3.4 Modelimi i strukturës

Struktura është modeluar në hapësirë duke përdorur metodën e elementëve të fundëm. Trarët dhe kollonat modelohen - Frame, soletat - Shell, kurse izolatorët si elementë LINK me sjellje bilineare. Praktikisht të gjitha mbështetëset izoluese modelohen me një model bilinear të bazuar në tre parametra  $K_1$ ,  $K_2$  dhe Q siç tregohet në Figurën 3.26. Ngurtësia elastike  $K_1$  vlerësohet ose nga laqet e histerezisit të dala nga provat e mbështetëseve elastomere, ose si shumëfish i  $K_2$ . Forca karakteristike Q vlerësohet nga laqet e histerezisit. Ngurtësia pas rrjedhshmërisë (postyeld stiffness)  $K_2$  mund të përcaktohet me saktësi nga marrëdhëniet e parametrave të paraqitur në figurën në fjalë, për vlera të pranuara të periodës T, shuarjes  $\beta$  dhe zhvendosjes maksimale Dsipas procedurës në vijim.



Figura 3. 26: Parametrat bazë të një kurbe histerezis të izolatorit bilinear

Ngurtësia efektive, e përcaktuar si pjerrësia sekante e dy pikave në një lak histerezisi, jepet nga:

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D}; \quad D \ge D_y$$

ku D<sub>y</sub> është zhvendosja e rrjedhshmërise. Në varësi të  $K_1$ ,  $K_2$  dhe Q jepet:

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} ;$$

dhe sipërfaqja e lakut të histerezisit (energjia e shuar për një cikël) W<sub>D</sub> jepet:

$$W_D = 4 \cdot Q \cdot \left( D - D_y \right);$$

shuarja efektive  $\beta_{eff}$  përcaktohet nga:

$$\beta_{eff} = \frac{4 \cdot Q \cdot (D - D_y)}{2\pi \cdot K_{eff} \cdot D^2} \tag{(*)}$$

Frekuenca natyrale  $\omega$  jepet nga:

$$\omega = \sqrt{\frac{K_{eff} \cdot g}{W}} \text{ dhe } T = \frac{2\pi}{\omega}$$

ku W është ngarkesa që shkarkohet mbi mbështetëse.

Përcaktimi i parametrave të sistemit të izolimit:

Supozojmë se jepen:

- *T* (Peroda e formës së parë të lëkundjeve të ndërtesës që duam të izolojmë);
- $\beta$  (Shuarja);
- *D* (Zhvendosja e projektimit).

Është e nevojshme të llogariten parametrat e modelit, përkatësisht  $K_1$ ,  $K_2$ , Q që të na sigurojnë vlerat e dhëna më sipër T,  $\beta$ , D.

Meqë kemi të specifikuar periodën T, gjejmë ngurtësinë efektive  $K_{eff}$  nga lidhja:

$$K_{eff} = \frac{W}{g} \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \tag{**}$$

pastaj

$$W_D = 2\pi \cdot K_{eff} \cdot D^2 \cdot \beta$$

Nga barazimi (\*) dhe (\*\*) mund të nxjerrim:

$$4Q(D - D_y) = 2\pi \cdot \left(\frac{W}{g}\right) \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot D^2 \cdot \beta$$

Në këtë fazë (cikël) ne neglizhojmë  $D_y$  dhe vlerësojmë Q nga:

$$Q = \frac{W_D}{4D} = \frac{\pi}{2} \cdot K_{eff} \cdot D \cdot \beta$$

e cila na jep një vlerë fillestare të Q. Më pas është e mundur të vlerësohet:

$$K_2 = K_{eff} - \frac{Q}{D}$$

Gjejmë  $K_1$  si shumëfish të  $K_2$ , dhe më pas  $D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2}$ .

Me vlerën e përafërt të  $D_y$ , vlerësimi i Q dhe  $K_2$  përmirësohet. Kështu hap pas hapi ribëhen llogaritjet derisa arrijmë në një vlerë me saktësi të pranueshme për projektimin e sistemit të izolimit.

#### 3.3.5 Llogaritja e parametrave të izolatorëve për strukturat e analizuara

Struktura është modeluar në hapësirë duke përdorur metodën e elementëve të fundëm. Trarët dhe kollonat modelohen - Frame, soletat - Shell, kurse izolatorët si element LINK me sjellje bilineare. Parametrat e izolatorëve që do të vendosim poshtë secilës kollonë, llogariten sipas procedurave të treguara në pikën 3.3.4.

Forcat vertikale të pranuara për llogaritjen e karakteristikave të izolatorëve jepen në Tabelën 3.13.

#### Tabela 3. 13: Forcat vertikale në izolatorë

Izolatori	1	2	3	4
Forca vertikale (kN)	800	1220	2380	400

Në llogaritjet e karakteristikave të izolatorëve kemi pranuar parametrat: perioda e parë e lëkundjeve të të dy modeleve të strukturave të izoluara të jetë T = 2.5 s, raporti i shuarjes  $\beta$  = 10%, zhvendosja e projektimit D = 10 cm, dhe raporti i ngurtësisë r = K<sub>2</sub> / K<sub>1</sub> = 0.2. Karakteristikat e llogaritura të izolatorëve i japim në mënyrë të përmbledhur në Tabelën 3.14.

 Tabela 3. 14: Parametrat e izolatorëve të strukturës për të dy modelet e strukturave të izoluara

Izolatori	1	2	3	4
Ngurtësia efektive, $K_{eff}$ (kN/m)	515	785	1532	260
Ngurtësia elastike, $K_I$ (kN/m)	2150	3280	6400	1075
Ngurtësia pas rrjedhshmërisë, $K_2$ (kN/m)	430	655	1280	215
Forca karakteristike, $\boldsymbol{Q}$ (kN)	8.50	12.97	25.31	4.04
Forca e rrjedhshmërisë, $Q_y$ (kN)	10.6	16.2	31.6	5.32
Zhvendosja e rrjedhshmërisë, $D_y$ (m)	0.005	0.005	0.005	0.005
Ngurtësia vertikale, <i>K=100x K<sub>eff</sub></i> (kN/m)	51500	78500	153200	26000

## 3.3.6 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre

## 3.3.6a Parametrat dinamikë

Vlerat e gjashtë periodave të para të lëkundjeve për të tre modelet e strukturave jepen në tabelën e mëposhtme:

		Panarti i		
Forma e lëkundjes	Struktura me bazë fikse Modeli 1 (SF)	Struktura e izoluar në bazë Modeli 2 (SIB)	Struktura e izoluar në përdhe Modeli 3 (SIP)	periodave T <sub>SIP</sub> /T <sub>SIB</sub>
1	0.31	2.68	2.51	0.94
2	0.30	2.66	2.50	0.94
3	0.23	2.40	2.23	0.93
4	0.09	0.35	0.32	0.91
5	0.08	0.35	0.32	0.91
6	0.06	0.10	0.09	0.90

Tabela 3. 15: Periodat e lëkundjeve të tre modeleve të strukturës Tip BOKS

Tre format e para të lëkundjeve paraqiten në Figurën 3.27. Prej figurës dallohet që për të tre modelet forma e parë e lëkundjes është translative sipas drejtimit Y, forma e dytë është translative sipas drejtimit X, kurse forma e tretë është rrotulluese (përdredhje) sipas aksit Z.

Modeli 1- SF	Modeli 2- SIB	Modeli 3- SIP
Forma 1 (T=0.31 s)	Forma 1 (T=2.68 s)	Forma 1 (T=2.51 s)



Figura 3. 27: Tre Format e para të lëkundjeve të tre modeleve të strukturës BOKS

Siç e shohim perioda e formës së parë të lëkundjeve te strukturat e izoluara (Modeli - SIB dhe Modeli - SIP) është disa herë më e madhe se tek ajo me bazë fikse (Modeli - SF). Prej raportit të periodave midis dy sistemeve të izoluar  $T_{SIP}/T_{SIB}$ , konstatojmë se ndikimi i pozicionit të sistemit izolues brenda katit është i vogël në vlerat e periodave të të gjithë formave të lëkundjeve. Po të

shohim ndryshimin që kanë pësuar tre periodat e para  $(T_1, T_2 \text{ dhe } T_3)$  kundrejt tre periodave të tjera  $(T_4, T_5 \text{ dhe } T_6)$  në sistemet e izoluar kundrejt atyre fiks  $(T_{izol})/(T_{fiks})$  vihen re: për strukturat e izoluara tre periodat e para kanë ndryshuar rreth 10 herë, kurse tre periodat e dyta rreth 4 herë. Kjo do të thotë që sistemi i izolimit ndikon rreth 2.5 herë më shumë në tre format e para, kundrejt tre formave të tjera për këto tipe struktural të ndërtesave.

Po të shohim deformimet e strukturës për secilën formë vëmë re që në tre format e para deformohet vetem sistemi i izolimit, ndërkohë që mbistruktura lëviz si një trup gati rigjid, pra deformimet në të janë shumë të vogla. Pikërisht këtyre formave u përkasin edhe periodat shumë të larta. Ne tre format e dyta përveç deformimit të sistemit të izolimit kemi deformime dhe ne elementët strukturorë. Periodat që u përkasin këtyre formave zvogëlohen shumë në krahasim me tre periodat e para. Pra izolimi sizmik i këtij tipi strukturor përveç reduktimit të deformimeve të elementëve prej formave translative (forma I dhe II) redukton në mënyrë të ndjeshme edhe deformimet përdredhëse (forma III). Kjo tregon që në një strukturë me potencial të madh përdredhës prej mospërputhjes së qendrave të ngurtësisë dhe të masës, efektiviteti i izolimit sizmik do të ishte i madh. Të njëjtën gjë mund të themi për analogji edhe për struktura me jashtëqendërsi aksidentale.

#### 3.3.6b Rezultate të reagimit sizmik

Reagimi sizmik i tre modeleve të strukturës (SF, SIB dhe SIP), paraqitet numerikisht në Tabelat 3.16 deri në 3.19. Parametrat e zgjedhura janë vlerat maksimale në drejtimet X dhe Y të zhvendosjeve (MaxUx, MaxUy), nxitimeve (MaxAx, MaxAy), forcave prerëse në bazë (BShear-x, BShear-y), forcave prerëse në kollonat e katit përdhe dhe të katit të kryes (Qx, Qy) dhe momentet përkulës në trarët e katit përdhe dhe të katit të kryes Mx për drejtimin - Y të tërmetit dhe My për drejtimin - X të tërmetit. Gjithashtu, janë dhënë dhe sforcimet vertikale S22 dhe horizontale S11 në katin e parë të murit betonarme.

Pozicioni i nyjeve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike paraqitet skematikisht në Figurën 3.28.



Figura 3. 28: Pozicioni i nyjeve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike

Pozicioni i elementëve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike paraqitet skematikisht në Figurën 3.29.



Figura 3. 29: Pozicioni i elementëve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike

Pozicioni i mureve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike paraqitet skematikisht në Figurën 3.30.



Figura 3. 30: Pozicioni i mureve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike

Pozicioni	Struktura me bazë fikse Modeli 1 (SF)		Struktura e izoluar në bazë Modeli 2 (SIB)		Struktura e izoluar në përdhe Modeli 3 (SIP)		Raporti SIP/SIB	
	Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y
Në bazë, nën izolator (pika 0)	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2 45	1.0	1.0
Në bazë, mbi izolator (pika 0')			2.43	2.44	2.43	2.43	1.0	1.0
Përdhe, nën izolator (pika 1)	1 22	4.24	0.7	0.7	2.42	2.42	3.5	3.5
Përdhe, mbi izolator (pika 1')	4.22		4.24 0.7	0.7	0.7 0.7	0.72	0.72	1.0
Në tarracë (pika 5)	7.22	7.00	2.48	2.45	2.59	2.59	1.0	1.0

**Tabela 3. 16:** Rezultate të nxitimeve (m/s<sup>2</sup>) të strukturës Tip BOKS

Tabela 3. 17: Rezultate të zhvendosjeve të kateve (cm) të strukturës Tip BOKS

Kati	Struktura fikse Mode	me bazë eli 1 (SF)	Struktura e izoluar në bazë Modeli 2 (SIB)		Struktura e izoluar në përdhe Modeli 3 (SIP)		Rap SIP/	orti /SIB																									
	Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y																									
Baza 0	0	0	0	0	0	0	0	0																									
Baza 0'	0	0	11.79	11.78	0	0	0	0																									
Kati 1	0.0	1.0	11 00	12.01	0.11	0.09	0.01	0.01																									
Kati 1'	0.7	1.0	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.77	11.99	12.01	11.41	11.42	0.95	0.95
Kati 2	1.0	1.1	12.02	12.04	11.43	11.45	0.95	0.95																									
Kati 3	1.1	1.2	12.05	12.07	11.46	11.47	0.95	0.95																									
Kati 4	1.2	1.3	12.07	12.09	11.48	11.49	0.95	0.95																									
Kati 5	1.3	1.4	12.09	12.12	11.49	11.52	0.95	0.95																									

Tabela 3. 18: Rezultate të deformimeve (Drifte) të kateve (cm) të strukturës Tip BOKS

Kati	Struktura me bazë fikse Modeli 1 (SF)		Struktura e izoluar në bazë Modeli 2 (SIB)		Struktura në pë Modeli	e izoluar rdhe 3 (SIP)	Raporti SIP/SIB	
	Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y
Baza 0'	0	0	11.79*	11.78*	0	0		
Kati 1	0.0	1	0.20	0.23	0.11	0.09	0.5	0.4
Kati 1'	0.9	1	0.20	0.20 0.25	11.3*	11.33*		
Kati 2	0.1	0.1	0.03	0.03	0.02	0.03	0.7	1.0
Kati 3	0.1	0.1	0.03	0.03	0.03	0.02	1.0	0.7
Kati 4	0.1	0.1	0.02	0.02	0.02	0.02	1.0	1.0
Kati 5	0.1	0.1	0.02	0.03	0.01	0.03	0.5	1.0

<sup>\*</sup> Deformimet e izolatorëve

Parametri	Pozicioni	Struktura me bazë fikse Modeli 1 (SF)		Struktura e izoluar në bazë Modeli 2 (SIB)		Struktura e izoluar në përdhe Modeli 3 (SIP)		Raporti SIP/SIB	
		Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y
Forca Prerëse	Në përdhe (EL1)	805	825	150	190	143	180	0.95	0.95
në Kollonë (kN)	Në tarracë (EL2)	13	10	6	3	5	3	0.83	1.00
Momenti në Tra	Në përdhe (EL3-EL5)	340	290	43	49	5	9	0.12	0.18
(kNm)	Në tarracë (EL4-EL6)	25	8	9	3	6	3	0.67	1.00
Forca Prerëse në Bazë (kN)	Përdhe	9000	8950	1300	1300	1265	1260	0.97	0.97
Sforcimet	Vertikale	2500	2550	500	500	400	300	0.80	0.60
në Mure b/a (kN/m <sup>2</sup> )	Horizontale	2000	2000	500	500	300	200	0.60	0.40

Tabela 3. 19: Rezultate të Reagimit të Forcave të strukturës Tip BOKS

Paraqitja grafike e reagimit në fushën e kohës për disa parametra të përzgjedhur për prezantim jepet në Figurat 3.31 deri në 3.36.

Për të gjitha figurat e mëposhtme legjenda e përdorur është:



Figura 3. 31: Reagimi në kohë i nxitimeve: a) për pikën 1'; b) për pikën 5



Figura 3. 32: Reagimi në kohë i zhvendosjeve sipas drejtimit X: a) për pikën 1'; b) për pikën 5



Figura 3. 33: Zhvendosja relative sipas drejtimit X e pikës 5 në lidhje me pikën 1'



**Figura 3. 34:** Reagimi në kohë i forcave prerëse në kollona sipas drejtimit X: **a**) forca prerëse në elementin EL - 1; **b**) forca prerëse në elementin EL - 2



Koha (sek) Figura 3. 35: Reagimi në kohë i forcës prerëse në bazë sipas drejtimit X



Figura 3. 36: Sjellja histeretike e izolatorëve sipas drejtimit X: a) 1 (akset A-1), b) 3 (akset B-2)

Në bazë të rezultateve të reagimit sizmik të tre modeleve të realizuara (SF, SIB dhe SIP) vlen të përmendim konkluzionet e mëposhtme.

Nxitimet e strukturave të izoluara kundrejt strukturës me bazë fikse janë shumë më të vogla, konkretisht: nxitimet e katit përdhe (të nyjes mbi izolator) janë 6 herë më të vogla, kurse nxitimet e nyjes së tarracës janë afërsisht 3 herë më të vogla. Raporti i nxitimeve midis strukturave Model 3 dhe Model 2 është gati 1. Kjo tregon që pozicioni i izolimit në fund apo në krye të katit përdhe nuk ndikon në madhësinë e nxitimeve të strukturës.

Zhvendosjet e strukturave të izoluara janë shumë më të mëdha në krahasim me strukturën me bazë fikse, por këto zhvendosje vijnë si rezultat i deformimit të izolatorëve. Prej raportit të zhvendosjeve midis strukturës Model 3 dhe Model 2 konstatohet që pozicioni i izolimit sizmik, në fund apo në krye të katit përdhe, nuk ndikon në madhësinë e zhvendosjeve të strukturës.

Deformimet e katit përdhe të strukturës me bazë fikse janë 10 herë më të mëdha se sa deformimet e kateve të sipërme. Kjo ndodh për shkak të ngurtësisë shumë të vogël që ka kati përdhe i kësaj strukture tip BOKS. Pra kati përdhe paraqitet si kat i butë dhe mund të konsiderohet si kat izolues i pjesës së sipërme të strukturës, por këtë rol, analog të sistemit

izolues, elementët strukturorë të këtij kati nuk mund ta luajnë realisht, pasi ata nuk posedojnë kapacitetin për t'u deformuar në këto madhësi.

Deformimet e kateve të strukturave të izoluara kundrejt asaj të paizoluar janë shumë më të vogla. Konkretisht, deformimi i katit përdhe, nëse në strukturën me bazë fikse ishte 0.9 cm në drejtimin X dhe 1 cm në drejtimin Y, në strukturën Model 2 reduktohet përkatësisht në 0.2 cm dhe 0.23 cm, kurse në strukturën Model 3, 0.11 cm dhe 0.09 cm. Pra, me izolimin sizmik të strukturës, deformimet e kateve përdhe u reduktuan 5 herë për strukturën Model 2 dhe 10 herë për strukturën Model 3. Vlen të theksojmë, krahas të tjerave, që pozicioni më i përshtatshëm i sistemit të izolimit për reduktimin e deformimit të katit përdhe është në krye të tij (Modeli 3). Këto rezultate janë në përputhje me analizën teorike të dhënë në seksionin 3.2 për efektin e izolimit sizmik në eleminimin e fenomenit të strukturës me kat të butë. Deformimet e kateve të sipërme, janë shumë të vogla për të tre modelet e strukturave sepse struktura është e tipit BOKS me ngurtësi relativisht të lartë të tyre.

Forcat prerëse janë reduktuar rreth 6 herë në kollonat e katit përdhe dhe rreth 3 herë në kollonat e katit të pestë. Ndërkohë që ndikimi i pozicionit të sistemit izolues në forcat prerëse të këtyre kollonave është pak i ndjeshëm.

Momentet përkulës në trarët e katit përdhe reduktohen rreth 6 herë për strukturën Model 2 dhe rreth 50 herë për strukturën Model 3. Kjo tregon që pozicioni më i përshtatshëm i sistemit izolues për trarët e katit përdhe është në krye të këtij kati (Modeli 3). Momentet përkulës në trarët e kateve të sipërm reduktohen rreth 3 herë për strukturat e izoluara kundrejt asaj me bazë fikse. Ndikimi i pozicionit të sistemit izolues në trarët e kateve të sipërm është i papërfillshëm.

Forcat prerëse në bazë reduktohen rreth 7 herë prej izolimit sizmik të kësaj strukturë, duke treguar edhe një herë efektivitetin e tij në reduktimin e forcave vepruese ekuivalente të tërmetit. Raporti i forcave prerëse në bazë midis strukturave Model 3 dhe Model 2 është 0.97. Kjo tregon që pozicioni i izolimit në fund apo në krye të katit përdhe nuk ndikon në madhësinë e forcave prerëse në bazë të strukturës.

Sforcimet në murin betonarme në katin e parë, janë reduktuar rreth 5 herë prej izolimit sizmik të strukturave.

Në bazë të kurbës histerezis të reagimit të izolatorëve, vërehet se të dy izolatorët punojnë në kapacitetin e plotë të tyre, gjë që tregon reagimin në përputhshmëri me karakteristikat e tyre.

Në mënyrë të përmbledhur themi se izolimi sizmik i këtij tipi struktural sjell këto efekte:

- 1. Mundësinë e eleminimit të defektit kryesor që pati struktura me katin përdhe të butë;
- 2. Reduktimin me disa herë të deformimeve të elementëve strukturorë;
- 3. Reduktimin me disa herë të forcave të brendshme në elementët strukturorë dhe të forcave prerëse në bazë;
- 4. Pozicioni i sistemit izolues në fund apo në krye të katit përdhe pothuajse nuk ka ndikim në madhësitë e nxitimeve, zhvendosjeve, forcave prerëse në kollona dhe forcave prerëse në bazë, por pozicioni në krye të katit përdhe është më i përshtatshëm nëse kemi parasysh reduktimin e deformimeve të elementëve dhe të momenteve përkulëse në trarët e katit përdhe.

# 3.4 Analiza e Efektit të Izolimit Sizmik në Ndërtesa Betonarme të Tipeve të Ndryshme

Duke pasur parasysh faktin që reagimi dinamik dhe sizmik i strukturave varet jo vetëm nga veprimi i jashtëm nëpërmjet lëvizjeve të tokës, por edhe nga karakteristikat e vetë strukturës, të cilat në rastin e izolimit sizmik pësojnë modifikime të konsiderueshme, lind nevoja e studimit dhe e njohjes së influencave që sjell izolimi sizmik në reagimin e përgjithshëm dhe në parametra të veçantë të strukturave të tipeve të ndryshme. Kështu, do të duhej të analizohen ndërtesa që ndryshojnë prej materialit përbërës si ndërtesa me muraturë, çeliku, druri apo betoni të armuar; ndërtesa që ndryshojnë prej formave planimetrike apo formave volumore; ndërtesa që ndryshojnë prej numrit të kateve etj. Duke patur parasysh tipologjinë aktuale të strukturave ndërtimore në vendin tonë do të ishte me interes të studiohen strukturat prej betoni të armuar.

## 3.4.1 Të dhënat gjeometrike të strukturave

Strukturat e analizuara janë struktura prej betoni të armuar me pesë kate. Për të studiuar efektin e izolimit sizmik të ndërtesave betonarme në këtë punim do të analizojmë tre tipe strukturash: *Tip 1-* strukturë RAME; *Tip 2-* strukturë MIKSE dhe *Tip 3-* strukturë BOKS. Secili prej tre tipeve struktural do të modelohet në dy variante: *Modeli i parë* paraqet variantin e strukturës me lidhje fikse dhe do të titullohet - Strukturë Fikse (SF), *Modeli i dytë* paraqet variantin e strukturës me bazë të izoluar dhe do të titullohet -Strukturë e Izoluar në Bazë (SIB).

Të dhënat gjeometrike të strukturave tregohen në Figurën 3.37; 3.38 dhe 3.39.



Figura 3. 37: Plani, Prerja dhe izolatorët e strukturës RAME: a) sistem fiks SF, b) sistem i izoluar në bazë SIB

Lartësia e katit:  $H_k=3.15 \text{ m}$ Betoni: C25/30 Përmasimi i elementëve të ndërtesës: Soleta: me trashësi  $h_s=15 \text{ cm}$ Trarët: me përmasa  $h_t=60\text{ cm}$ ,  $b_t=30\text{ cm}$ Kollonat: anësoret me përmasa  $b_k=40\text{ cm}$ ,  $h_k=60\text{ cm}$ , qëndroret  $b_k=60\text{ cm}$ ,  $h_k=60\text{ cm}$ 



Figura 3. 38: Plani, Prerja dhe izolatorët e strukturës MIKSE: a) sistem fiks SF, b) sistem i izoluar në bazë SIB

Lartësia e katit:  $H_k=3.15 \text{ m}$ Betoni: C25/30 Përmasimi i elementëve të ndërtesës: Soleta: me trashësi  $h_s=15 \text{ cm}$ Trarët: me përmasa  $h_t=60\text{cm}$ ,  $b_t=30\text{cm}$ Kollonat: anësoret me përmasa  $b_k=40\text{cm}$ ,  $h_k=60\text{cm}$ , qëndroret  $b_k=60\text{cm}$ ,  $h_k=60\text{cm}$ Muret beton arme:  $t_m=25\text{cm}$ 



Figura 3. 39: Plani, Prerja dhe izolatorët e strukturës BOKS: a) sistem fiks SF, b) sistem i izoluar në bazë SIB

Lartësia e katit:  $H_k=3.15 \text{ m}$ Betoni: C25/30 Përmasimi i elementëve të ndërtesës: Soleta: me trashësi  $h_s=15 \text{ cm}$ Traret: me përmasa  $h_t=60\text{ cm}$ ,  $b_t=30\text{ cm}$ Kollonat: anësoret me përmasa  $b_k=40\text{ cm}$ ,  $h_k=60\text{ cm}$ , qëndroret  $b_k=60\text{ cm}$ ,  $h_k=60\text{ cm}$ Muret beton arme:  $t_m=20\text{ cm}$ 

Të gjitha të dhënat gjeometrike dhe vetitë fiziko - mekanike të materialeve janë të njëjta për të tre tipet e strukturave; RAME, MIKSE dhe BOKS.

#### 3.4.2 Ngarkesat e aplikuara

Për llogaritjen e parametrave dinamik dhe për analizën sizmike, në strukturë janë aplikuar ngarkesat e përhershme  $g = 300 \text{ daN/m}^2$ , të përkohshme  $p = 200 \text{ daN/m}^2$  dhe të tërmeteve. Ngarkesa e tërmeteve është dhënë nëpërmjet akselerogramës se tërmetit real të shkallëzuar për kushtet e zgjedhura të truallit me nxitimin maksimal të konsideruar  $A_{max} = 0.25g$ . Akselerograma e pranuar është ajo e tërmetit "EL Centro" me nxitim maksimal PGA = 0,349 g, e cila shumëzohet me faktorin e shkallës  $S = (0.25 / 0,349) \times 10^{-3} = 0.716 \times 10^{-3}$ . Akselerograma e përdorur si e dhënë hyrëse për analizën kohore sizmike të shkallëzuar është paraqitur në Figurën 3.40. Kjo akselerogramë është aplikuar në të dy drejtimet horizontale, X dhe Y.



Figura 3. 40: Akselerograma - El Centro e modifikuar për truall me PGA = 0.25g

#### 3.4.3 Modelimi i strukturës

Tani do të përcaktojmë parametrat e izolatorëve që do të vendosim poshtë secilës kollonë. Llogaritja do të bëhet duke ndjekur hapat që përshkruam më sipër.

Fillimisht gjejmë ngarkesën vertikale që shkarkohet në secilin izolator nga kombinimi 1.35G + 1.5P. Me qëllimin e standartizimit të izolatorëve, duke analizuar forcat që veprojnë në izolator në të tre tipet e strukturave është arritur që të përdoren gjithsej katër lloje izolatorësh, të cilët do t'i identifikojmë me numra nga 1 deri në 4. Forcat vertikale të pranuara për llogaritjen e karakteristikave të izolatorëve jepen në Tabelën 3.20.

Tabela 3. 20: Forcat verti	kale në izolatorë
----------------------------	-------------------

Izolatori	1	2	3	4
Forca vertikale (kN)	800	1220	2380	400

Në llogaritjet e karakteristikave të izolatorëve kemi pranuar:

- perioda e parë e lëkundjeve të të tre tipeve të strukturave të izoluara të jetë T = 2.5 s,
- raportin e shuarjes  $\beta = 10\%$ ,
- zhvendosjen e projektimit D = 10 cm
- Raporti i ngurtësisë r =  $K_2/K_1 = 0.2$

				î.
Izolatori	1	2	3	4
Ngurtësia efektive, $K_{eff}$ (kN/m)	515	785	1532	260
Ngurtësia elastike, $K_I$ (kN/m)	2150	3280	6400	1075
Ngurtësia pas rrjedhshmërisë, $K_2$ (kN/m)	430	655	1280	215
Forca karakteristike, $\boldsymbol{Q}$ (kN)	8.50	12.97	25.31	4.04
Forca e rrjedhshmërisë, $Q_y$ (kN)	10.6	16.2	31.6	5.32
Zhvendosja e rrjedhshmërisë, $D_y$ (m)	0.005	0.005	0.00	0.005
Ngurtësia vertikale, <i>K=100x K<sub>eff</sub></i> (kN/m)	51500	78500	153200	26000

Karakteristikat e llogaritura të izolatorëve i japim në mënyrë të përmbledhur në Tabelën 3.21. **Tabela 3. 21:** Parametrat e Izolatorëve të Strukturës për të tre tipet e strukturave të izoluara

Në figurën më poshtë po paraqesim kurbat e histerezis për të katër tipet e izolatorëve:



Figura 3. 41: Kurba histerezis për katër tipet e izolatorëve

## 3.4.5 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre

## 3.4.5a Parametrat dinamikë

Vlerat e gjashtë periodave të para të lëkundjeve për të dy modelet e të tre tipeve të strukturave jepen në Tabelat 3.22; 3.23 dhe 3.24.

Forma e	Per	Droitimi i	
lëkundjes	Struktura me bazë fikse Modeli 1 (SF)	lëkundjes	
1	0.79	2.80	Translativ-Y
2	0.70	2.76	Translativ-X
3	0.61	2.51	Përdredhje-Z
4	0.25	0.50	Translativ-Y
5	0.22	0.46	Translativ-X
6	0.20	0.32	Përdredhje-Z

Tabela 3. 22: Periodat e lëkundjeve të strukturës tip RAME

Tabela 3. 23: Periodat e lëkundjeve të strukturës tip MIKSE

Forma e	Per	ioda	Dreitimi i	
lëkundjes	Struktura me bazë fikse Modeli 1 (SF)	Struktura e izoluar në bazë Modeli 2 (SIB)	Drejtimi i lëkundjes Translativ-Y Translativ-X Përdredhje-Z	
1	0.46	2.72	Translativ-Y	
2	0.41	2.70	Translativ-X	
3	0.28	2.48	Përdredhje-Z	
4	0.12	0.43	Translativ-Y	
5	0.11	0.41	Translativ-X	
6	0.10	0.27	Përdredhje-Z	

Tabela 3. 24: Periodat e lëkundjeve të strukturës tip BOKS

Forma e	Per	ioda	Dreitimi i
lëkundjes	Struktura me bazë fikse Modeli 1 (SF)	Struktura e izoluar në bazë Modeli 2 (SIB)	lëkundjes
1	0.16	2.67	Translativ-Y
2	0.15	2.66	Translativ-X
3	0.09	2.41	Përdredhje-Z
4	0.04	0.36	Translativ-Y
5	0.03	0.35	Translativ-X
6	0.02	0.1	Përdredhje-Z

Tre format e para të lëkundjeve paraqiten në figurën 3.42; 3.43 dhe 3.44. Prej figurës dallohet që për të tre modelet forma e parë e lëkundjes është translative sipas drejtimit Y, forma e dytë është translative sipas X, kurse forma e tretë është rrotulluese (përdredhje) sipas aksit Z.



Figura 3. 42: Tre Format e para të lëkundjeve të strukturës RAME



Figura 3. 43: Tre Format e para të lëkundjeve të strukturës MIKSE



Figura 3. 44: Tre Format e para të lëkundjeve të strukturës BOKS

Forma e	l	Raporti i periodave (T <sub>SIB</sub> )/(T	( <sub>SF</sub> )
lëkundjes	Struktura RAME	Struktura MIKSE	Struktura BOKS
1	3.54	5.91	16.69
2	3.94	6.59	17.73
3	4.11	8.86	26.78
4	2.00	3.58	9.00
5	2.09	3.73	11.67
6	1.60	2.70	5.00

Tabela 3. 25: Raportet e periodave midis strukturave të izoluara kundrejt atyre të paizoluara

Paraqitja grafike e raportit të periodave midis sistemit të izoluar në bazë (SIB) dhe sistemit fiks (SF) për të tre tipet e strukturave jepet në Figurën 3.45.



Figura 3. 45: Raporti i periodave midis strukturës së izoluar (SIB) dhe asaj të paizoluar (SF)

Siç e shohim perioda e formës së parë të lëkundjeve tek strukturat e izoluara është disa herë më e madhe se tek ajo me bazë fikse. Nëse për strukturën RAME është rreth 4 herë më e madhe, në strukturën BOKS është rreth 17 herë më e madhe. Kjo ka ndodhur si rezultat i pranisë së izolatorëve të cilët kanë një shtangësi në drejtimin horizontal shumë herë më të vogël se ajo e mbistrukturës. Gjithashtu duhet thënë se ne i përcaktuam parametrat e izolatorëve në mënyrë të tillë që perioda e formës së parë të dilte 2.5 s për të tre tipet e strukturave. Faktikisht ajo ka dalë me pak ndryshime midis tre tipeve konkretisht 2.8 s për RAMEN, 2.72 s për MIKSE dhe 2.67 s për BOKS. Kjo për faktin se edhe mbistruktura ka njëfarë fleksibiliteti por ai është shumë herë më i vogël se ai i izolatorëve.

Po të shohim ndryshimin që kanë pësuar tre periodat e para ( $T_1$ ,  $T_2$  dhe  $T_3$ ) kundrejt tre periodave të tjera ( $T_4$ ,  $T_5$  dhe  $T_6$ ) në sistemet e izoluar kundrejt atyre fiks ( $T_{izol}$ )/( $T_{fiks}$ ) vihen re: Për strukturën RAME tre periodat e para kanë ndryshuar rreth 4 herë, kurse tre periodat e dyta rreth 2 herë. Për strukturën MIKSE tre periodat e para kanë ndryshuar rreth 6 herë, kurse tre periodat e dyta rreth 3 herë. Për strukturën BOKS tre periodat e para kanë ndryshuar rreth 20 herë, kurse tre periodat e dyta rreth 10 herë. Kjo do të thotë që sistemi i izolimit ndikon rreth dy herë më shumë në tre format e para, kundrejt tre formave të tjera për strukturat e izoluara të ndërtesave.

Po të shohim deformimet e strukturës për secilën formë vëmë re që në tre format e para deformohet vetëm sistemi i izolimit, ndërkohë që mbistruktura lëviz si një trup gati rigjid, pra deformimet në të janë shumë të vogla. Pikërisht këtyre formave u përkasin edhe periodat shumë të larta. Në tre format e dyta përveç deformimit të sistemit të izolimit kemi deformime edhe në mbistrukturë. Periodat që u përkasin këtyre formave zvogëlohen shumë në krahasim me tre periodat e para.

Pra izolimi sizmik i këtyre tipeve strukturore tregon se përveç reduktimit të deformimeve të elementëve prej formave translative (forma I dhe II) reduktohen në mënyrë të ndjeshme edhe deformimet e elementëve strukturorë prej përdredhjes (forma III). Kjo tregon që për çdo tip strukture betonarme me potencial të madh përdredhës prej mospërputhjes së qendrave të ngurtësisë dhe të masës (përfshirë këtu edhe jashtëqendërsinë aksidentale) efektiviteti i izolimit sizmik do të ishte i madh.

Duke parë Tabelën 3.25 vihet re që për kalimin nga struktura RAME drejt strukturës BOKS, për të cilat u përdorën izolatorë thuajse të njëjtë, raporti i periodave  $(T_{izol})/(T_{fiks})$  bëhet shumë i madh (prej 4 herë për RAMEN, 6 herë për MIKSE në 20 herë për BOKS). Kjo tregon që efektiviteti i izolimit në bazë është më i madh në strukturat e shtangëta.

## 3.4.5b Rezultate të reagimit sizmik

Prej rezultateve të reagimit sizmik të tre tipeve strukturale përzgjedhim disa parametra. Me interes janë vlerat maksimale në të dy drejtimet X dhe Y të zhvendosjeve (MaxUx, MaxUy), nxitimeve (MaxAx, MaxAy), forcave prerëse në bazë (BShear-x, BShear-y), forcave prerëse në kollonat e katit përdhe dhe të katit të kryes (Qx, Qy) dhe momentet përkulës në trarët e katit përdhe dhe të katit të kryes Mx për drejtimin - Y të tërmetit dhe My për drejtimin - X të tërmetit. Në rastin e strukturave me mure, janë dhënë dhe sforcimet vertikale S22 dhe horizontale S11 në katin përdhe të murit.

Pozicioni i nyjeve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike paraqitet skematikisht në Figurën 3.46.



Figura 3. 46: Pozicioni i nyjeve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike

Pozicioni i elementëve të përzgjedhur për prezantimin e reagimeve sizmike paraqitet skematikisht në Figurën 3.47.



Figura 3. 47: Pozicioni i elementëve të përzgjedhur për prezantimin e reagimeve sizmike

Pozicioni i mureve të përzgjedhur për prezantimin e reagimeve sizmike paraqitet skematikisht në Figurën 3.48.



Figura 3. 48: Pozicioni i mureve të përzgjedhur për prezantimin e reagimeve sizmike

Vlerat numerike të rezultateve të reagimit sizmik të tre tipeve të strukturave për të dy rastet e modelimit të secilës prej tyre (SF dhe SIB), paraqiten numerikisht në Tabelat 3.26 deri në 3.37.

 ee Pozicioni		Struktur: fik Modeli	a me bazë sse i 1 (SF)	Struktura në l Modeli	xtura e izoluar në bazë Rapo odeli 2 (SIB)		rti: SIB/SF	
Par		Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y	
n/s <sup>2</sup> )	Në bazë, nën izolator (pika 0)	2.45	2.45	2.45	2.45	1	1	
imi (n	Në bazë, mbi izolator (pika 0')	2.43	2.43	2.08	2.00	0.8	0.8	
Nxit	Në tarracë (pika 5)	6.48	6.66	2.52	2.58	0.4	0.4	

Tabela 3. 26: Rezultate të nxitimeve të Strukturës Tip RAME

Tabela 3. 27: Rezultate të zhvendosjeve të kateve (cm) të Strukturës Tip RAME

Kati	Struktura me Modeli	e bazë fikse 1 (SF)	Struktura e i Modeli	zoluar në bazë i 2 (SIB)	Raport	Raporti: SIB/SF Drejtimi X Drejtimi Y		
	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y		
Baza 0	0	0	0	0				
Baza 0'	0	0	10.5	10.4				
Kati 1	1.2	1.3	10.9	10.9	9.1	8.4		
Kati 2	3.0	3.4	11.2	11.3	3.7	3.3		
Kati 3	4.5	5.4	11.5	11.6	2.6	2.1		
Kati 4	5.8	6.9	11.8	11.9	2.0	1.7		
Kati 5	6.7	7.7	12.0	12.1	1.8	1.6		

	Struktura n	ne bazë fikse	Struktura e izo	luar në bazë	Paparti	SIB/SE
Kati	Model	i 1 (SF)	Modeli 2	(SIB)	кароги.	510/51
	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi X Drejtimi Y		Drejtimi Y
Baza 0'	0	0	10.5	10.4		
Kati 1	1.2	1.3	0.4	0.5	0.3	0.4
Kati 2	1.8	2.1	0.3	0.4	0.2	0.2
Kati 3	1.5	2	0.3	0.3	0.2	0.1
Kati 4	1.3	1.5	0.3	0.3	0.2	0.2
Kati 5	0.9	0.8	0.2	0.2	0.2	0.2

Tabela 3. 28: Rezultate të deformimeve (Drifte) të kateve (cm) të Strukturës Tip RAME

Tabela 3. 29: Rezultate të Reagimit të Forcave të Strukturës Tip RAME

Parametri	Pozicioni	Struktura me bazë fikse i Modeli 1 (SF)		Struktura në l Modeli	a e izoluar bazë 2 (SIB)	Raporti: SIB/SF	
		Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y
Forca Prerëse	Në përdhe (EL1)	757	752	126	133	0.17	0.18
(kN)	Në tarracë (EL2)	277	284	43	49	0.16	0.17
Momenti në	Në përdhe (EL3-EL5)	787	743	130	152	0.17	0.20
Tra (kNm)	Në tarracë (EL4-EL6)	227	255	21	43	0.09	0.17
Forca Prerëse në Bazë (kN)	Përdhe	5723	5066	1018	1019	0.18	0.20

**Tabela 3. 30:** Rezultate te nxitimeve (m/s<sup>2</sup>) të Strukturës Tip MIKSE

Pozicioni	Struktura fik Modeli	a me bazë kse i 1 (SF)	Struktura në l Modeli	a e izoluar bazë 2 (SIB)	Raporti	: SIB/SF
	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y
Në bazë, nën izolator (pika 0)	0.45	2 45	2.45	2.45	<b>X</b> 1	1
Në bazë, mbi izolator (pika 0')	2.43	2.45	2.08	2.00	0.8	0.8
Në tarracë (pika 5)	4.65	5.66	2.52	2.58	0.5	0.5

Kati	Struktura me Modeli	e bazë fikse 1 (SF)	Struktura e i Modeli	zoluar në bazë i 2 (SIB)	Raporti	: SIB/SF
	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y
Baza 0	0	0	0	0		
Baza 0'	0	0	11.35	11.08		
Kati 1	0.25	0.42	11.53	11.42	46.1	27.2
Kati 2	0.75	1.30	11.90	11.74	15.9	9.0
Kati 3	1.30	2.30	12.20	12.04	9.4	5.2
Kati 4	1.81	3.20	12.40	12.32	6.9	3.9
Kati 5	2.27	4.30	12.60	12.57	5.6	2.9

Tabela 3. 31: Rezultate të zhvendosjeve të kateve (cm) të Strukturës Tip MIKSE

Tabela 3. 32: Rezultate të deformimeve (Drifte) të kateve (cm) të Strukturës Tip MIKSE

Kati	Struktura m Modeli	e bazë fikse 1 (SF)	Struktura e izo Modeli 2	luar në bazë (SIB)	Raporti:	SIB/SF
	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y
Baza 0'	0	0	11.35*	11.08*		
Kati 1	0.25	0.42	0.18	0.34	0.7	0.8
Kati 2	0.5	0.88	0.37	0.32	0.7	0.4
Kati 3	0.55	1	0.3	0.3	0.5	0.3
Kati 4	0.51	0.9	0.2	0.28	0.4	0.3
Kati 5	0.46	1.1	0.2	0.25	0.4	0.2

Tabela 3. 33: Rezultate të Reagimit të Forcave të Strukturës Tip MIKSE

Parametri	Pozicioni	Struktura me bazë fikse Modeli 1 (SF)		Struktura e izoluar në bazë Modeli 2 (SIB)		Raporti: SIB/SF	
		Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y
Forca Prerëse	Në përdhe (EL1)	127	187	81	80	0.64	0.43
në Kollonë (kN)	Në tarracë (EL2)	185	339	58	55	0.31	0.16
Momenti në Tra	Në përdhe (EL3-EL5)	185	276	70	93	0.38	0.34
(kNm)	Në tarracë (EL4-EL6)	135	263	22	43	0.16	0.16
Forca Prerëse në Bazë (kN)	Përdhe	5550	7580	1260	1240	0.23	0.16
Sforcimet në	Vertikale	5000	7000	400	400	0.08	0.06
Mure ba (kN/m <sup>2</sup> )	Horizontale	1500	2000	200	200	0.13	0.10

\* Deformimet e izolatorëve

Pozicioni	Struktura fil Modeli	a me bazë kse i 1 (SF)	Struktura në l Modeli	a e izoluar bazë 2 (SIB)	Raporti	: SIB/SF
	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y
Në bazë, nën izolator (pika 0)	2.45	2 45	2.45	2.45	1.0	1.0
Në bazë, mbi izolator (pika 0')	2.43	2.45	2.32	2.32	0.9	0.9
Në tarracë (pika 5)	4.2	4.3	2.32	2.32	0.6	0.5

Tabela 3. 34: Rezultate të nxitimeve (m/s<sup>2</sup>) të Strukturës Tip BOKS

Tabela 3. 35: Rezultate të zhvendosjeve të kateve (cm) të Strukturës Tip BOKS

Kati	Struktura me bazë fikse Modeli 1 (SF)		Struktura e izoluar në bazë Modeli 2 (SIB)		Raporti: SIB/SF	
	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y
Baza 0	0	0	0	0		
Baza 0'	0		11.92	11.92		
Kati 1	0.05	0.06	11.95	11.95	239.0	199.2
Kati 2	0.12	0.13	11.97	11.98	99.8	92.2
Kati 3	0.19	0.20	12	12.01	63.2	60.1
Kati 4	0.25	0.26	12.02	12.03	48.1	46.3
Kati 5	0.30	0.31	12.04	12.05	40.1	38.9

Tabela 3. 36: Rezultate të deformimeve (Drifte) të kateve (cm) të Strukturës Tip BOKS

Kati	Struktura me bazë fikse		Struktura e izo	luar në bazë	Doportie SID/SE	
	Modeli 1 (SF)		Modeli 2 (SIB)		Kaputu: 51D/5F	
	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y
Baza 0'	0	0	11.92*	11.92*		
Kati 1	0.05	0.06	0.03	0.03	0.6	0.5
Kati 2	0.07	0.07	0.02	0.03	0.3	0.4
Kati 3	0.07	0.07	0.03	0.03	0.4	0.4
Kati 4	0.06	0.06	0.02	0.02	0.3	0.3
Kati 5	0.05	0.05	0.02	0.02	0.4	0.4

<sup>\*</sup> Deformimet e izolatorëve

Parametri	Pozicioni	Struktura me bazë fikse Modeli 1 (SF)		Struktura e izoluar në bazë Modeli 2 (SIB)		Raporti: SIB/SF	
		Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y	Drejtimi X	Drejtimi Y
Forca Prerëse	Në përdhe (EL1)	26	31	7	8	0.27	0.26
(kN)	Në tarracë (EL2)	9	8.8	5	3	0.56	0.34
Momenti në	Në përdhe (EL3-EL5)	24	22	4.5	6.6	0.19	0.30
Tra (kNm)	Në tarracë (EL4-EL6)	2.5	7.9	0.8	2	0.32	0.25
Forca Prerëse Në Bazë (kN)	Përdhe	5322	5263	1286	1278	0.24	0.24
Sforcimet në	Vertikale	2500	2500	500	500	0.20	0.20
Mure ba (kN/m <sup>2</sup> )	Horizontale	600	600	450	450	0.75	0.75

Tabela 3. 37: Rezultate të Reagimit të Forcave të Strukturës Tip BOKS

Për të bërë krahasimin e efektit të izolimit sizmik për parametrat e përzgjedhur të reagimit sizmik midis strukturave të izoluara dhe atyre të paizoluara, paraqesim grafikisht raportet e këtyre parametrave për të tre tipet struktural. Këta grafikë jepen në Figurat 3.49 deri në 3.55.







Figura 3. 50: Raporti i zhvendosjeve midis strukturës së izoluar (SIB) dhe asaj të paizoluar (SF); a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y



Figura 3. 51: Raporti i deformimeve të kateve midis strukturës së izoluar (SIB) dhe asaj të paizoluar (SF); a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y



Figura 3. 52: Raporti i forcave prerëse në kollonë midis strukturës së izoluar (SIB) dhe asaj të paizoluar (SF); a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y



Figura 3. 53: Raporti i momenteve përkulës në trarë midis strukturës së izoluar (SIB) dhe asaj të paizoluar (SF); a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y



Figura 3. 54: Raporti i forcave prerëse në bazë midis strukturës së izoluar (SIB) dhe asaj të paizoluar (SF); a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y



Figura 3. 55: Raporti i sforcimeve në murin betonarme midis strukturës së izoluar (SIB) dhe asaj të paizoluar (SF); a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y

Krahasimi i reagimit të izolatorëve për të tre tipet strukturale jepet nëpërmjet kurbave histerezis të dy izolatorëve: anësor, IZ-1, dhe qendror, IZ-3, të pozicionuar sipas Figurës 3.37 (dhe 3.38 ose 3.39). Paraqitja grafike e tyre jepet në Figurën 3.56.



**Figura 3. 56:** Sjellja histeretike e izolatorëve të të tre tipeve struktural, sipas drejtimit X; **a**) izolatorët IZ-1 (aksi A-1), **b**) izolatorët IZ-3 (aksi B-2)
Paraqitja grafike e reagimit në fushën e kohës për disa parametra të përzgjedhur për prezantim, jepet vetëm për strukturën tip RAME në Figurat 3.57 deri në 3.62. Këta grafikë kanë të njëjtën formë edhe për strukturat tip MIKSE dhe BOKS, për këtë arsye nuk janë të nevojshëm për të bëre krahasimet e reagimeve midis këtyre tipeve strukturale.

Për të gjitha figurat e mëposhtme legjenda e përdorur është:





Figura 3. 58: Reagimi në kohë i zhvendosjeve sipas drejtimit X: a) për pikën 1; b) për pikën 5



Figura 3. 59: Zhvendosja relative e pikës 5 në lidhje me pikën 1, sipas drejtimit X



Figura 3. 60: Reagimi në kohë i forcave prerëse në kollona sipas drejtimit X: a) forca prerëse në elementin EL - 1; b) forca prerëse në elementin EL - 2



Figura 3. 61: Reagimi në kohë i forcës prerëse në bazë sipas drejtimit X



Figura 3. 62: Sjellja histeretike e izolatorëve 1 (aksi A-1) dhe 3 (aksi B-2) sipas drejtimit X

Në bazë të rezultateve të reagimit sizmik të të tre tipeve strukturalë të analizuar (RAME, MIKSE dhe BOKS) vlen të përmendim konkluzionet e mëposhtme.

Nxitimet e strukturave të izoluara kundrejt atyre me bazë fikse janë zvogëluar për të tre tipet strukturale. Nxitimet në nivelin e katit të parë janë zvogëluar rreth 1.2 herë për të tre tipet, kurse nxitimet në nivelin e tarracës janë reduktuar më shumë në strukturën tip RAME (2.5 herë), pastaj tip MIKS (2 herë) dhe më pak në strukturën tip BOKS (1.6 herë).

Zhvendosjet e strukturave të izoluara janë shumë më të mëdha në krahasim me strukturën me bazë fikse. Theksojmë se këto zhvendosje janë zmadhuar për shkak të deformimeve të sistemit izolues dhe jo për shkak të zhvendosjeve relative të elementëve strukturorë. Raporti i ndryshimit të zhvendosjeve prej izolimit sizmik është më i madh në strukturën tip BOKS, pastaj MIKS dhe më i vogël për strukturën tip RAME, për çdo kat të strukturës. Ndërkohë, prej Figurës 3.50 vihet rë se raporti i ndryshimit të zhvendosjeve është më i madh për katet e poshtme kundrejt atyre të sipërme.

Deformimet e kateve janë reduktuar për të tre tipet strukturore. Sipas Figurës 3.51 ky reduktim është më i madh në katet e sipërme krahasimisht kateve të poshtme. Reduktimi bëhet më i ndjeshëm në deformimet e strukturës tip RAME kundrejt dy tipeve të tjera.

Forcat prerëse në kollonë janë në vlera relativisht të larta në strukturën tip RAME kundrejt strukturave MIKSE dhe BOKS, pasi në këto të fundit kollonat kontribuojnë shumë pak në përballimin e forcave horizontale meqënëse kanë ngurtësi të papërfillshme kundrejt mureve. Pavarësisht këtyre vlerave, absolute, të ndryshme, gjatë izolimit sizmik ato pësojnë zvogëlim në të tre tipet strukturale. Prej Figurës 3.52, vihet re se raporti i reduktimit të forcave prerëse prej izolimit sizmik është më i madh në strukturën tip RAME kundrejt dy të tjerave. Theksojmë se edhe nevojën më të madhe për reduktim të forcës prerëse e ka pikërisht struktura e tipit RAME, duke qenë se në rastin e strukturës fikse ky tip struktural ka forcë të madhe prerëse në kollonë. Raportet e reduktimit tregojnë thuajse të njëjtin ndikim të forcave prerëse në kollonat e secilit kat.

Momentet përkulës në trarët e secilit kat reduktohen në mënyrë analoge me reduktimin e forcave prerëse në kollona, për të tre tipet strukturale.

Forcat prerëse në bazë për sistemet e paizoluara (SF) janë më të mëdha në tipin RAME, pastaj në tipin MIKSE dhe më pak në tipin BOKS. Kjo ndodh nga që periodat e para të lëkundjeve të të tre tipeve strukturalë ndodhen në zonën e fillimit të spektrit të nxitimit, ku nxitimet rriten me rritjen e periodës. Për sistemet e izoluara në bazë (SIB) këto forca prerëse reduktohen më shumë për strukturën tip RAME kundrejt tipeve të tjera. Vlerat absolute të këtyre forcave për të tre modelet e izoluara nuk ndryshojnë shumë midis tyre sepse dhe periodat janë të përafërta (T<sub>1</sub> = 2.8 s për strukturën tip RAME, T<sub>1</sub> = 2.72 s për strukturën tip MIKSE dhe T<sub>1</sub> = 2.67 s për strukturën tip BOKS).

Sforcimet në murin betonarme në katin e parë, në pozicionin e përzgjedhur midis akseve 1-A, në modelet me bazë fikse janë me vlera më të mëdha në strukturën tip MIKSE krahasuar me atë tip BOKS. Gjatë izolimit sizmik në strukturën tip RAME sforcimet vertikale dhe ato horizontale

reduktohen në mënyrë të ndjeshme (8-10 herë), kurse në strukturën tip BOKS, sforcimet vertikale reduktohen 5 herë kurse ato horizontale vetëm 1.5 herë. Fakti që sforcimet horizontale në murin e përzgjedhur (sforcime të marra në murin që ndodhet mbi izolatorin IZ-1) për sistemin tip BOKS, kanë reduktim të vogël gjatë izolimit sizmik, tregon që duhet t'i kushtohet rëndësi edhe pozicionit në plan të izolatorëve, pasi kjo ndikon ndjeshëm në madhësinë e sforcimeve lokale. Pra sforcimet apo forcat e brendshme në elementët strukturorë që mbështeten mbi izolatorë do të ndikohen jo vetëm nga reagimi i përgjithshëm i strukturës por edhe nga marrëdhënia specifike e krijuar prej lidhjes direkte me izolatorët.

Në bazë të kurbës histerezis të reagimit të izolatorëve, të dhënë në Figurën 3.56, vërehet se për të tre tipet strukturalë, të dy izolatorët punojnë në kapacitetin e plotë të tyre, gjë që tregon reagimin në përputhshmëri me karakteristikat e tyre.

Rekomandime: Me interes do të ishte analiza e reagimit të strukturave të ndryshme për shpërndarje të ndryshme në plan të karakteristikave të izolatorëve. Kjo do të shërbente jo vetëm për analizën e sforcimeve lokale por edhe për reagimin e përgjithshëm të strukturës. Veçanërisht do të ndikonte mundësia e pjesëmarrjes së formës së përdredhjes, reale apo aksidentale, në reagimin e përgjithshëm të strukturës.

# 3.5 Analiza e Efektit të Pozicionit të Sistemit Izolues në Ndërtesa Betonarme

Pozicioni më i përdorshëm i sistemit të izolimit është ai midis themeleve dhe strukturës ose midis kateve nëntokë dhe kateve mbi tokë. Në këndvështrimin e realizimit dhe të monitorimit ky është pozicioni më i pranueshëm për izolimin në bazë të strukturave të ndërtimit. Në këndvështrimin e analizës së reagimit sizmik, pozicioni i izolatorëve mund të shihet edhe në nivele të tjera të strukturës si në krye të katit përdhe apo dhe në kate të tjera.

Për analizën e efektit të pozicionit të sistemit izolues, do të konsiderojmë ndërtesën 10 kate të tipit "BOKS". Arsyeja e përzgjedhjes së këtij tipi tregohet në vijim.

Në kohët e sotme në vendin tonë ka filluar ndërtimi i këtyre strukturave për avantazhet që paraqesin në lidhje me kënaqjen e kompozimit të hapësirave në fasada (dyer, dritare) në pozicione, përmasa dhe forma të ndryshme si dhe me mundësitë e reja të ofruara për termoizolimet e ndërtesave me anë të kapotave termoizoluese. Studimi i mundësive të ndryshme të izolimit sizmik të këtyre ndërtesave do të ishte me interes për t'i shërbyer qëllimit të përzgjedhjes së pozicionit më të përshtatshëm të sistemit izolues. Në bazë të nevojave të përdorimit të ndërtesës (banesë, shërbime, pajisje teknologjike, aparatura të veçanta), të zgjidhjes arkitektonike dhe të reagimit të modeleve të ndryshme të strukturës do të bëhet e mundur përzgjedhja e variantit më të mirë izolues, jo vetëm në këndvështrimin e kostos por edhe të parametrave të tjerë të kërkuar. Meqënëse në strukturat e ngurta forcat inerciale janë të mëdha, aparaturat dhe elementët e tjerë jo strukturorë do të jenë nën efektin e nxitimeve dhe forcave inerciale të mëdha gjatë veprimit të tërmeteve. Izolimi sizmik i kateve ku ndodhen këto aparatura do të reduktonte dëmtimet e tyre.

## 3.5.1 Të dhënat gjeometrike të strukturave

Për analizën e efektit të pozicionit të sistemit izolues në reagimin sizmik të strukturave të ndërtesave, do të konsiderojmë ndërtesën 10 kate të tipit "BOKS". Struktura e këtij tipi është shumë e ngurtë dhe për rrjedhojë do të influencohet më shumë prej ndryshimit të pozicionit të izolatorëve dhe konkluzionet do të jenë më të dallueshme.

Prej konkluzioneve që nxorëm nga analiza e izolimit sizmik të strukturës me kat përdhe të dobët/butë reagimi i strukturës është thuajse i njëjtë për izolim në fund të katit përdhe (pra në bazë) dhe në krye të katit përdhe. Prandaj në këtë studim, do të konsiderojmë vetëm rastin e izolimit në bazë (SIB). Për strukturën e zgjedhur me numër të madh katesh do të jetë me interes të studiojmë rastin e izolimit sizmik në kate ndërmjetës, meqënëse përveç arsyeve të tjera do të përfitohej nga përdorimi i izolatorëve më të vegjël kundrejt rastit të izolimit në bazë ku izolatorët janë nën efektin e forcave më të mëdha.

Bazuar në sa thamë më sipër, për të krahasuar parametrat dinamikë dhe reagimin sizmik të kësaj strukture do të analizojmë tre modele të ndryshme të saj, si më poshtë:

- Modeli 1. Struktura me bazë fikse (SF),
- Modeli 2. Struktura e izoluar në bazë (SIB),
- **Modeli 3.** Struktura e izoluar në mes (SIM). Ky model krahas anëve negative, ka dhe anë pozitive krahasimisht modeleve të tjerë. Sipas rastit praktik të një ndërtese mund të parapëlqehet aplikimi i këtij modeli krahasimisht të tjerëve.

Të dhënat gjeometrike të strukturave tregohen në Figurën 3.63 dhe 3.64.



Figura 3. 63: Prerja dhe pozicioni i sistemit izolues: a) Strukturë me bazë fikse (SF), b) Strukturë e izoluar në bazë (SIB), c) Strukturë e izoluar në mes (SIM)



Figura 3. 64: Plani dhe izolatorët e strukturës: a) izolatorët e Modelit 2, b) izolatorët e Modelit 3

**Lartësia e katit:** H<sub>k</sub>=3.15 m

**Betoni:** C25/30

## Përmasimi i elementëve të ndërtesës:

**Soleta:** me trashësi h<sub>s</sub>=15 cm

**Trarët:** me përmasa  $h_t$ =60cm,  $b_t$ =30cm

Kollonat në katet 1 deri 5: anësoret me përmasa  $b_k=50$ cm,  $h_k=80$ cm, qendroret  $b_k=80$ cm,  $h_k=80$ cm

Kollonat në katet 6 deri 10: anësoret me përmasa  $b_k=40$ cm,  $h_k=60$ cm, qendroret  $b_k=60$ cm,  $h_k=60$ cm

**Muret betonarme në katet 1 deri 5:** t<sub>m</sub>=25cm **Muret betonarme në katet 6 deri 10:** t<sub>m</sub>=20cm

Pra të dhënat planimetrike dhe vetitë fiziko - mekanike të materialeve janë të njëjta me strukturat e mëparshme me 5 kate. Gjithashtu dimensionet e elementëve konstruktiv të 5 kateve të sipërm (kati 6 deri 10) janë të njëjta me strukturën 5 katëshe të mëparshme. Kjo përzgjedhje është bërë me qëllimin për të krahasuar reagimin e elementëve konstruktiv të këtyre kateve midis Modelit 3 me Tipin BOKS të strukturës 5 katëshe të analizuar më parë në seksionin 3.4. Edhe izolatorët për Modelin 3 janë marrë të njëjtë me izolatorët e Tipit BOKS të strukturës 5 katëshe.

#### 3.5.2 Ngarkesat e aplikuara

Për llogaritjen e parametrave dinamik dhe për analizën sizmike, në strukturë janë aplikuar ngarkesat e përhershme  $g = 300 \text{ daN/m}^2$ , të përkohshme  $p = 200 \text{ daN/m}^2$  dhe të tërmeteve. Ngarkesa e tërmeteve është dhënë nëpërmjet akselerogramës së tërmetit real të shkallëzuar për kushtet e zgjedhura të truallit me nxitimin maksimal të konsideruar Amax = 0.25g.

Akselerograma e pranuar është ajo e tërmetit "EL Centro" me nxitim maksimal PGA = 0,349 g, e cila shumëzohet me faktorin e shkallës S =  $(0.25 / 0,349) \times 10^{-3} = 0.716 \times 10^{-3}$ . Akselerograma e përdorur si e dhënë hyrëse për analizën kohore sizmike të shkallëzuar është paraqitur në Figurën 3.65. Kjo akselerogramë është aplikuar në të dy drejtimet horizontale, X dhe Y.



Figura 3. 65: Akselerograma El Centro e modifikuar për truall me PGA = 0.25g

## 3.5.3 Modelimi i strukturës

Struktura është modeluar në hapësirë duke përdorur metodën e elementëve të fundëm. Trarët dhe kollonat modelohen - Frame, soletat - shell, kurse izolatorët si element LINK me sjellje bilineare. Parametrat e izolatorëve që do të vendosim poshtë secilës kollonë, llogariten sipas procedurave të treguara në seksionin 3.3.4.

Fillimisht gjejmë ngarkesën vertikale që shkarkohet në secilin izolator nga kombinimi 1.35G + 1.5P. Me qëllimin e standartizimit të izolatorëve, duke analizuar forcat që veprojnë në izolator në të tre tipet e strukturave është arritur që të përdoren dy Grupime Izolatorësh:

**Grupimi i parë** me gjithsej katër lloje izolatorësh, të cilët do t'i identifikojmë me numra nga 1 deri në 4, do të përdoren për rastin e Modelit 3. Forcat vertikale të pranuara për llogaritjen e karakteristikave të izolatorëve pranohen të njëjta me strukturën tip BOKS të analizuar më parë, të cilat jepen në Tabelën 3.38.

**Grupimi i dytë** me gjithsej katër lloje izolatorësh, të cilët do t'i identifikojmë me numra nga 5 deri në 8, do të përdoren për rastin e Modelit 2. Forcat vertikale të pranuara për llogaritjen e karakteristikave të izolatorëve janë dy herë më të mëdha se forcat vertikale të izolatorëve të Modelit 3 dhe jepen ne Tabelën 3.39.

Izolatori	1	2	3	4
Forca vertikale (kN)	800	1220	2380	400

Tabela 3. 39: Forcat vertikale në izolatorët e Modelit 2

Izolatori	5	6	7	8
Forca vertikale (kN)	1600	2440	4760	800

Në llogaritjet e karakteristikave të izolatorëve kemi pranuar parametrat e mëposhtëm, të cilët janë të njëjtë me strukturën tip BOKS të analizuar më parë:

- perioda e parë e lëkundjeve të të dy tipeve të strukturave të izoluara do të jetë T = 2.5 s,
- raporti e shuarjes  $\beta = 10\%$ ,
- zhvendosja e projektimit D = 10 cm
- raporti i ngurtësisë r =  $K_2 / K_1 = 0.2$

Karakteristikat e llogaritura të izolatorëve i japim në mënyrë të përmbledhur në Tabelat 3.40 dhe 3.41.

Tabela 3. 40: Parametrat e izolatorëve të strukturës Model 2	
--	--

Izolatori	5	6	7	8
Ngurtësia efektive, $K_{eff}$ (kN/m)	1030	1570	3065	515
Ngurtësia elastike, $K_I$ (kN/m)	4300	6560	12800	2150
Ngurtësia pas rrjedhshmërisë, K <sub>2</sub> (kN/m)	860	1310	2560	430
Forca karakteristike, $\boldsymbol{Q}$ (kN)	17	25.95	50.62	8.5
Forca e rrjedhshmërisë, $Q_y$ (kN)	21.3	32.4	63.30	10.6
Zhvendosja e rrjedhshmërisë, $D_y$ (m)	0.005	0.005	0.00	0.005
Ngurtësia vertikale, $K = 100 \text{ x } \text{K}_{\text{eff}}(\text{kN/m})$	103000	157000	306500	51500

Tabela 3. 41: Parametrat e izolatorëve të strukturës Model 3

Izolatori	1	2	3	4
Ngurtësia efektive, $K_{eff}$ (kN/m)	515	785	1532	260
Ngurtësia elastike, $K_I$ (kN/m)	2150	3280	6400	1075
Ngurtësia pas rrjedhshmërisë, K <sub>2</sub> (kN/m)	430	655	1280	215
Forca karakteristike, $\boldsymbol{Q}$ (kN)	8.50	12.97	25.31	4.04
Forca e rrjedhshmërisë, $Q_y$ (kN)	10.6	16.2	31.6	5.32
Zhvendosja e rrjedhshmërisë, $D_y$ (m)	0.005	0.005	0.005	0.005
Ngurtësia vertikale, $K = 100 \text{ x } \text{K}_{\text{eff}}(\text{kN/m})$	51500	78500	153200	26000

#### 3.5.4 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre

### 3.5.4a Parametrat dinamikë

Vlerat e gjashtë periodave të para të lëkundjeve për të tre modelet e strukturave jepen në Tabelën 3.42.

Forma e lëkundjes	Struktura më bazë fikse Modeli 1 (SF)	Struktura e izoluar në bazë Modeli 2 (SIB)	Struktura e izoluar në mes Modeli 3 (SIM)	<b>Raporti</b> T <sub>SIM</sub> / T <sub>SIB</sub>	
1	0.36	2.84	2.79	0,98	
2	0.33	2.81	2.78	0,99	
3	0.17	2.46	2.46	1,00	
4	0.12	0.59	0.40	0,68	
5	0.11	0.55	0.39	0,71	
6	0.05	0.09	0.07	0,78	

Tabela 3. 42: Periodat e lëkundjeve të tre modeleve të strukturës 10 Kate, Tip BOKS

Tre format e para të lëkundjeve paraqiten në Figurën 3.66. Prej figurës dallohet që për të tre modelet forma e parë e lëkundjes është translative sipas drejtimit Y, forma e dytë është translative sipas drejtimit X, kurse forma e tretë është rrotulluese (përdredhje) sipas aksit Z.





Figura 3. 66: Tre Format e para të lëkundjeve të tre modeleve të strukturës BOKS

Prej vlerave të periodave të lëkundjeve vëmë re se të dy sistemet e izoluar kanë një rritje të tre periodave të para me rreth 8 herë. Prej raportit të periodave midis sistemit të izoluar në mes (SIM) dhe atij të izoluar në bazë (SIB) konstatojmë se për tre periodat e para (të cilat kanë dhe

kontributin kryesor të reagimit strukturor) ndryshimi është 10%. Kjo do të thotë që struktura e izoluar në mes jep pothuaj të njëjtin efekt si struktura e izoluar në bazë, nga pikëpamja e periodave të lëkundjeve.

Po të shohim deformimet e strukturës për secilën formë vëmë re që në tre format e para të dy sistemeve të izoluar, deformohet vetëm sistemi i izolimit, ndërkohë që struktura lëviz si një trup gati rigjid, pra deformimet në të janë shumë të vogla. Pikërisht këtyre formave u përkasin edhe periodat shumë të larta.

#### 3.5.4b Rezultate të reagimit sizmik

Reagimi sizmik i strukturës për të tre rastet e modelimit (SF, SIB dhe SIM), paraqitet numerikisht në Tabelat 3.43 deri në 3.46. Parametrat e zgjedhura janë vlerat maksimale në drejtimet X dhe Y të zhvendosjeve (MaxUx, MaxUy), nxitimeve (MaxAx, MaxAy), forcave prerëse në bazë (BShear-x, BShear-y), forcave prerëse në kollonat e katit përdhe dhe të katit të kryes (Qx, Qy) dhe momentet përkulës në trarët e katit përdhe dhe të katit të kryes Mx për drejtimin - Y të tërmetit dhe My për drejtimin - X të tërmetit. Përveç këtyre parametrave, janë dhënë dhe sforcimet vertikale S22 dhe horizontale S11 në katin përdhe të murit.

Pozicioni i nyjeve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike paraqitet skematikisht në Figurën 3.67.



Figura 3. 67: Pozicioni i nyjeve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike

Pozicioni i elementëve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike paraqitet skematikisht në Figurën 3.68.



Figura 3. 68: Pozicioni i elementëve të përzgjedhur për prezantimin e reagimeve sizmike

Pozicioni i mureve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike paraqitet skematikisht në Figurën 3.69.



Figura 3. 69: Pozicioni i mureve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike

Pozicioni	Struktura me bazë fikse Modeli 1 (SF)		Struktura e izoluar në bazë Modeli 2 (SIB)		Struktura e izoluar në mes Modeli 3 (SIM)		Raporti SIM/SIB	
	Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y
Në bazë, nën izolator (pika 0)	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2 45	1.0	1.0
Në bazë, mbi izolator (pika 0')	2.43	2.43	1.10	1.4	2.43	2.45	2.2	1.8
Përdhe, nën izolator (pika 1) Përdhe, mbi izolator (pika 1')	1.54	1.80	1.10	1.20	2.22	2.20	2.0	1.8
Përdhe, nën izolator (pika 5)	2 20	2 20	0.6	0.6	5.3	4.2	8.8	7.0
Përdhe, mbi izolator (pika 5')	2.29	2.29	0.0	0.0	0.6	0.64	1.0	1.1
Në tarracë (pika 10)	5.88	5.40	1.20	1.20	0.64	0.66	0.5	0.6

 Tabela 3. 43:
 Rezultate të nxitimeve (m/s<sup>2</sup>) të strukturës 10 Kate, Tip BOKS

Tabela 3. 44: Rezultate të zhvendosjeve të kateve (cm) të strukturës 10 Kate, Tip BOKS

Kati	Struktura fiks Modeli	me bazë se 1 (SF)	Struktura e izoluar në bazë Modeli 2 (SIB)		Strukt izoluar 1 Modeli 3	ura e në mes (SIM)	Rap SIM	orti /SIB	
	Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y	
Baza 0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Baza 0'	0	0	11.68	11.56	0	0	0	0	
Kati 1	0.08	0.11	11 72	11.62	0.04	0.04	0.00	0.00	
Kati 1'	0.00	0.11	11.72	11.02	0.04	0.04	0.00	0.00	
Kati 2	0.22	0.27	11.77	11.68	0.10	0.09	0.01	0.01	
Kati 3	0.39	0.45	11.82	11.74	0.15	0.14	0.01	0.01	
Kati 4	0.56	0.64	11.87	11.80	0.19	0.18	0.02	0.02	
Kati 5	0.74	0.85	11 02	11.86	0.21	0.19	0.02	0.02	
Kati 5'	0.74	0.05	11.72	11.00	11.31	11.33			
Kati 6	0.93	1.06	11.97	11.92	11.34	11.38	0.95	0.95	
Kati 7	1.11	1.27	12.02	11.98	11.37	11.43	0.95	0.95	
Kati 8	1.27	1.46	12.06	12.03	11.40	11.48	0.95	0.95	
Kati 9	1.42	1.64	12.10	12.09	11.42	11.53	0.94	0.95	
Kati 10	1.54	1.80	12.13	12.14	11.44	11.58	0.94	0.95	

Kati	Kati Struktura me bazë Struktura e iz fikse në bazë Modeli 1 (SF) Modeli 2 (S		a e izoluar bazë 2 (SIB)	oluar Struktura e izoluar në mes IB) Modeli 3 (SIM)			Raporti SIM/SIB			
	Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y		
Baza 0'	0	0	11.68*	11.56*	0	0				
Kati 1	0.08	0.11	0.04	0.06	0.04	0.04	1.0	0.7		
Kati 1'	0.08	0.11	0.04	0.00	0.04	0.04	1.0	0.7		
Kati 2	0.14	0.16	0.05	0.06	0.06	0.05	1.2	0.8		
Kati 3	0.17	0.18	0.05	0.06	0.06	0.05	1.2	0.8		
Kati 4	0.17	0.19	0.05	0.06	0.04	0.04	0.8	0.7		
Kati 5	0.18	0.21	0.05	0.05	0.05	0.06	0.02	0.01	0.4	0.2
Kati 5'	0.16	0.21				0.00	11.1*	11.14*		
Kati 6	0.19	0.21	0.05	0.06	0.03	0.05	0.6	0.8		
Kati 7	0.18	0.21	0.05	0.06	0.03	0.05	0.6	0.8		
Kati 8	0.16	0.19	0.04	0.05	0.03	0.05	0.8	1.0		
Kati 9	0.15	0.18	0.04	0.06	0.02	0.05	0.5	0.8		
Kati 10	0.12	0.16	0.03	0.05	0.02	0.05	0.7	1.0		

Tabela 3. 45: Rezultate të deformimeve (Drifte) të kateve (cm) të strukturës 10 Kate, Tip BOKS

 Tabela 3. 46:
 Rezultate të reagimit të forcave të strukturës 10 Kate, Tip BOKS

Parametri	Pozicioni	Struktura me bazë fikse Modeli 1 (SF)		Struktura e izoluar në bazë Modeli 2 (SIB)		Struktura e izoluar në mes Modeli 3 (SIM)		Raporti SIM/SIB	
		Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y	Në X	Në Y
Forca Prerëse	Në përdhe (EL1)	94	134	11	8.7	51	50.7	4.64	5.83
(kN)	Në tarracë (EL2)	19	14	8.4	2.4	4.8	2.7	0.57	1.13
Momenti në Tra (kNm)	Në përdhe (EL3-EL5)	53	57	13	13	26.5	18.3	2.04	1.41
	Në tarracë (EL4-EL6)	8	13	13.5	9.8	6.4	2.2	0.47	0.22
Forca Prerëse në Bazë (kN)	Përdhe	11170	11650	2390	2370	5860	4400	2.45	1.86
Sforcimet në	Vertikale	6005	7500	1300	1200	1800	1700	1.38	1.42
$(kN/m^2)$	Horizontale	1500	1600	700	600	800	700	1.14	1.17

<sup>\*</sup> Deformimet e izolatorëve

Për të gjitha figurat e mëposhtme legjenda e përdorur është:



Figura 3. 70: Reagimi në kohë i nxitimeve: a) për pikën 1'; b) për pikën 5



Figura 3. 71: Reagimi në kohë i nxitimeve: a) për pikën 5'; b) për pikën 10



Figura 3. 72: Reagimi në kohë i zhvendosjeve sipas drejtimit X: a) për pikën 1'; b) për pikën 5



Figura 3. 73: Reagimi në kohë i zhvendosjeve sipas drejtimit X: a) për pikën 5'; b) për pikën 10







Figura 3. 75: Reagimi në kohë i forcave prerëse në kollona sipas drejtimit X: a) forca prerëse në elementin EL - 1; b) forca prerëse në elementin EL - 2



Figura 3. 76: Reagimi në kohë i forcës prerëse në bazë sipas drejtimit X



Figura 3. 77: Sjellja histeretike e izolatorëve sipas drejtimit X: a) 1(5) (akset A-1), b) 3(7) (akset B-2)

Në bazë të rezultateve të reagimit sizmik të tre modeleve të realizuara (SF, SIB dhe SIM) vlen të përmendim konkluzionet e mëposhtme:

Nxitimet, për strukturën e izoluar në bazë, konstatohet se janë reduktuar për të gjitha katet me rreth 4 herë kundrejt strukturës me bazë fikse, kurse për strukturën e izoluar në mes, nxitimet e kateve 1 deri në 5, janë zmadhuar kundrejt strukturës me bazë fikse, ndërkohë që për katet 6 deri në 10, janë reduktuar rreth 2 herë në krahasim me strukturën e izoluar në bazë, apo rreth 8 herë kundrejt strukturës me bazë fikse. Kjo tregon që në rast se interesi i projektimit do të ishte reduktimi i nxitimeve të kateve të sipërm, atëherë këtij qëllimi do t'i shërbente më mirë izolimi në mes se sa izolimi në bazë.

Zhvendosjet e të gjithë kateve të strukturës së izoluar në bazë janë shumë më të mëdha në krahasim me strukturën me bazë fikse, por këto zhvendosje vijnë si rezultat i deformimit të izolatorëve. Për strukturën e izoluar në mes, zhvendosjet në katet 1 deri në 5 janë rreth 3 herë më të vogla se zhvendosjet e strukturës me bazë fikse, ndërkohë që për katet 6 deri në 10, janë pothuajse të njëjta me zhvendosjet e kateve të strukturës së izoluar në bazë. Kjo vjen si rezultat i faktit që në të dy sistemet e izoluar, zhvendosjet janë kryesisht kontribut i deformimeve të izolatorit dhe jo i deformimeve të elementëve strukturorë. Përderisa izolatorët e secilës strukturë u projektuan me deformim maksimal të njëjtë atëherë kjo sjell edhe faktin që me madhësinë e deformimit të izolatorëve zhvendosen të gjitha katet e strukturës së izoluar në bazë, sikundër për strukturën e izoluar në mes zhvendosen katet prej të gjashtit deri në të dhjetin. Këtu vlen të përmendim kujdesin që duhet kushtuar efektit të jashtëqendërsisë së forcave normale që vijnë nga katet mbi sistemin izolues, për t'u transmetuar në strukturën nën sistemin izolues. Në rastin e strukturës së izoluar në bazë, nënstruktura është thjesht themeli.

Deformimet e të gjithë kateve të të dy strukturave të izoluara janë rreth 3 deri në 4 herë më të vogla se deformimet përkatëse të strukturës me bazë fikse. Ndërkohë që prej raportit të deformimeve midis strukturës së izoluar në mes dhe asaj të izoluar në bazë, konstatohet se për kalimin nga kati i parë tek i pesti deformimet janë thuajse të njëjta, kurse pothuajse për secilin kat prej të gjashtit deri në të dhjetin, reduktimi me i madh i deformimeve ka ndodhur në strukturën e izoluar në mes. Kjo tregon që ndikimi i formave të larta të lëkundjeve në deformimet e strukturës (sigurisht dhe në tërë reagimin sizmik të saj) ndikojnë më shumë në strukturën e izoluar në bazë krahasimisht strukturës së izoluar në mes. Pra me ndryshimin e

pozicionit të sistemit izolues prej katit përdhe drejt kateve të sipërm, ndikimi i formave të larta të lëkundjeve në katet mbi nivelin izolues bëhet më pak i ndjeshëm.

Forcat prerëse, kundrejt sistemit me bazë fikse, për kollonat e katit përdhe, janë reduktuar rreth 10 herë për strukturën e izoluar në bazë, dhe rreth 3 herë për strukturën e izoluar në mes. Për kollonat e katit të kryes, reduktimet janë rreth 3 herë për të dy strukturat e izoluara.

Momentet përkulës në trarë për strukturën e izoluar në bazë janë reduktuar rreth 4 herë, kurse për strukturën e izoluar në mes rreth 2 herë kundrejt asaj me bazë fikse. Momentet përkulës të trarëve të katit të kryes reduktohen vetëm në rastin e strukturës së izoluar në mes, me rreth 3 herë.

Pra në mënyrë të përmbledhur konstatohet se reduktimi i forcave të brendshme në elementët strukturorë, kollona dhe trarë, është arritur në mënyrë të konsiderueshme edhe me izolimin e vetëm pesë kateve të kryes të strukturës (rasti SIM).

Forcat prerëse në bazë reduktohen rreth 5 herë për strukturën e izoluar në bazë dhe rreth 2.5 herë për strukturën e izoluar në mes, kundrejt strukturës me bazë fikse.

Sforcimet vertikale në murin betonarme në katin e parë, janë reduktuar rreth 5 herë për strukturën e izoluar në bazë dhe rreth 3.5 herë për strukturën e izoluar në mes, kundrejt strukturës me bazë fikse. Ndërkohë që sforcimet horizontale, janë reduktuar rreth 2 herë thuajse për të dy strukturat e izoluara, kundrejt strukturës me bazë fikse.

Nëpërmjet spostimit të nivelit të izolimit drejt kateve të sipërm, ndryshojnë karakteristikat e nevojshme të izolatorëve që duhen përdorur (izolatorët nevojiten më të vegjël, dhe sigurisht me kosto më të ulët). Në rastin e shqyrtuar, karakteristikat e izolatorëve të përdorur në mes, janë në funksion të izolimit të vetëm pesë kateve mbi ta dhe karakteristikat e tyre u zgjodhën të njëjta me ato të strukturës tip BOKS (seksioni 3.3). Kurse në strukturën e izoluar në bazë izolatorët kanë karakteristika që duhet t'u përgjigjen izolimit të dhjetë kateve që ndodhen mbi to. Kjo tregon që duke konsideruar të gjithë faktorët, gjatë projektimit ka vend për të kërkuar optimizimin e përdorimit të izolimit sizmik edhe nga pikëpamja e përzgjedhjes së nivelit të izolimit.

Duke përmbledhur këto konkluzione mund të themi se niveli i izolimit sizmik mund të jetë jo vetëm në katin përdhe por edhe në katet e sipërme. Përzgjedhja e këtij niveli varet nga disa faktorë, siç mund të përmendim:

- 1. Qëllimin e izolimit sizmik, referuar parametrave që nevojiten të reduktohen sipas kateve;
- 2. Funksionin e ndërtesës, duke konsideruar ndjeshmërinë e pajisjeve teknologjike apo sigurinë e izolatorëve ndaj agjentëve të ndryshëm natyrorë apo teknologjikë;
- 3. Parregullsinë strukturore të objektit në lartësi, në rastet kur nevojitet ndërprerja e elementëve strukturorë me ngurtësi të madhe (mure betonarme);
- 4. Parregullsinë e planimetrive të kateve. Izolimi mund të përdoret për ndarjen e pjesëve të parregullta nga njëra tjetra, me instalimin e izolatorëve në nivelin ku shfaqet kjo parregullsi.

# 3.6 Aplikimi i Izolimit në Bazë në Objekt Ekzistues

Duke pasur parasysh nevojën e vazhdueshme për përforcimin e objekteve ekzistuese për arsye të ndryshme si: riaftësimi i aftësise mbajtëse të degraduar prej moshës, përmirësimi i aftësive mbajtëse apo rivlerësimi në përputhje me nivelin aktual të kushteve të projektimit të cilët përgjithësisht synojnë rritjen e kapaciteteve mbajtëse të strukturave ekzistuese, ekzistojnë mënyra të ndryshme për përforcimin e strukturave ekzistuese.

Eksperienca të shumta ekzistojnë për arritjen e këtij qëllimi. Shpesh ekzistojnë alternativa të ndryshme për përforcimin e strukturave ekzistuese. Përzgjedhja e variantit më të përshtatshëm varet nga shumë faktorë. Secili nga variantet ka anët pozitive dhe negative për t'u aplikuar. Këto varen nga mënyrat e realizimit, karakteristikat që mund t'i modifikohen strukturës prej tyre, ndërhyrja në tipologjinë e objektit, harmonizimi në anën funksionale, arkitekonike, koha dhe kostoja e aplikimit etj. Në raste të caktuara metoda e izolimit në bazë mund të jetë më e pranueshme kundrejt alternativave të tjera.

Për të analizuar efektet e izolimit sizmik në përforcimin e strukturave ekzistuese kemi përzgjedhur një strukturë betoni të armuar tip ramë të ndërtuar në vendin tonë rreth viteve 1970. Konstatohet se strukturat e ndërtuara në këto vite janë projektuar pa kushte teknike antisizmike. Për këtë arsye ato paraqiten me mangësi të ndryshme për të përballuar efektet sizmike që parashikojnë kushtet aktuale sizmike, veçanërisht kushtet e kërkuara nga Eurokodet. Një strukturë tipike e ndërtuar në këto vite është ish-"Markato Qendrore", Berat. Në Figurën 3.78 paraqiten pamja kryesore e këtij objekti, prerja dhe planet e tij.



Figura 3. 78: Pamja, prerja dhe planet e ish- "Markatos Qendrore", Berat

# 3.6.1 Përshkrim i përgjithshëm i strukturës së ish – "Markatos Qendrore", Berat

Objekti është ndërtuar në vitet '70 për t'u përdorur si Markato Qendrore e qytetit të Beratit. Në vitin 2013 objekti pothuajse është i papërdorshëm për shkak të dëmtimeve që ka pësuar. Bashkia e qytetit në bashkëpunim me investitorë privat, kërkoi realizimin e një projekti restaurimi dhe ripërdorim në funksionin e një qendre tregtare. Sipas detyrës së projektimit kërkohej dhe shtesë e gjysëm - kati mbi strukturën ekzistuese. Për realizimin e projektit të kërkuar u arrit në përfundimin se struktura ekzistuese ka nevojë të përforcohet, duke u bazuar në kushtet aktuale të projektimit.

Struktura ekzistuese e këtij objekti është një ramë betonarme 2 - katëshe e përbërë nga plinta, kollona, trarë dhe soleta monolite. Për evidentimin e gjendjes aktuale të objektit u realizua inspektimi i elementëve strukturorë, marrja e kampioneve dhe analiza laboratorike e tyre. Në bazë të analizave të kryera nga laboratori "AlbConsult 2" u përcaktuan karakteristikat e betonit dhe të çelikut. Hekuri i përdorur në objekt është çelik Ç - 3 me resistencë llogaritëse R = 2100 daN/cm<sup>2</sup> dhe rezistencë rrjedhshmërie  $f_s = 3000 \text{ daN/cm}^2$ . Klasa e betonit për plinta është C 12/15, për kollonat e katit përdhe C 25/30, për kollonat e katit të parë C 20/25, për trarët dhe soletën e katit përdhe C 30/37 dhe për trarët dhe soletën e katit të parë C 25/30. U matën dimensionet dhe u evidentuan armimet ekzistuese të elementëve konstruktivë të strukturës.

Nga analiza dhe llogaritja e sistemit strukturor të objektit ekzistues konstatohet se struktura nuk plotëson kushtet sizmike të projektimit. Për realizimin e shtesës së katit të porositur nga investitori, situata e strukturës ekzistuese bëhet edhe më e përkeqësuar. Arrihet në konkluzionin se struktura e këtij objekti për të arritur standartet aktuale të projektimit duhet të përforcohet, pavarësisht shtesës së katit. Nevoja për përforcim konsiston kryesisht në përballimin e forcave horizontale sizmike. Kështu soletat nuk kanë nevojë të përforcohen, trarët mund të mos jetë e nevojshme të përforcohen nëse realizohet përforcimi i elementëve vertikal me synimin që të përballojnë forcat sizmike pa qenë nevoja e kontributit të trarëve për këto forca.

# 3.6.2 Skemat llogaritëse dhe ngarkesat e aplikuara

Analiza strukturore e objektit është bërë duke u bazuar në kushtet teknike të Eurokodit. Kështu ngarkesat e aplikuara janë:

- Ngarkesat e përhershme
  - Shtresat dhe suvaja,  $g = 180 \text{ daN/m}^2$
  - Mure tulle ndarëse 12 cm me suva, g = 850 daN/m
  - Mure ndarëse 20 cm me suva, g = 1275 daN/m
  - Pesha vetjake (trarë, soletë, kollonë), për betonet,  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- Ngarkesat e përkohshme
  - Lokale dhe magazina,  $p = 500 \text{ daN/m}^2$
  - Shkallë dhe ballkone,  $p = 390 \text{ daN/m}^2$
  - Tarraca,  $p = 200 \text{ daN/m}^2$

• Ngarkesa sizmike, bazuar në spektrin e reagimit sipas Eurokodit, ku trualli është kategoria B me PGA = 0.22g, tipi i spektrit është Tip 1. Për modelet me bazë fikse faktori i sjelljes është q = 2.5 dhe shuarja  $\eta = 5\%$  kurse për modelet me bazë të izoluar q = 1.5 dhe shuarja  $\eta = 15\%$ .

Duke përdorur metodat e analizës modale për modelin tre dimensional janë pranuar CQC për kombinimin e modeve si dhe SRSS për kombinimin e drejtimeve ortogonale të spektrit (veprimi sizmik është aplikuar në të dy drejtimet X, Y në strukturë).

Duke përdorur programin llogaritës SAP2000 janë analizuar gjithsej katër modele të strukturës.

- Modeli 1: Struktura ekzistuese
- Modeli 2: Struktura me gjysëm kati shtesë
- Modeli 3: Struktura e përforcuar me mure betonarme
- Modeli 4: Struktura me izolim sizmik.

## 3.6.3 Të dhënat e strukturave për modelet e analizuara

## a) Modeli 1: Struktura ekzistuese

Dimensionet e kollonave të katit përdhe janë 40 x 40 cm, kurse të katit të parë 30 x 30 cm.



Figura 3. 79: Strukturat e objektit ekzistues





Figura 3. 80: Strukturat e objektit me gjysëm - kati shtesë

Meqënëse në zonën midis akseve 3, 5 dhe C, F kërkohet shtesë e një kati, atëherë dimensionet e kollonave të kësaj zone zmadhohen për katin përdhe nga 40 x 40 cm në 50 x 50 cm, kurse për katin e parë nga 30 x 30 cm në 40 x 40 cm.

#### c) Modeli 3: Struktura e përforcuar me mure betonarme

Meqënëse nga analiza e Modeleve 1 dhe 2 konstatohet se struktura e këtij objekti duhet të përforcohet për të arritur standartet e projektimit, pavarësisht shtesës së katit, këtu përcaktohen dy modele të tjera (të cilët konsiderojnë edhe shtesën e katit).

Modeli 3 konsiston në rritjen e aftësisë mbajtëse të strukturës nëpërmjet ndërtimit të mureve betonarme. Meqënëse nevoja e përforcimit është për të përballuar forcat horizontale sizmike janë realizuar disa variante me pozicione të ndryshme të mureve ndër të cilët përmendim:

Varianti 1: mure në perimetër

Varianti 2: kombinim i mureve në perimetër dhe në qendër

Varianti 3: kontraventime në disa kampata të perimetrit

Secili nga këta variante, përveç vështirësive të zbatimit nuk arrin të reduktojë forcat për të eleminuar nevojën e përforcimit të elementëve ekzistues strukturorë, të cilët nuk ishin pjesë e elementëve shtesë. Me variantin e pranuar, titulluar Modeli 3, arrihet të reduktohen forcat deri në kapacitetin mbajtës ekzistues të elementëve strukturorë që nuk përfshihen në zonën e mureve të shtuar. Modeli 3 përfaqëson një skemë konstruktive mikse prej betoni të armuar me kollona dhe trarë të kombinuar me mure betonarme siç tregohet në Figurën 3.81:



Figura 3. 81: Strukturat e objektit të përforcuar me mure betonarme

Përqëndrimi i ngurtësisë së strukturës në zonën qendrore krijon mundësinë që forcat sizmike të përballohen nga këta mure të lidhur me harqe betoni të armuar. Kjo skemë konstruktive garanton të gjithë elementët e tjerë, pa qenë nevoja e përforcimit të tyre (plinta, kollona dhe trarë). Përforcimi konsiston:

- Në zonën e përforcuar, themelet zgjidhen të tipeve trarë themeli me lartësi 100 cm, të cilët realizohen si mbështjellës të plintave ekzistues.
- Përforcimi i kollonave me mure betonarme është bërë me armim të kombinuar profile çeliku dhe hekur të zakonshëm - me qëllimin e realizimit sa më të mirë të vazhdueshmërisë në nyje midis kateve.
- Përforcimi i trarëve të kësaj zone bëhet me shtesë seksioni dhe armimi.

#### d) Modeli 4: Struktura me izolim sizmik

Për të analizuar efektivitetin e izolimit sizmik në një situatë reale si në rastin e këtij objekti që kërkon domosdoshmërinë e përforcimit sizmik, ky model është përzgjedhur midis disa varianteve të analizuara ndër të cilët përmendim:

Varianti 1: ku sistemi izolues vendoset në fund të kollonave të katit përdhe

Varianti 2: ku sistemi izolues vendoset në krye të kollonave të katit përdhe

Këto dy variante nuk arrijnë të eleminojnë nevojën e përforcimit të kollonave ekzistuese (pasi kollonat në këto variante kanë momente të mëdha). Varianti i parë kërkonte dhe përforcimin e nyjeve dhe të trarëve në mbështetje. Varianti i dytë kërkonte dhe përforcimin e themeleve (për shkak të momenteve të mëdha që transmetojnë kollonat në to). Kurse varianti i pranuar, i titulluar Modeli 4 tregohet në figurën më poshtë:



Figura 3. 82: Struktura e objektit me izolim sizmik

Ky variant konsiston në vendosjen e izolatorëve në mesin e lartësisë së kollonave të katit përdhe. Meqënëse në zonën midis akseve 3, 5 dhe C, F kërkohet shtesë e një kati, atëherë dimensionet e kollonave të kësaj zone zmadhohen njësoj si në rastin e Modelit 2.

Realizimi i lighjeve të kollonave të perimetrit bëhet me profile metalike poshtë dhe sipër secilit izolator. Për llogaritjen e karakteristikave të izolatorëve, përdoret procedura e përshkruar në seksionin 3.3.4. Me qëllimin e tipizimit të tyre prej forcave vertikale të shkaktuara nga ngarkesat sizmike janë konsideruar tre tipe izolatorësh të paraqitur në Figurën 3.83, forcat vertikale llogaritëse të të cilëve janë:

 $Iz - 1: N_1 = 2500 \text{ kN}, Iz - 2: N_1 = 1200 \text{ kN}, Iz - 3: N_1 = 400 \text{ kN}$ 



Figura 3. 83: Plani vendosjes së izolatorëve sipas tipeve

Duke pranuar T = 3.5 s, D = 0.15 m,  $\beta$  = 15%, r = 0.2 në tabelën e mëposhtme jepen karakteristikat e izolatorëve:

Ia	K <sub>eff</sub>	F	$K_1 = 5 K_2$	<b>K</b> <sub>2</sub>	Dy	Fy	Ngurtësia vertikale, K
IZ	(kN/m)	(kN)	(kN/m)	(kN/m)	(m)	(kN)	(kN/m)
1	821	31.8	3047	610	1.3	39.7	304700
2	394	15.2	1463	292	1.3	19.1	146300
3	132	5.1	488	98	1.3	6.35	48800

 Tabela 3. 47: Karakteristikat e izolatorëve

#### 3.6.4 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre

Në Figurën 3.84 jepet paraqitja skematike e pozicionit të nyjeve të përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike dhe emërtimet e elementëve, për modelet e studiuara.



- Figura 3. 84: Pozicioni i nyjeve të përzgjedhura dhe emërtimi i elementeve për prezantimin e reagimeve sizmike; a) rasti pa izolim sizmik (Modelet 1, 2 dhe 3), b) rasti me izolim sizmik (Modeli 4)
  - a) Modeli 1:

Periodat e lëkundjeve për tre format e para janë:  $T_1 = 1.52$  s,  $T_2 = 1.51$  s dhe  $T_3 = 1.30$  s.

Parametri	Drejtimi X (cm)	Drejtimi Y(cm)
Zhvendosjet U <sub>1</sub> , nyja 1	4.5	4.5
Zhvendosjet U1, nyja 2	6.1	6.14
Deformimi i katit përdhe	4.5	4.5
Deformimi i katit 1	1.6	1.64
Forca prerëse EL 1 (kN)	158	150
Forca prerëse EL 2 (kN)	50	55
Momenti përkulës EL 1 (kN/m)	460	490
Momenti përkulës EL 2 (kN/m)	116	107
Forca prerëse në bazë (kN)	5040	5060

Tabela 3. 48: Rezultatet e reagimit sizmik të Modelit 1

Armimi i kërkuar i kollonave tejkalon maksimumin e lejuar.

Për të vlerësuar nivelin e kapacitetit mbajtës të strukturës ekzistuese u krye analizimi i këtij modeli për vlera më të ulëta të veprimit sizmik dhe u gjet që struktura përballon vetëm veprimet sizmike për PGA  $\leq 0.04$ g.

b) Modeli 2:

Periodat e lëkundjeve për tre format e para janë:  $T_1 = 1.34$  s,  $T_2 = 1.32$  s dhe  $T_3 = 1.24$  s.

Parametri	Drejtimi X (cm)	Drejtimi Y(cm)
Zhvendosjet U1, nyja 1	3.94	3.94
Zhvendosjet U <sub>1</sub> , nyja 2	5.43	5.48
Deformimi i katit përdhe	3.94	3.94
Deformimi i katit 1	1.49	1.54
Forca prerëse EL 1 (kN)	133	139
Forca prerëse EL 2 (kN)	48	54
Momenti përkulës EL 1 (kN/m)	435	408
Momenti përkulës EL 2 (kN/m)	114	102
Forca prerëse në bazë (kN)	6355	6483

 Tabela 3. 49: Rezultatet e reagimit sizmik të Modelit 2

Armimi i kërkuar i kollonave tejkalon maksimumin e lejuar.

c) Modeli 3:

Periodat e lëkundjeve për tre format e para janë:  $T_1 = 0.46$  s "y",  $T_2 = 0.40$  s "përdredhje",  $T_3 = 0.30$  s "x".

Tabela 3. 50:	Rezultatet e	reagimit	sizmik	të Modelit 3
---------------	--------------	----------	--------	--------------

Parametri	Drejtimi X (cm)	Drejtimi Y (cm)
Zhvendosjet U <sub>1</sub> , nyja 1	0.22	0.71
Zhvendosjet U <sub>1</sub> , nyja 2	0.62	1.52
Deformimi i katit përdhe	0.22	0.71
Deformimi i katit 1	0.40	0.81
Forca prerëse EL 1 (kN)	23	29
Forca prerëse EL 2 (kN)	30	31
Momenti përkulës EL 1 (kN/m)	97	86
Momenti përkulës EL 2 (kN/m)	67	65
Forca prerëse në bazë (kN)	10420	12820

Armimi i kollonës ekzistuese mjafton pa ndërhyrje përforcuese të saj. Kështu ndodh në të gjitha kollonat dhe trarët ekzistues. Pra ky model përforcimi, realizon ndërhyrje vetëm në një zonë të

strukturës duke siguruar dhe mjaftueshmërinë e kapacitetit mbajtës të elementëve të tjerë konstruktiv. Si i tillë ky model u pranua si variant për t'u zbatuar.

#### d) Modeli 4:

Periodat e lëkundjeve për tre format e para janë:  $T_1 = 3.91$  s,  $T_2 = 3.90$  s,  $T_3 = 3.70$  s.

Parametri	Drejtimi X (cm)	Drejtimi Y (cm)
Zhvendosjet U <sub>1</sub> , nyja 0	0.46	0.43
Zhvendosjet U <sub>1</sub> , nyja 0'	9.0	8.5
Zhvendosjet U <sub>1</sub> , nyja 1	9.1	9.1
Zhvendosjet U <sub>1</sub> , nyja 2	9.17	9.26
Deformimi nën izolator, kati përdhe	0.46	0.43
Deformimi mbi izolator, kati përdhe	0.1	0.6
Deformimi i katit 1	0.07	0.16
Forca prerëse EL 1 (kN)	34	31
Forca prerëse EL 1' (kN)	33	47
Forca prerëse EL 2 (kN)	35	20
Momenti përkulës EL 1 (kN/m)	96	102
Momenti përkulës EL 1' (kN/m)	110	103
Momenti përkulës EL 2 (kN/m)	40	75
Forca prerëse në bazë (kN)	1695	1700

Tabela 3. 51: Rezultatet e reagimit sizmik të Modelit 4

Nga krahasimi i dy mënyrave të përforcimit të strukturës, e para sipas Modelit 3 që përfaqëson përforcimin tradicional me rritjen e ngurtësisë nëpërmjet shtimit të mureve betonarme dhe e dyta sipas Modelit 4 që përfaqëson izolimin sizmik nëpërmjet izolatorëve prej gome, theksojmë se është arritur që në elementët strukturorë të paprekur nga përforcimi (siç janë kollonat e përfaqësuara nga elementi 1 dhe 2), të kemi rezultate thuajse të njëjta të forcave të brendshme, midis dy modeleve. Ndërkohë, prej krahasimit të forcave prerëse në bazë, konstatojmë se në rastin e izolimit sizmik ato janë rreth 6.5 herë më të vogla. Këto vlera të mëdha të forcave prerëse në bazë në Modelin 3 përballohen kryesisht nga muret betonarme të shtuar, kurse me reduktimin e forcave prerëse në bazë në Modelin 4, nuk është nevoja që të përforcojmë elementët ekzistues, pasi ato janë në gjendje të përballojnë këto nivele të ulëta të forcave.

Për secilin prej modeleve të mësipërm, në Figurën 3.85, paraqiten skematikisht format e deformimit të strukturave prej veprimit sizmik.



Figura 3. 85: Paraqitje skematike e formave të deformimit të strukturave prej veprimit sizmik

Prej figurës së mësipërme vëmë re që struktura ekzistuese apo struktura me shtesë 1/2 kat në gjendjen e papërforcuar (Modeli 1 dhe 2), pësojnë deformime të mëdha të elementëve strukturorë.

Struktura e përforcuar me mure betoni të armuar (Modeli 3) i ka të reduktuara deformimet e elementëve strukturorë siç duken në figurën më lart dhe në Tabelën 3.50, por ndërkohë prej vlerave të mëdha të nxitimeve ajo pëson forca të mëdha në elementët strukturorë. Sigurisht këto forca do të përballohen nga elementët strukturorë në funksion të raportit të ngurtësive që ata kanë midis tyre, ashtu si u konstatua që elementët ekzistues të papërforcuar do të përballojnë aq sa kanë kapacitetin, kurse forcat e shtuara do të përballohen nga elementët konstruktivë të shtuar dhe të përforcuar.

Struktura e izoluar në bazë (Modeli 4) i ka të reduktuara deformimet e elementëve strukturorë siç duken në figurë dhe në Tabelën 3.51, pasi deformimet e kërkuara gjatë reagimit sizmik realizohen në izolatorë. Ndërkohë prej vlerave të vogla të nxitimeve ajo pëson forca të vogla në elementët strukturorë duke u arritur që këto forca do të përballohen nga elementët strukturorë ekzistues.

Nga rezultatet e analizave nxjerrim këto konkluzione kryesore:

Objekti ekzistues (si përfaqësues i objekteve të këtij lloji, i ndërtuar në vendin tonë rreth viteve 1970) nuk plotëson standartet aktuale sizmike të projektimit dhe e ka të nevojshëm përforcimin.

Shumica e elementëve horizontalë (trarë dhe soleta) të këtyre strukturave betonarme kanë dimensione dhe armim të përafërt me mënyrat e kushteve të sotme, kurse elementët vertikale (kollonat) nuk plotësojnë as nevojat e ngurtësisë së strukturës (duke mos kënaqur kushtet e zhvendosjeve dhe deformimet e kateve) si dhe kanë detajet e armimit jashtë kërkesave sizmike.

Përforcimi i këtyre strukturave duhet të konsistojë në rritjen e dimensioneve (rritjen e ngurtësisë) dhe shtimin e armimit të elementëve vertikalë si dhe detajimet e nevojshme për realizimin e nivelit të pranuar të duktilitetit.

Alternativa e izolimit sizmik të këtyre strukturave është shumë efikase pasi ajo redukton shumë herë forcat vepruese sizmike në elementët ekzistues strukturorë duke mos qenë nevoja e përforcimit të tyre dhe nuk kërkon detajime për rritjen e duktilitetit të tyre (pasi duktiliteti i kërkuar është pranë ose dhe më i vogël se duktiliteti i poseduar i tyre). Me këtë metodë eleminohen dhe ndërhyrjet në themelet ekzistuese.

Nëse teknologjia e izolimit në bazë krijon eksperiencën e tregut dhe njohjen nga investitorët e fushës atëherë ajo do të bëhej edhe më e përshtatshme për t'u aplikuar masivisht.

Në analizën e kostove, izolimi sizmik për përforcimin e këtyre tipeve objektesh paraqitet efektiv. Kostoja totale për realizimin e Modelit 3 është afërsisht 100000 euro kurse për Modelin 4 mund të reduktohet në 80000 euro.

# **KAPITULLI 4**

# ANALIZA DINAMIKE DHE SIZMIKE E URAVE TË IZOLUARA NË BAZË

# 4.1 Bazat Teorike të Analizës Lineare Sizmike të Urave të Izoluara<sup>1</sup>

Teoria lineare e analizës së reagimit të urave të zakonshme apo të izoluara është në përputhje të të gjitha strukturave. E veçanta e strukturës së urës rrjedh prej specifikës së shpërndarjes së ngurtësive dhe të masave të elementëve përbërës (nënstruktura, mbistruktura, izolatori).

Objektivi kryesor i izolimit sizmik të urave është mbrojtja e pilave dhe themeleve dhe në disa raste edhe të ballnave (Skinner, 1993). Kjo arrihet duke vendosur sistemin izolues midis mbistrukturës dhe elementëve të përmendur më sipër. Me izolimin e mbistrukturës, nënstruktura nuk është e izoluar prej lëvizjeve të tokës por ndahet prej masës relativisht të madhe të mbistrukturës. Efekti i izolimit sizmik të urës mund të analizohet nëpërmjet idealizimit të strukturës me masa të përqëndruara  $m_1$  dhe  $m_2$  të cilat përfaqësojnë përkatësisht masën e nënstrukturës dhe të mbistrukturës, ngurtësi elastike lineare të nënstrukturës,  $k_1$  dhe ngurtësi elastike lineare të izolatorit,  $k_2$ . Secila nga masat pëson zhvendosjet sipas shkallëve të lirisë  $u_1$  dhe  $u_2$  siç tregohet në Figurën 4.1 më poshtë:



Figura 4. 1: Skema e idealizuar e urës së izoluar

Matricat e masës dhe të ngurtësisë për këtë sistem janë:

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0\\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \qquad [k] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2\\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix}$$

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> M. Eröz, 2007

Ekuacioni i lëkundjeve të lira pa shuarje:

$$[m]{\ddot{u}} + [k]{u} = \{0\}$$

ku  $u_j = A_j \sin(\omega t + \varphi)$ , për j = 1 ÷ 2.

Ekuacioni i frekuencave është:

$$|[k] - \omega^2[m]| = 0$$

Nga zbërthimi i tij përfitohet polinomi i rendit të dytë të frekuencës si më poshtë:

$$m_1m_2 \cdot \omega^4 + (-k_1m_2 - k_2m_2 - k_2m_1) \cdot \omega^2 + k_1k_2 = 0$$

Nga zgjidhja e të cilit gjenden frekuencat natyrore  $\omega_1$  dhe  $\omega_2$ .

Me vlerat e gjetura të frekuencave llogariten periodat e lëkundjeve me shprehjen:

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i}$$

Për të dalluar ndikimin e raportit të ngurtësive të izolatorit kundrejt nënstrukturës në vlerën e periodave të lëkundjes, do të supozojmë një sistem me masa  $m_1 = 70$  ton, dhe  $m_2 = 18$  ton dhe ngurtësi të nënstrukturës  $k_1 = 28020$  kN/m. Për këtë rast shprehim varësinë e periodave  $T_1$  dhe  $T_2$  në funksion të raportit të ngurtësive  $k_2/k_1$ . Këtë varësi grafikisht e paraqesim në Figurën 4.2:



**Figura 4. 2:** Perioda e parë modale strukturore,  $T_1$  dhe perioda e dytë  $T_2$ , si funksion i raportit  $k_2 / k_1$  ( $m_1 = 70$  ton,  $m_2 = 18$  ton dhe  $k_1 = 28020$  kN/m)

Prej këtij grafiku dallohet që për vlerat e raportit  $k_2/k_1 < 0.1$ , perioda e parë e lëkundjes rritet në mënyrë të ndjeshme, kurse perioda e dytë pothuajse nuk ndryshon. Kështu me anë të izolimit sizmik, ku ngurtësia e izolatorit,  $k_2$ , është shumë më e vogël se ngurtësia e strukturës,  $k_1$ , arrihet lehtësisht rritja e periodës së parë të lëkundjeve duke mos ndikuar në periodat e tjera.

Për të theksuar ndikimin e izolimit sizmik në reagimin dinamik të urës do të konsiderojmë një urë me objektivin që me anë të izolimit të arrijmë rritjen e periodës së parë deri në tre herë kundrejt sistemit të paizoluar. Supozojmë se sistemi i paizoluar ka periodën e parë  $T_{1,fix} = 0.35$  sek dhe  $T_{2,fix} = 0.15$  sek. Për këtë sistem raporti  $k_2 / k_1 = 1$ . Për të arritur qëllimin me izolimin sizmik perioda  $T_{1, bi} = 3.0.35 = 1.05$  sek dhe  $T_{1, bi} = 0.15$  sek. Prej Figurës 4.2 më lart, për vlerën 1.05 sek të periodës së parë, nevojitet një raport ngurtësie  $k_2 / k_1 = 0.094$ . Pra, kjo strukturë kërkon izolatorë me ngurtësi  $k_2 = 0.094 k_1 = 0.094 \cdot 28020 = 2630 kN/m$ .

Për të studiuar format e lëkundjeve,  $\Phi_n$ , të sistemit duhet të zgjidhim sistemin e ekuacioneve:

$$\left[ [k] - \omega^2 [m] \right] \{ \Phi \} = 0$$

Nga zgjidhja e tij përfitohen dy format e lëkundjeve të cilat po i paraqesim në Figurën 4.3:



Figura 4. 3: Format e lëkundjeve; a) forma e parë, b) forma e dytë

Prej kësaj figure dallojmë që sipas formës së parë të lëkundjeve izolatori pëson deformim shumë më të madh krahasimisht deformimit të nënstrukturës. Sipas formës së dytë, deformimi i nënstrukturës është më i madh krahasimisht deformimit të izolatorit por ndikimi i kësaj forme në reagimin e strukturës është shumë i vogël për arsye të faktorit të ulët të pjesëmarrjes së tij.

Shpërndarja spektrale e forcave efektive të tërmetit përcaktohet nga barazimi:

$$s = \sum_{n=1}^{N} \Gamma_n [m] \phi_n$$

ku  $\Gamma_n = L_n/M_n$ ,  $L_n = \phi_n^T[m]\{i\}$ ,  $M_n = \phi_n^T[m]\phi_n$  dhe {i} është vektori i ndikimit.

Zbërthimi modal i këtyre forcave dhe reagimi statik modal i forcës prerëse në bazë,  $V_{bn}^{st}$ , dhe momentit në bazë,  $M_{bn}^{st}$ , për formën e  $n^{t\bar{e}}$  të lëkundjeve jepet në Figurën 4.4. Një koment i rëndësishëm për këto rezultate është që forcat sizmike totale janë afërsisht të njëjta me forcën sizmike prej formës së parë, kurse forcat e formës së dytë, janë të neglizhueshme. Kështu

reagimi i sipas formës së dytë i cili përfshin deformimet e strukturës, jep shumë pak kontribut në reagimin total të strukturës së izoluar ndaj tërmeteve.



Figura 4. 4: Zbërthimi modal i forcave efektive të tërmetit dhe reagimi statik modal në bazë; a) forma e parë, b) forma e dytë

Reagimi sizmik i strukturës në një çast kohe *t*, merret nga kombinimi i kontributeve të të gjitha formave të lëkundjeve:

$$r(t) = \sum_{n=1}^{N} r_n^{st} A_n(t)$$

ku  $r_n^{st}$  është reagimi modal statik,  $A_n(t) = \omega_n^2 D_n(t)$  është pseudo - nxitimi në fushën kohore dhe  $D_n(t)$  është zhvendosja, për formën e  $n^{t\bar{e}}$  të lëkundjeve.

### 4.2 Analiza Dinamike dhe Sizmike e Urave të Izoluara në Bazë

Për të krahasuar reagimin e urave ne do të analizojmë strukturën e një ure në tri kushte të ndryshme: modeli i parë është ura e zakonshme e pa izoluar, modeli i dytë është ura e izoluar me karakteristika të njëjta të izolatorëve dhe modeli i tretë është ura e izoluar me karakteristika të ndryshme të izolatorëve midis kollonave të shkurtra dhe të gjata. Analizat dinamike dhe reagimi sizmik i tre modeleve janë kryer duke përdorur programin kompjuterik SAP2000 sipas modelimit tridimensional dhe analizës jolineare në fushën e kohës. Izolatorët prej gome të armuar janë modeluar si elementë bilinearë.

#### 4.2.1 Të dhënat gjeometrike të strukturave

Ura e analizuar është një strukturë betonarme e vazhduar me 11 hapësira e mbështetur në 10 kollona dhe dy ballna me një distancë prej 33 m midis tyre. Të dhënat gjeometrike të strukturës së urës tregohen në Figurën 4.5a dhe 4.5b. Mbistruktura përbëhet nga trarë të paratensionuar dhe soleta e vazhduar.



Figura 4. 5: a) Skema gjatësore e strukturës, b) Skema tërthore e mbistrukturës

Kollonat janë me seksion tërthor drejtkëndor me përmasa 1 m x 4 m. Karakteristikat mekanike të materialit betonarme klasa C 25/30,  $E_c = 3.15 \times 10^7$  kPa,  $g_c = 24$  kN/m<sup>3</sup>.

#### 4.2.2 Ngarkesat e aplikuara

Për llogaritjen e parametrave dinamik dhe për analizën sizmike, në strukturë janë aplikuar ngarkesat e përhershme, të përkohshme dhe të tërmeteve.

Ngarkesa e tërmeteve është dhënë nëpërmjet akselerogramave të tre tërmeteve realë të cilët janë të shkallëzuar për kushtet e zgjedhura të truallit me nxitimin maksimal të konsideruar Amax = 0.4g. Akselerograma e tërmetit "EL Centro" me nxitim maksimal PGA = 0,349g shumëzohet me faktorin e shkallës  $S_1 = (0.4 / 0,349) \times 10^{-3} = 1.146 \times 10^{-3}$ , akselerograma e tërmetit "Ulqini Albatros NS" me nxitim maksimal PGA = 0.171g shumëzohet me faktorin e shkallës  $S_2 = (0.4 / 0.171) \times 10^{-3} = 2,339 \times 10^{-3}$ , dhe akselerograma e tërmetit "Parkfield" me nxitim maksimal PGA = 0,3925g shumëzohet me faktorin e shkallës  $S_3 = (0.4 / 0,3925) \times 10^{-3} = 1,019 \times 10^{-3}$ . Të tre akselerogramat e përdorura si të dhëna hyrëse për analizën kohore sizmike të shkallëzuara janë paraqitur në Figurën 4.6. Këto akselerograma janë aplikuar në të dy drejtimet horizontale, X dhe Y.



Figura 4. 6: Akselerogramat e tre tërmeteve të aplikuara; a) El Centro, b) Ulcinj, c) Parkfield

#### 4.2.3 Modelimi i strukturës

Struktura e urës është modeluar në hapësirë duke përdorur metodën e elementëve të fundëm. Emërtimet e nyjeve dhe të elementëve tregohen në Figurën 4.7a dhe 4.7b. Prej analizës së strukturës do të interpretohen rezultatet e zhvendosjeve dhe të nxitimeve të nyjes 43 të rrethuar në Figurën 4.7a si dhe rezultatet e forcave prerëse në kollonën e shkurtër dhe në kollonën e gjatë përkatësisht elementët 5 dhe 45 të rrethuar në Figurën 4.7b.



Figura 4. 7: Pozicionet e përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike; a) emërtimet e nyjeve, b) emërtimet e elementëve

Izolatorët janë modeluar me elementë "Link" që lidhin nyjet e mbistrukturës me mbështetjet. Lloji i izolatorëve është zgjedhur të jetë bilinear me diagramën e treguar në Figurën 4.8.



Figura 4. 8: Diagrama e izolatorëve bilinear

Për tre modelet e analizuara, lidhjet midis elementëve të mbistrukturës me mbështetjet janë të ndryshme:

- Model 1 është strukturë e paizoluar me lidhje çerniera;
- Model 2 është strukturë e izoluar me lidhje Link me karakteristika të njëjta. Këto lidhje që përfaqësojnë izolatorët janë emërtuar – RUBBER – dhe karakteristikat e tyre jepen në Tabelën 4.1;
- **Model 3** është strukturë e izoluar me lidhje Link me karakteristika të ndryshme. Këto lidhje që përfaqësojnë izolatorët janë emërtuar RUBBER 1, RUBBER 2, RUBBER 3 dhe karakteristikat e tyre jepen në Tabelën 4.2.

IZOLATOR	<b>K<sub>eff</sub></b> [kN/m]	F [kN]	<b>K<sub>1</sub>=4.5*K<sub>2</sub></b> [kN/m]	<b>K</b> 2 [kN/m]	D <sub>y</sub> [m]	F <sub>y</sub> [kN]	K <sub>eff</sub> (vertikal) [kN/m]
RUBBER	746	23.43	2830	629	0.0106	30.12	74600

**Tabela 4. 1:** Karakteristikat e izolatorëve të strukturës Model 2

Tabela 4. 2: Karakteristikat e izolatorëve të strukturës Model 3	

IZOLATOR	<b>K<sub>eff</sub></b> [kN/m]	F [kN]	<b>K</b> 1 <b>=4.5*K</b> 2 [kN/m]	<b>K</b> 2 [kN/m]	D <sub>y</sub> [m]	<b>F</b> y [kN]	K <sub>eff</sub> (vertikal) [kN/m]
<b>RUBBER 1</b>	746	23.43	2830	629	0.0106	30.12	74 600
RUBBER 2	2879	90.43	10924	2427	0.0106	116	287 956
<b>RUBBER 3</b>	4946	23.43	18763	4170	0.0106	200	494 598
## 4.2.4 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre

## 4.2.4a Parametrat dinamikë

Vlerat e katër periodave të para të lëkundjeve për të tre modelet jepen në Tabelën 4.3.

Forma e lëkundjes	Model - 1	Model - 2	Model - 3	Drejtimi i lëkundjes	Simboli
1	2.64	3.45	3.15	Х	T1_x
2	1.08	2.69	1.83	У	T1_y
3	0.74	2.36	1.80	У	T2_y
4	0.56	1.95	1.50	У	Т3_у

Tabela 4. 3: Periodat e lëkundjeve të strukturës

Tre format e para të lëkundjeve paraqiten në Figurën 4.9a dhe 4.9b. Prej figurës dallohet që për të tre modelet, forma e parë e lëkundjes është sipas drejtimit gjatësor X, ndërsa forma e dytë, e tretë dhe e katërt sipas drejtimit tërthor Y.



Figura 4. 9: a) Format e lëkundjes së modelit të paizoluar, b) Format e lëkundjes së modeleve të izoluar

Nga krahasimi midis Modelit 1 me Modelet 2 dhe 3 është shumë e qartë se periodat e lëkundjeve të strukturave të izoluara janë më të gjata krahasimisht strukturave të paizoluara.

## 4.2.4b Rezultate të reagimit sizmik

Reagimi sizmik i tre modeleve të urave nën veprimin e tre tërmeteve paraqitet numerikisht në Tabelën 4.4. Parametrat e zgjedhura janë vlerat maksimale në drejtimet X dhe Y të zhvendosjeve (MaxUx, MaxUy), nxitimeve (MaxAx, MaxAy), forcave prerëse në bazë (BShearx, BShear-y) dhe forcave prerëse në kollonat e shkurtra (Q5x, Q5y) dhe në kollonat e gjata (Q45x, Q45y). Në dy rreshtat e fundit të tabelës jepen raportet e forcave prerëse midis kollonave të shkurtra kundrejt kollonave të gjata.

Tërmeti	]	El Centro Ulcinj Albatros Parkfield			Ulcinj Albatros				
Modeli i urës	Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3	Model 1	Model 2	Model 3
MaxUx (m)	0.32	0.24	0.26	0.39	0.32	0.31	0.25	0.26	0.25
MaxAx (m/s <sup>2</sup> )	3.96	3.66	3.71	5.34	4.16	4.64	2.89	3.14	3.12
MaxUy (m)	0.21	0.23	0.10	0.22	0.33	0.13	0.15	0.27	0.12
$MaxAy (m/s^2)$	11.37	3.60	5.65	10.96	4.6	5.40	6.59	2.8	4.48
BShear-x (kN)	11610	4670	6780	14170	6210	8163	9827	6373	8911
BShear-y (kN)	28440	5380	7350	30930	7604	6180	16210	8043	11400
Q5x (kN)	4195	596	632	5092	794	760	3271	793	868
Q45x (kN)	755	259	422	1282	297	541	499	449	457
Q5y (kN)	5245	380	296	6512	631	521	3351	646	463
Q45y (kN)	2594	577	825	2698	815	1038	1885	682	1118
Q5x/ Q45x	5.55	2.30	1.50	3.97	2.67	1.40	6.55	1.77	1.90
Q5y/ Q45y	2.02	0.66	0.36	2.41	0.77	0.50	1.78	0.95	0.41

Tabela 4. 4: Rezultate të reagimit sizmik të strukturës

Paraqitja grafike e këtyre parametrave në funksion të kohës për krahasim midis të tre modeleve të strukturave nën veprimin e dy tërmeteve (El Centro dhe Ulcinj Albatros), jepen në Figurat 4.10 deri 4.14. Në Figurën 4.10 jepen grafikët e zhvendosjeve. Në Figurën 4.11 jepen grafikët e nxitimeve. Në Figurën 4.12 jepen grafikët e forcave prerëse në bazë. Në Figurën 4.13 jepen grafikët e forcave prerëse në kollona sipas drejtimit X. Në Figurën 4.14 jepen grafikët e forcave prerëse në kollona sipas drejtimit Y.

Lloji i vijave për të gjithë grafikët e Figurave 4.10 deri 4.14 është sipas kësaj legjende:

- ---- Struktura Model 1
- -- Struktura Model 2
- **—** Struktura Model 3



**Figura 4. 10:** Reagimi në kohë i zhvendosjeve: **a**) zhvendosjet në X prej El Centro; **b**) zhvendosjet në X prej Ulcinj; **c**) zhvendosjet në Y prej El Centro; **d**) zhvendosjet në Y prej Ulcinj



Figura 4. 11: Reagimi në kohë i nxitimeve: a) nxitimet në X prej El Centro; b) nxitimet në X prej Ulcinj;c) nxitimet në Y prej El Centro; d) nxitimet në Y prej Ulcinj



Figura 4. 12: Reagimi në kohë i forcave prerëse në bazë: a) forca prerëse e bazës në X prej El Centro; b) forca prerëse e bazës në X prej Ulcinj; c) forca prerëse e bazës në Y prej El Centro; d) forca prerëse e bazës në Y prej Ulcinj



**Figura 4. 13:** Reagimi në kohë i forcave prerëse në kollona sipas drejtimit X: **a**) forca prerëse në kollonën e shkurtër prej El Centro; **b**) forca prerëse në kollonën e shkurtër prej Ulcinj; **c**) forca prerëse në kollonën e gjatë prej El Centro; **d**) forca prerëse në kollonën e gjatë prej Ulcinj.



**Figura 4. 14:** Reagimi në kohë i forcave prerëse në kollona sipas drejtimit Y: **a**) forca prerëse në kollonën e shkurtër prej El Centro; **b**) forca prerëse në kollonën e shkurtër prej Ulcinj; **c**) forca prerëse në kollonën e gjatë prej El Centro; **d**) forca prerëse në kollonën e gjatë prej Ulcinj.

Në bazë të analizave dhe rezultateve të mësipërme arrihet në disa përfundime, ku më të rëndësishmet janë:

Periodat e lëkundjeve të strukturave të izoluara janë më të gjata krahasimisht strukturave të pa izoluara dhe me përdorimin e izolimit arrihen lehtësisht vlerat e dëshiruara të tyre.

Vlerat maksimale të zhvendosjeve të mbistrukturës sipas drejtimit gjatësor janë thuajse të njëjta për të tre modelet. Kurse madhësitë e tyre në funksion të kohës varen nga tipi i akselerogramës së tërmetit.

Vlerat maksimale të zhvendosjeve të mbistrukturës sipas drejtimit tërthor janë përgjithësisht më të mëdha për strukturën e izoluar (Modeli - 2) kundrejt asaj të paizoluar (Modeli - 1), por për një shpërndarje të caktuar të izolatorëve me karakteristika të ndryshme arrihet që dhe zhvendosjet tërthore të zvogëlohen (Modeli - 3).

Nga krahasimi i rezultateve të tre tërmeteve të përdorur arrihet në përfundimin se megjithëse akselerogramat e tyre u shkallëzuan me vlerë të barabartë të nxitimit maksimal, reagimi i të tre modeleve të strukturës është i ndryshëm. Kjo tregon se analiza në fushën kohore duhet të bëhet për një numër të konsiderueshëm tërmetesh.

Me izolimin sizmik të urave arrihet reduktim i madh i forcave prerëse në bazë. Në rastet e analizuara forcat prerëse në bazë janë reduktuar pothuajse dy herë në drejtimin gjatësor dhe afërsisht katër herë në drejtimin tërthor.

Me izolimin sizmik të urave arrihet reduktim i madh i forcave prerëse në të gjitha kollonat, veçanërisht në kollonat e shkurtra të cilat gjithmonë thithin forca prerëse më të mëdha se kollonat e gjata.

Me përdorimin e izolatorëve me karakteristika të ndryshme arrihet reduktim i mëtejshëm i raportit të forcave prerëse midis kollonave të gjata dhe të shkurtra.

Nga krahasimi i reagimeve në drejtimin gjatësor kundrejt atij tërthor vihet re se ndikimi i izolimit është i ndryshëm. Konkretisht, në kollonat e mesit të urës do të rriten forcat prerëse në drejtimin tërthor me rritjen e ngurtësisë së izolatorëve të vendosur mbi to. Prandaj rekomandohet që karakteristikat e izolatorëve të jenë të ndryshme midis drejtimeve horizontale.

Për të studiuar reagimin e vetë izolatorëve nën veprimin sizmik do të konsiderojmë dy prej tyre, izolatori Link 1, i vendosur në kollonën e shkurtër dhe Link 2, i vendosur në kollonën e gjatë, siç tregohet skematikisht në Figurën 4.15.



Figura 4. 15: Emërtimi i izolatorëve të studiuar dhe nyjeve të tyre

Me rezultatet e analizave të Modelit 2, reagimet e këtyre izolatorëve i paraqesim grafikisht në Figurat 4.16 deri në 4.21.



Figura 4. 16: Reagimi i izolatorit të kollonës së shkurtër, Link 1; a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y



Figura 4. 17: Reagimi i izolatorit të kollonës së gjatë, Link 2; a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y



Figura 4. 18: Krahasimi i reagimit të izolatorit të kollonës së shkurtër, Link 1 dhe kollonës së gjatë, Link 2; a) në drejtimin X, b) në drejtimin Y



Figura 4. 19: Deformimi në fushën kohore i izolatorëve Link 1 dhe Link 2; a) sipas drejtimit X, b) sipas drejtimit Y



**Figura 4. 20:** Forcat prerëse në fushën kohore të izolatorëve Link 1 dhe Link 2; **a**) sipas drejtimit X, **b**) sipas drejtimit Y



Figura 4. 21: Zhvendosjet e nyjeve të izolatorëve si dhe deformimi i tyre sipas drejtimin X; a) izolatori në kollonën e shkurtër, Link 1, b) izolatori në kollonën e gjatë, Link 2

Prej grafikëve të mësipërm dallojmë:

Të dy izolatorët (ai në kollonën e shkurtër, Link 1 dhe ai në kollonën e gjatë, Link 2) sillen në zonën jolineare.

Deformimi në drejtimin X për izolatorin Link 1 është 4 herë më i madh se deformimi i izolatorit Link 2. Deformimi në drejtimin Y i izolatorit Link 1 është vetëm 1.5 herë më i vogël se ai i izolatorit Link 2.

Forca prerëse në drejtimin X e izolatorit Link 1 është tre here më e madhe se e Link 2. Forca prerëse në drejtimin Y e izolatorit Link 1 është vetëm 1.5 herë më e vogël se e Link 2.

Ekziston një diferencë e madhe e zhvendosjeve sipas drejtimit X midis nyjeve të mbistrukturës (nyja 9) dhe të nënstrukturës (nyja 8), në krye të kollonës së shkurtër. Megjithatë, nuk ka shumë diferencë në zhvendosjet sipas drejtimit X midis nyjeve të mbistrukturës (nyja 49) dhe të nënstrukturës (nyja 48), në krye të kollonës së gjatë.

Bazuar në rezultatet e mësipërme arrijmë në përfundimin kryesor që deformimet dhe kërkesa për ngurtësi e izolatorëve është e ndryshme në kollonat e shkurtra dhe të gjata; Në krye të kollonës së shtangët, është më mirë të përdorim një izolator më fleksibël, dhe e kundërta, në krye të kollonës së gjatë është më mirë të vendoset një izolator i shtangët. Më mirë kjo tregohet në Modelin 3 (izolim në bazë me karakteristika të ndryshme të izolatorëve).

Për krahasimin e reagimit të izolatorëve midis Modeleve 2 dhe 3, në Figurat 4.22 deri në 4.24, paraqesim grafikët e disa parametrave kryesorë të reagimit të tyre.



Figura 4. 22: Krahasimi i zhvendosjes së nyjeve të izolatorit sipas drejtimit X; a) izolatori në kollonën e shkurtër, Link 1, b) izolatori në kollonën e gjatë, Link 2



**Figura 4. 23:** Krahasimi i reagimit të izolatorit të kollonës së shkurtër, Link 1; **a**) sipas drejtimit X, **b**) sipas drejtimit Y



**Figura 4. 24:** Krahasimi i reagimit të izolatorit të kollonës së gjatë, Link 2; **a**) sipas drejtimit X, **b**) sipas drejtimit Y

Nga studimi i këtyre grafikëve konkludojmë se strukturat e urave është më mirë të projektohen me izolatorë të ndryshëm, me karakteristika të ndryshme të tyre sipas drejtimeve X dhe Y.

## 4.3 Ndikimi i Pozicionit të Izolatorëve në Reagimin Sizmik të Urave

Në seksionin 4.1 të këtij kapitulli, analizohet teorikisht rasti kur pozicioni i izolatorit është midis mbistrukturës dhe nënstrukturës (rasti më tipik i izolimit praktik të urave). Nga kjo analizë ne pamë që reagimi i strukturës ndikohej nga raporti ngurtësive të izolatorit kundrejt ngurtësisë së strukturës. Me interes do të ishte të analizohej ndikimi i ndryshimit të ngurtësisë së nënstrukturës nëpërmjet vendosjes së izolatorëve në pozicione të ndryshme të saj.

Meqënëse forca totale sizmike, sigurisht e reduktuar prej izolimit sizmik, do të shpërndahet në elementët strukturorë në bazë të raportit të ngurtësive të tyre, vlen të kërkojmë pozicionet e ndryshme të sistemit të izolimit përgjatë pilës pasi krijohen elementë me raport ngurtësie të ndryshme.

Në këtë studim do të përpiqemi të përcaktojmë përfitimet e pozicionimit të izolatorëve në mes të pilave duke bërë krahasimin me pozicionet e ndryshme të vendosjes së tyre.

Duke konsideruar që izolatori, krahas lidhjes horizontale me ngurtësinë e tij shkakton dhe lejimin e rrotullimit midis elementëve ku vendoset, ngurtësia dhe shpërndarja e forcave në elementët strukturorë do të ndryshojë me ndryshimin e pozicionit të tij. Për të ilustruar ndikimin e këtij pozicioni fillimisht do të bëjmë një interpretim statik ku izolatorin e konsiderojmë me ngurtësi translative infinit dhe ngurtësi rrotulluese të barabartë me zero. Kështu, ky izolator do të ishte ekuivalent me lidhjen çernierë.

Për të studiuar ndikimin e pozicionit të izolatorit në ngurtësitë e elementëve shqyrtojmë rastet e paraqitura në Figurën 4.25:



Figura 4. 25: Modelet statike për studimin e izolatorëve

Ngurtësia horizontale për rastin 1 dhe 2 është e njëjtë,  $k_1 = 3\text{EI} / \text{H}^3$ , kurse për rastin e tretë, nëse e konsiderojmë një element të vetëm, ai do të ketë ngurtësinë horizontale:

$$k = \frac{k_1' \cdot k_1'}{k_1' + k_1'} = \frac{\left(\frac{24EI}{H^3}\right)^2}{2 \cdot \frac{24EI}{H^3}} = \frac{12EI}{H^3}$$

Kujtojmë se kjo vlerë e ngurtësisë horizontale është e njëjtë me rastin e elementit me lidhje inkastrim në të dy anët. Kjo ndodh pasi çerniera e vendosur në mes të elementit nuk ndikon në ngurtësinë horizontale të tij sepse ky pozicion përkon me seksionin me moment = 0.

Për një pozicion të ndërmjetëm të çfarëdoshëm situata paraqitet si më poshtë:

$$H \begin{bmatrix} h_{2} & k_{2} = \frac{3EI}{h_{2}^{3}} \\ h_{1} & k_{1} = \frac{3EI}{h_{1}^{3}} \end{bmatrix} = 3EI \frac{\left(\frac{1}{h_{1}^{3}} \cdot \frac{1}{h_{2}^{3}}\right)}{3EI\left(\frac{1}{h_{1}^{3}} + \frac{1}{h_{2}^{3}}\right)} = 3EI \frac{\left(\frac{1}{h_{1}^{3}} \cdot \frac{1}{h_{2}^{3}}\right)}{\left(\frac{1}{h_{1}^{3}} + \frac{1}{h_{2}^{3}}\right)}$$

Duke konsideruar rastin 1 (2) dhe 3 shohim që kur çerniera spostohet nga qendra e kollonës për në skaj, ngurtësia zvogëlohet 4 herë (prej  $\frac{12EI}{H^3}$  në  $\frac{3EI}{H^3}$ ).

Në rast se në skemën e mësipërme do të konsiderojmë ngurtësinë horizontale të izolatorit,  $k_i$ , (të ndryshme nga vlera infinit), atëherë ngurtësia ekuivalente horizontale e elementit do të ishte:

$$k = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_i}{k_1 k_i + k_2 k_i + k_1 k_2}$$

pavarësisht poziocionit të izolatorit përgjatë elementit.

Për të bërë interpretimin dinamik të modeleve me pozicione të ndryshme të izolatorit, do të konsiderojmë modelin dinamik me dy shkallë lirie për dy rastet e paraqitura në Figurën 4.26 (krahas rastit te pare te paraqitur ne Figuren 4.1):



Figura 4. 26: Modelet dinamike të strukturës me pozicion të ndryshëm të izolatorëve

Për rastin e dytë, i cili paraqet urën e izoluar në fund të pilës, matricat e masës dhe të ngurtësisë janë:

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \qquad [k] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 \end{bmatrix}$$

Për rastin e tretë, i cili paraqet urën e izoluar në mes të pilës (për mosndërlikim të shprehjeve, masa  $m_1$  e pilës është konsideruar e plotë mbi sistemin izolues), matricat e masës dhe të ngurtësisë janë:

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \qquad [k] = \begin{bmatrix} k'_1 + \frac{k'_1 \cdot k_2}{k'_1 + k_2} & -k'_1 \\ -k'_1 & k'_1 \end{bmatrix}$$

Ekuacioni i lëkundjeve të lira pa shuarje për secilin model është:

$$[m]{\ddot{u}} + [k]{u} = \{0\}$$

ku  $u_j = A_j \sin(\omega t + \phi)$ , për j = 1 ÷ 2.

Ekuacioni i frekuencave është:

$$|[k] - \omega^2[m]| = 0$$

Nga zbërthimi i tij përfitohet polinomi i rendit të dytë të frekuencës, të cilin më poshtë po e paraqesim për të tre rastet e pozicionit të sistemit izolues:

$$m_1m_2 \cdot \omega^4 + (-k_1m_2 - k_2m_2 - k_2m_1) \cdot \omega^2 + k_1k_2 = 0$$
 për modelin e parë,

$$m_1m_2 \cdot \omega^4 + (-k_1m_2 - k_2m_2 - k_1m_1) \cdot \omega^2 + k_1k_2 = 0$$
 për modelin e dytë, dhe

$$m_1m_2 \cdot \omega^4 + \left(-8k_1m_2 - \frac{8k_1k_2}{8k_1 + k_2}m_2 - 8k_1m_1\right) \cdot \omega^2 + \frac{64k_1^2k_2}{8k_1 + k_2} = 0 \quad \text{per modelin e trete.}$$

Nga zgjidhja e të cilit gjenden frekuencat natyrore  $\omega_1$  dhe  $\omega_2$ .

Nga krahasimi i tre shprehjeve të mësipërme vihet re se pozicionet e ndryshme të izolatorit ndikohen jo vetëm nga këndvështrimi statik nëpërmjet ndryshimit të ngurtësive, por edhe nga këndvështrimi dinamik nëpërmjet rezultatit të ndryshëm që do të merret për frekuencat nga zgjidhja e shprehjeve të mësipërme. Për të analizuar konkretisht këtë ndikim në vazhdim do të konsiderojmë strukturën e një ure me raste të ndryshme të pozicionit të izolatorëve në pilë.

#### 4.3.1 Analiza e urave me pozicione të ndryshme të izolatorëve

Qëllimi i izolimit të urave është mbrojtja e pilave dhe themeleve të tyre dhe ndonjëherë edhe të ballnave përmes reduktimit të forcës së inercisë që vjen nga mbistruktura. Sistemet izolatore janë projektuar të reduktojnë ngarkesat e përgjithshme sizmike, dhe të shpërndajnë ato sa më mirë në lidhje me rezistencën e pilave dhe ballnave si dhe të themeleve të tyre.

Në mënyrë që të krahasojmë sjelljen e urave do të analizojmë tre modele të ndryshme: izolatori do të vendoset në krye të pilave për modelin e parë, në fund për modelin e dytë dhe pranë mesit për modelin e tretë, siç tregohen skematikisht në Figurën 4.27.



Figura 4. 27: Pozicioni i izolatorëve; a) në krye të pilave, b) në fund të pilave, c) pranë mesit të pilave

Për secilin model është përdorur i njëjti lloj izolatori. Karakteristikat dinamike dhe sjellja sizmike e të tre modeleve është marrë nga analiza jolineare me elementë të fundëm në fushën kohore, duke përdorur programin kompjuterik SAP2000. Reagimi sizmik i tre modeleve të urave është marrë duke përdorur nxitimin real të tërmetit El Centro 1940. Izolatorët prej gome të armuar janë modeluar si elementë bilinearë.

Në rastin e instalimit të izolatorëve në majën e pilave izolohet vetëm mbistruktura, ndërkohë që pilat dhe ballnat mbeten të paizoluara nga lëkundjet e bazamentit, por reagimi i tyre varet nga reagimi total i të gjithë strukturës. Ky rast tregohet skematikisht në Figurën 4.27a. Edhe pse është pozicioni më praktik i vendosjes së izolatorëve, ka edhe mundësi të tjera; izolatorët mund të vendosen në fund të pilave, gjë që tenton të izolojë të gjithë strukturën, siç tregohet në Figurën 4.27b. Ky rast mund të jetë më i dobishëm për themelet por nuk preferohet për shkak të vështirësive në lidhje me shtratin e lumit. Në mënyrë që të kapërcejmë vështirësi të tilla, izolatorët mund të vendosen rreth mesit të pilave siç tregohet në Figurën 4.27c. Vendimi për të përdorur njërin apo tjetrin rast bazohet ne situatat specifike të urave në lidhje me ndikimin e pozicionit të shuarësit në sjelljen e strukturës dhe në lidhje me deformimet dhe forcat e brendshme të secilit element strukturor.

**4.3.2 Të dhënat gjeometrike të strukturave** Karakteristikat e urës: Ura e analizuar është një strukturë betonarme e vazhduar me një gjatësi totale prej 360 m, me 11 hapsira e mbështetur në 10 kollona dhe dy ballna me një distancë prej 33 m midis tyre. Të dhënat gjeometrike të strukturës së urës tregohen në Figurën 4.28 dhe 4.29. Mbistruktura përbëhet nga trarë të paratensionuar dhe soleta e vazhduar.



Kollonat janë me seksion tërthor drejtkëndor me përmasa 1 m x 2 m.

Figura 4. 28: Skema gjatësore e strukturës



Figura 4. 29: Skema tërthore e mbistrukturës

*Karakteristikat e izolatorëve:* Izolatorët e përzgjedhur janë prej gome të armuar me diagramë bilineare si tregohet në Figurën 4.30 dhe me karakteristikat e paraqitura në Tabelën 4.5.



Figura 4. 30: Diagrama e izolatorëve bilinear

Tabela 4. 5: Karakteristikat e izolatorëve

K <sub>eff</sub>	F	<b>K</b> <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	D <sub>v</sub>	$\mathbf{F}_{\mathbf{v}}$	K <sub>eff</sub>
[kN/m]	[kN]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[kN]	[kN/m]
746	23.43	2830	629	0.0106	30.12	74600

#### 4.3.3 Ngarkesat e aplikuara

Në model janë aplikuar 3 lloje ngarkesash: të përhershme, të përkohshme dhe ngarkesat e tërmetit. Akselerograma e përdorur për analizën dinamike në fushën kohore është ajo e tërmetit El Centro me nxitim maksimal PGA = 0.349g i cili është përshkallëzuar për kushtet e bazamentit me nxitim maksimal A<sub>max</sub> = 0.4g. Akselerograma tregohet në Figurën 4.31:



Figura 4. 31: Akselerograma e tërmetit El Centro

#### 4.3.4 Modelimi i strukturës

Struktura e urës është modeluar në hapësirë duke përdorur metodën e elementëve të fundëm. Emërtimet e nyjeve dhe të elementëve tregohen në Figurën 4.32a dhe 4.32b. Prej analizës së strukturës do të interpretohen rezultatet e zhvendosjeve dhe të nxitimeve të nyjes 43 të rrethuar në Figurën 4.32a si dhe rezultatet e forcave prerëse në kollonën e shkurtër dhe në kollonën e gjatë përkatësisht elementët 5 dhe 45 të rrethuar në Figurën 4.32b.



Figura 4. 32: Pozicionet e përzgjedhura për prezantimin e reagimeve sizmike; a) emërtimet e nyjeve, b) emërtimet e elementëve

Duke përdorur programin SAP2000, izolatorët do të modelohen si elementë të tipit LINK. Kështu, analiza dinamike do të jetë lineare për elementët strukturorë dhe jolineare për izolatorët. Lidhja midis pilave ose bazamentit me mbistrukturën ose lidhja midis pilave dhe bazamentit është e ndryshme për secilin model:

- **Modeli 1:** Izolatorët vendosen në majën e pilave dhe lidhja midis pilave ose ballnave me mbistrukturën modelohet si element i tipit "Link", kurse lidhja e pilave me bazamentin është lidhje e palëvizshme.
- **Modeli 2:** Izolatorët janë në fund të pilave dhe lidhja midis pilave dhe mbistrukturës është rigjide, kurse lidhja midis bazamentit dhe pilave dhe midis ballnave dhe mbistrukturës modelohet me elementë "Link".
- **Modeli 3:** Izolatorët vendosen në mes të pilave dhe lidhja midis pilave dhe mbistrukturës ose midis pilave dhe bazamentit është rigjide. Lidhja midis ballnave dhe mbistrukturës bëhet me elementë "Link". Këta elementë përdoren gjithashtu për të bërë lidhjen e dy gjysmave të pilave.

Deformimet e pilave për të tre modelet jepen skematikisht në Figurën 4.33. Në këtë figurë duket qartë që zhvendosja e mbistrukturës në raport me lëvizjen e tokës është kontribut i deformimit të izolatorit dhe të elementit strukturor të vetë pilës. Prej krahasimit të tyre duket që në rastin e vendosjes së izolatorit në mes, deformimet e elementëve strukturorë të pilës janë më të vogla krahasimisht rasteve të izolimit në krye apo në fund të pilës.



Figura 4. 33: Paraqitje skematike e deformimit të pilave për të tre modelet

## 4.3.5 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre

## 4.3.5a Parametrat dinamikë

Vlerat e katër periodave të para të lëkundjeve për të tre modelet jepen në Tabelën 4.6 më poshtë:

Forma e lëkundjes	Model - 1	Model - 2	Model - 3	Drejtimi i lëkundjes
1	3.45	3.80	3.10	Х
2	2.70	3.26	2.90	У
3	2.36	2.69	2.50	У
4	1.94	2.16	2.04	У

Tabela 4. 6: Periodat e lëkundjeve të strukturës

Në bazë të vlerave të mësipërme të periodave dallojmë që struktura Model 2 është më fleksibël se dy strukturat e tjera. Në bazë të drejtimit të lëkundjeve për të tre modelet, lëkundja sipas formës së parë kryhet sipas drejtimit X (pra, lëkundje gjatësore), kurse lëkundjet sipas formave të tjera, 2, 3 dhe 4, kryhen sipas drejtimit Y (pra, lëkundje tërthore). Vlen të përmendim se të tre modelet janë modeluar me lidhje të palëvizshme midis mbistrukturës dhe ballnave në drejtimin Y. Nëse këto lidhje do të ishin të lira, strukturat do të shfaqnin edhe formën përdredhëse të lëkundjeve, ashtu sikundër do të konstatohet në analizën në seksionin 4.4, në të cilin këto lidhje janë të lëvizshme. Tre format e para të lëkundjeve të Modelit 3 paraqiten në Figurën 4.34.



Figura 4. 34: Tre format e para të lëkundjeve për Modelin 3

#### 4.3.5b Rezultate të reagimit sizmik

Reagimi sizmik i tre modeleve të urave është paraqitur numerikisht në Tabelat 4.7 dhe 4.8. Parametrat e paraqitur janë: zhvendosjet maksimale (MaxUx, MaxUy) të mbistrukturës, sipas drejtimi X e Y, deformimet e pilave (MaxDx, MaxDy), deformimet në izolator (Dx, Dy), forcat prerëse lart dhe poshtë pilave të shkurtra e të gjata (Qx, Qy) e momentet përkulëse (Mx, My).

		Modeli 1		Modeli 2		Modeli 3	
Par	rametri	Pilë e	Pilë e	Pilë e	Pilë e	Pilë e	Pilë e
		shkurtër	gjatë	shkurtër	gjatë	shkurtër	gjatë
Max	xUx (m)	24.3	24.3	19.1	19.1	21.2	21.2
Max	xDx (m)	4.43	23.0	3.7	11.7	1.20	9.50
Max	xDx (m)	19.9	1.3	15.4	7.4	20.0	11.7
Qx	Lart	590	130	400	140	560	450
(kN)	Poshtë	590	260	450	145	590	540
Му	Lart	0	0	5750	3530	3760	6600
(kNm)	Poshtë	7920	6880	0	0	4050	7900

Tabela 4. 7: Reagimi i strukturës sipas drejtimit "x"

Parametri		Modeli 1		Modeli 2		Modeli 3	
		Pilë e	Pilë e	Pilë e	Pilë e	Pilë e	Pilë e
		shkurtër	gjatë	shkurtër	gjatë	shkurtër	gjatë
Ma	axUy (m)	13.0	23.0	10.8	27.8	11.5	23.0
Ma	axDy (m)	0.2	4.7	0.2	4.6	0.1	1.8
Ma	axDy (m)	12.8	28.3	10.6	23.2	11.4	21.2
Qy	Lart	370	560	280	370	310	500
(kN)	Poshtë	380	580	308	470	340	580
Mx	Lart	0	0	3800	17600	2100	9500
(kNm)	Poshtë	5070	1975 0	0	0	2320	11385

Tabela 4. 8: Reagimi i strukturës sipas drejtimit "y"

Diagramat e momenteve përkulëse në pila për secilin model në të dy drejtimet jepen në Figurën 4.35. Është e dukshme që në Modelin 3, vlera maksimale e momentit përkulës në pila është afërsisht sa gjysma e vlerave në dy modelet e tjera. Kjo konfirmohet numerikisht nga rezultatet e analizave të paraqitura në Tabelat 4.7 dhe 4.8, edhe pse forcat prerëse janë thuajse të barabarta.



Figura 4. 35: Diagrama e momenteve përkulëse

Paraqitja grafike e këtyre parametrave në funksion të kohës për krahasim midis të tre modeleve të strukturave nën veprimin tërmetit El Centro, jepen në Figurat 4.36 deri 4.38. Në Figurën 4.36 jepen grafikët e zhvendosjeve. Në Figurën 4.37 jepen grafikët e forcave prerëse në pila. Në Figurën 4.38 jepen grafikët e momenteve përkulës.

Lloji i vijave për të gjithë grafikët e Figurave 4.36 deri 4.38 janë sipas kësaj legjende:

Struktura Model – 1

-- Struktura Model - 2

**—** Struktura Model - 3



Figura 4. 36: Reagimi në kohë i zhvendosjeve: a) zhvendosjet në X prej El Centro, b) zhvendosjet në Y prej El Centro



Figura 4. 37: Forca prerëse në pila: a) forca prerëse në pilën e shkurtër, sipas X; b) forca prerëse në pilën e shkurtër, sipas Y; c) forca prerëse në pilën e gjatë, sipas X; d) forca prerëse në pilën e gjatë, sipas Y



Figura 4. 38: Momentet përkulëse në pila: a) momenti përkulës në pilat e shkurtra, sipas X; b) momenti përkulës në pilat e shkurtra, sipas Y; c) momenti përkulës në pilat e gjata, sipas X; d) momenti përkulës në pilat e gjata, sipas Y.

Bazuar në analizat e mësipërme nxjerrim këto konkluzione:

Zhvendosjet e mbistrukturës sipas drejtimit X janë më të vogla në Modelin 2 dhe 3 krahasuar me Modelin 1.

Në të gjitha pilat, sipas drejtimit X, deformimet janë më të vogla në Modelin 3.

Në pilat e shkurtra, sipas drejtimit X, deformimet në izolatorë janë gati të njëjta për secilin model.

Në pilat e gjata, sipas drejtimit X, deformimet në izolator janë më të vogla në Modelin 3.

Në pilat e shkurtra, sipas drejtimit X, forcat prerëse janë gati të njëjta në secilin model, për momentet përkulëse në Modelin 3 janë gati sa gjysma e modeleve të tjera.

Në pilat e gjata, sipas drejtimit X, forcat prerëse dhe momentet përkulëse janë më të vogla në Modelin 2.

Zhvendosjet e mbistrukturës, sipas drejtimit Y janë më të vogla në Modelet 1 dhe 3, krahasuar me Modelin 2.

Në të gjitha pilat, sipas drejtimit Y, deformimet në Modelin 3 janë gati sa gjysma e deformimeve të modeleve të tjera.

Në të gjitha pilat, sipas drejtimit Y, deformimi në izolator në Modelin 3 është më i ulët se në modelet e tjera.

Në të gjitha pilat, sipas drejtimit Y, forca prerëse është gati e njëjtë për secilin model, por momenti përkulës është shumë i ulët në Modelin 3.

Bazuar në të gjitha analizat dhe përfundimet e mësipërme, mund të sugjerojmë që pozicioni më i mirë i vendosjes së izolatorëve është afër mesit të pilave.

Duke pasur parasysh forcat e transmetuara nga pila në bazament, arrijmë në përfundimin që vendosja e izolatorëve sa më afër fundit do të reduktojë momentet përkulëse.

## 4.4 Analiza e Aplikimit të Izolimit në Bazë për urën "BELINA", Fier

Vitet e fundit në vendin tonë janë ndërtuar shumë rrugë dhe një numër shumë i madh urash. Skemat konstruktive të tyre janë përgjithësisht trarë të thjeshtë ose trarë të vazhduar të mbështetur në pila dhe ballna. Shumica e tyre janë prej betoni të armuar. Trarët janë të paranderur, pilat përgjithësisht janë ramë betonarme me dy apo tre kollona dhe trau i jastëkut e ballnat janë prej muresh betonarme. Mbështetja e trarëve të mbistrukturës në jastëkun e pilave dhe në ballna është bërë nëpërmjet kushinetave të palëvizshme apo të lëvizshme prej Neopreni. Këto lloje mbështetjesh lejojnë zhvendosjet për shkak të bymimeve apo tkurrjeve të elementëve të mbistrukturës, por nuk konsiderohen si elementë izolimi sizmik. Për të analizuar aplikimin e izolimit sizmik në këto tipe urash që ndërtohen në vendin tonë, është përzgjedhur ura "BELINA" mbi lumin Seman në zonën e Fierit. Për shkak të parametrave fiziko - mekanikë të dobët të shtresave të tokës, themelet e të gjitha mbështetjeve të urës janë realizuar me pilota. Pamja dhe elementet përbërës të kësaj urë paraqiten në Figurën 4.39.



a)

b)

Figura 4. 39: Ura "BELINA" mbi lumin Seman, Fier; a) Pamje, b) Elementët përbërës

## 4.4.1 Përshkrim i përgjithshëm i strukturës së urës ''BELINA''

Kjo urë është projektuar dhe ndërtuar në vitin 2011 mbi lumin Seman për qëllimin e rrugës automobilistike që lidh zonën e Fierit dhe atë të Beratit në fshatin Marinëz. Ura "BELINA" ka një gjatësi totale prej 90 m. Ajo përbëhet nga 3 hapësira.

Nga studimi gjeologo - inxhinierik rezulton se në vend - aksin e zgjedhur kemi kushte të dobëta gjeologjike që përbëhen nga argjila lumore, të ngopura me ujë në gjendje plastike të butë vende - vende me përmbajtje leshterik të padekompozuar. Janë të pangjeshura deri në pak të ngjeshura. Zhavorret parashikohet në studim të takohen poshtë thellësisë 25 metra. Kjo situatë gjeologjike kërkon realizimin e themeleve me pilota të thella. Theksojmë se reduktimi i forcave

të tërmetit nëpërmjet izolimit sizmik të kësaj ure do të ketë efekt pozitiv të konsiderueshëm edhe në themelet e saj që në këto kushte gjeologjike janë me kosto relativisht të lartë.

Per qëllimin e aplikimit të izolimit sizmik të kësaj ure, analizat sizmike u kryen për të dy variantet: Varianti i parë sipas të cilit mbistruktura dhe nënstruktura lidhen me kushineta të zakonshme Neopreni dhe Varianti i dytë i mbështetjeve me izolatorë sizmik. Për mungesë të eksperiencës dhe ligjshmërisë në vendin tonë për aplikimin e izolimit sizmik, investitori përzgjodhi të ndërtojë variantin e parë. Në Figurën 4.40 paraqiten elementët strukturalë kryesorë të kësaj urë sipas variantit të ndërtuar.



Figura 4. 40: Elementet strukturalë të urës "BELINA": a) profili gjatësor, b) prerje tërthore në ballna dhe në pila

## a) Mbistruktura

Ura është parashikuar të ndërtohet me trarë L = 29.0 m dhe përbëhet nga 3 hapësira. Gjerësia totale e urës është 10.88 m që përfshin vijat e kalimit 2 x 3.94 m dhe dy trotuare nga 1.5 m. Trarët me gjatësi 29.0 m janë të parapërgatitur në paranderje pas betonimit. Në çdo hapësirë ure kemi 5 copë trarë me seksion **T** me lartësi 1.5 m. Pas montimit të trarëve bëhet monolitizimi i mbistrukturës duke derdhur soletën monolite me trashësi 20 cm dhe diafragmat lidhëse. Soleta e vazhduar në mbështetjet e trarëve në pila realizohet duke lidhur trarët e çdo hapësire me hapësirën që pason me një armim të veçantë në drejtimin gjatësor. Trarët e parafabrikuar kanë seksion **T** me soletë me gjerësi 2.04 m me pjesën e sipërme e cila siguron derdhjen e soletës së mbistrukturës pa kallëp nga ana e poshtme e saj. Pjerrësia tërthore e urës realizohet nga vendosja në disnivel e trarëve në drejtimin tërthor.

#### b) Nënstruktura

Bazuar në studimin gjeologjik në këtë vend - aks themelet e pilave dhe ballnave janë projektuar me shtylla të derdhura (pilota) me diameter 1.2 m të cilat mbështeten duke u futur në shtresën zhavorishte Nr. 5. Në funksion të ndodhjes së këtij formacioni gjatësia e shtyllave të themelit varion nga 23.5 ÷ 26 m. Për dy ballnat themeli i tyre mbështetet në 12 copë shtylla të derdhura (pilota). Pilat Nr. 1 dhe Nr. 2 kanë si themel 6 copë pilota të derdhura. Jastëku betonarme lidhës i shtyllave të themeleve në pila dhe ballna ka lartësinë 1.5 m. Mbi jastëkun lidhës të shtyllave b/arme ballnat realizohen me mure të holla prej b/armeje. Pilat përbëhen nga 2 kollona të rrumbullakta me diametër 1.3 m. Të gjitha pilat në kokë të tyre janë të lidhura me një jastëk b/arme me lartësi 1.5 m që sherben për mbështetjen e trarëve të mbistrukturës.

#### c) Materialet

Për elementët strukturorë pilota, jastëkët e pilotave, kollonat, jastëku i kollonave, dhe ballnat janë projektuar me beton C 25/30, kurse elementët strukturorë si trau kryesor, trarët tërthor dhe soleta janë projektuar me beton C 35/45. Hekuri i betonit është projektuar me çelik S 500 (B). Për traun e paranderur pas betonimit është përdorur kavo me rezistencë R = 1500/1770 Mpa, 0.62".

#### 4.4.2 Skemat llogaritëse dhe ngarkesat e aplikuara

Duke përdorur programin llogaritës SAP2000, analiza strukturore e objektit është bërë sipas kushteve teknike të Eurokodit. Kështu ngarkesat e aplikuara janë:

- **1.** Ngarkesat e përhershme G<sub>k</sub>
  - ngarkesa vetjake e elementëve strukturorë aplikohet prej programit, nëpërmjet peshës vëllimore të betonit  $\gamma = 2.5 \text{ kN/m}^3$
  - ngarkesa e shtresave rrugore është marrë  $\gamma_{sh} = 2.75 \text{ kN/m}^2$ .
- **2.** Ngarkesat e përkohshme (lëvizëse)  $Q_{1k}$ 
  - Ura është projektuar sipas skemës së ngarkesës së Eurokodit me Model Ngarkimi LM 1 vlerat e të cilit paraqiten në Tabelën 4.9.

Pozicioni	Ngarkim varg (TS)	Uniformisht i shpërndarë (UDL)		
FOZICIOIII	Forca Aksiale $Q_{ik}(kN)$	$q_{ik}$ (or $q_{rk}$ ) (kN/m <sup>2</sup> )		
Korsi kalimi 1	300	9		
Korsi kalimi 2	200	2.5		
Korsi të tjera	0	2.5		
Korsi e mbetur $(q_{rk})$	0	2.5		

Tabela 4. 9: Vlerat e Modelit të Ngarkimit LM - 1

Detaje të Modelit të Ngarkimit LM - 1 jepen në Figurën 4.41.



Figura 4. 41: Detaje të Modelit të Ngarkimit LM - 1

- Për verifikime lokale, është aplikuar një sistem ngarkesash në pozicionin më të pafavorshëm. Janë konsideruar dy ngarkesa të varura në distancë midis akseve 0,50 m (shih Figurën 4.41).
- 3. Ngarkesa e presioneve të tokës (thuajse e përhershme), Q<sub>2</sub>
- Presionet e tokës të aplikuara horizontalisht në muret e ballnave
  - $\sigma_t = \gamma \cdot H \cdot K_a$  ku  $\sigma_t$  janë presionet e tokës në kN/m<sup>2</sup>,  $\gamma$  pesha vëllimore e tokës, H është thellësia e aplikimit të presionit dhe K<sub>a</sub> është koeficienti i presionit anësor të dheut.
- Presionet horizontale të ngarkesave lëvizëse në prizmin e shkatërrimit  $\sigma_0 = q_0 \cdot K_a$  ku  $q_0$  është presioni vertikal i ngarkesave të lëvizshme.

- 4. Forca e frenimit gjatësor T<sub>f</sub>
- sipas Eurokodit  $T_f = 0.6 \cdot (2Q_{1k}) + q_{1k} \cdot 3.30 = 441$  kN e cila aplikohet si ngarkesë horizontale uniformisht e shpërndarë në një korsi me gjatësi 30 m (t<sub>f</sub> = 0.5 kN/m<sup>2</sup>).
- 5. Ngarkesa Sizmike A<sub>Ed</sub>
- Ngarkesa sizmike, bazuar në spektrin e reagimit sipas Eurokodit, ku trualli është kategoria C, me PGA = 0.3g, faktori i rëndësisë  $\gamma_i = 1.2$ , tipi i spektrit është Tip 1. Për modelet me bazë fikse faktori i sjelljes është marrë q = 3.5 dhe shuarja  $\eta = 5\%$  kurse për modelet me bazë të izoluar q = 1.0 dhe shuarja  $\eta = 15\%$ .

Duke përdorur metodat e analizës modale për modelin tre dimensional janë pranuar CQC për kombinimin e modeve si dhe SRSS për kombinimin e drejtimeve ortogonale të spektrit (veprimi sizmik është aplikuar në të dy drejtimet X, Y në strukturë).

### a) Kombinimi i ngarkesave

Analizat janë kryer për tre kombinime të ngarkesave të mësipërme të cilat janë:

- Kombinimi kryesor  $E_d = G_k + 1xQ_{1k} + Q_2$
- Kombinimi shtesë  $E_d = G_k + 0.8xQ_{1k} + 1xT_f$
- Kombinimi i veçantë  $E_d = G_k + P_k + A_{Ed} + \psi_{21}Q_{1k} + Q_2$  ku  $\psi_{21} = 0.2$  është faktori i kombinimit të ngarkesës së trafikut.

#### b) Skemat Llogaritëse

Analiza e strukturës është bërë për dy modele: Modeli 1 përfaqëson strukturën pa izolim sizmik (SF) dhe Modeli 2 përfaqëson strukturën me izolim sizmik (IB). Duke përdorur metodën e elementëve të fundëm, për modelimin në hapësirë (3D), janë përdorur këta elementë të fundëm: pilat, jastëkët dhe trarët janë modeluar me element "Frame"; ballnat dhe soleta me element "Shell". Në Figurën 4.42 paraqitet skema e analizës në hapësirë e urës.



Figura 4. 42: Skema e analizës në hapësirë e urës

Elementët lidhës (mbështetjet) midis mbistrukturës dhe nënstrukturës janë modeluar sipas rastit për të përfaqësuar modelin përkatës. Për të përcaktuar karakteristikat e tyre më parë gjenden forcat normale që transmetohen në këto lidhje prej kombinimit kryesor për pozicionin më të disfavorshëm të ngarkesave lëvizëse: N = 1600 kN me aplikimin e koeficientit të sigurisë lidhjet llogaritën për N = 1600 x 1.5 = 2400 kN. Karakteristikat e nevojshme për modelimin e këtyre lidhjeve sipas Modelit të analizuar janë si më poshtë:

## Modeli 1: Struktura pa izolim sizmik (me kushineta neopreni)

Me mundësimin që jep programi SAP2000 lidhjet janë modeluar me element "Link" me sjellje lineare me këto karakteristika:

- lidhje e lëvizshme me ngurtësi vertikale  $K_v = 1290000 \text{ kN/m}$  dhe ngurtësi horizontale  $K_h = 1290 \text{ kN/m}$
- lidhje e palëvizshme me ngurtësi vertikale  $K_v = 1290000 \text{ kN/m}$  dhe ngurtësi horizontale  $K_h = 1290000 \text{ kN/m}$

## Modeli 2: Struktura me izolatorë sizmik

Me mundësimin që jep programi SAP2000 lidhjet janë modeluar me element "Link" me sjellje bilineare. Për llogaritjen e karakteristikave të izolatorëve, përdoren procedurat e përshkruara më parë duke pranuar:

-  $N_1 = 2400$  kN, T = 2.0 s, D = 0.15 m,  $\beta = 15\%$  dhe r = 0.1

Karakteristikat e izolatorëve janë dhënë në tabelën e mëposhtme:

Tabela 4. 10: Karakteristikat e izolatorëve

Izolatori	K <sub>eff</sub> (kN/m)	F (kN)	$K_1 = 5 K_2$ (kN/m)	<b>K</b> <sub>2</sub> (kN/m)	Dy (m)	Fy (kN)	Ngurtësia vertikale, K (kN/m)
1	1545	57	11700	1170	0.54	0.54	154500

## 4.4.3 Rezultatet e analizave dhe interpretimi i tyre

## 4.4.3a Parametrat dinamikë

Vlerat e tre periodave të para të lëkundjeve për të dy modelet jepen në Tabelën 4.11.

Forma e lëkundjes	Model - 1 (SF)	Drejtimi i lëkundjes	Model - 2 (IB)	Drejtimi i lëkundjes
1	1.00	Gjatësor -x	1.83	Gjatësor -x
2	0.86	Rrotullues-z	1.74	Tërthor -y
3	0.61	Tërthor -y	1.56	Rrotullues-z

**Tabela 4. 11:** Periodat e lëkundjeve të strukturës

Nga krahasimi midis modelit 1 dhe 2 është shumë e qartë se periodat e lëkundjeve të strukturës së izoluar janë më të gjata krahasimisht strukturës së paizoluar.

Tre format e para të lëkundjeve paraqiten në Figurën 4.43a dhe 4.43b. Prej figurës dallohet që për të dy modelet forma e parë e lëkundjes është sipas drejtimit gjatësor X. Në urën e paizoluar forma e dytë është rrotullimi kundrejt aksit Z dhe forma e tretë është lëkundja tërthore në aksin Y. Në urën e izoluar përveç faktit që të tre periodat e lëkundjeve janë më të gjata se në urën e paizoluar, është arritur që forma rrotulluese të kalojë pas asaj tërthore. Kjo përmirëson reagimin sizmik të strukturës.



Figura 4. 43: Format e lëkundjes; a) modeli i paizoluar, b) modeli i izoluar

### 4.4.3b Rezultate të zhvendosjeve dhe forcave

Vlerat maksimale të zhvendosjeve dhe forcave të brendshme në elementët strukturorë të të dy modeleve të urave janë marrë prej kombinimit të veçantë. Parametrat e zgjedhura janë vlerat maksimale në drejtimet X dhe Y të zhvendosjeve mbi dhe nën mbështetjet e mbistrukturës në ballna dhe në pila, deformimet e mbështetjeve në ballna dhe në pila, forcat prerëse dhe momentet përkulës në pila si dhe forcat prerëse dhe momentet përkulës në jastëkun e pilave. Vlerat e tyre paraqiten numerikisht në Tabelat 4.12 dhe 4.13. Paraqitja skematike e pozicionit si dhe emërtimet e nyjeve dhe elementëve në të cilët janë marrë rezultatet e mësipërme tregohet në Figurën 4.44.



Figura 4. 44: Pozicioni dhe emërtimet e nyjeve dhe të elementëve të studiuar

Paramatri	Pozicioni	Model-1 (SF)		Model -2 (IB)		
	I OZICIOIII	në Ballna	në Ballna në Pilë		në Pilë	
Zhvendosia II (cm)	Mbi mbështetje (1', 2')	8.07	8.07	21.75	21.75	
$\Sigma_{\rm IIV endosja}, O_{\rm x}({\rm em})$	Nën Mbështetje (1, 2)	ën Mbështetje (1, 2) 0.022 7.90	7.90	0.043	3.93	
Zhvendosia II (cm)	Mbi mbështetje (1', 2')	5.04	2.91	22.08	21.21	
$\Sigma_{\rm H}$ vendosja, $O_{\rm y}$ (em)	Nën Mbështetje (1, 2)	0.0021	8.07           2         7.90           2.91         1         2.80           0.2         0.2         0.2	0.0073	1.24	
Deformimet e mbështetjeve	në X	8.0	0.2	21.7	17.8	
(cm)	në Y	5.0	0.1	22.1	20.0	

Tabela 4. 12: Rezultate të zhvendosjeve prej kombinimit të veçantë

Tabela 4. 13: Rezultate të forcave prej kombinimit të veçantë

Parametri	Drejtimi	Model-1 (SF)	Model -2 (IB)	Raporti (IB/SF)
Force prerëse në pilë (kN)	në X	1670	1440	0.86
Porca prefese ne prie (KN)	në Y	2100 1630		0.78
Momenti përkulës në pilë	në X	7570	5870	0.78
$(kN \cdot m)$	në Y	11800	10200	0.86
Forca prerëse në jastëk (kN)		5450	4700	0.86
Momenti përkulës në jast	ëk (kN·m)	9700	8050	0.83

Në bazë të analizave dhe rezultateve të mësipërme konstatohet se nëpërmjet izolimit sizmik të kësaj ure do të reduktohen deformimiet e pilave rreth dy herë si në drejtimin gjatësor ashtu dhe tërthor. Forcat e brendshme në elementët strukturorë të pilave janë reduktuar rreth 25%, kuptohet që në të njëjtin rend janë reduktuar dhe forcat që transmetohen në themelin e pilës, pra në jastëkun e pilotave të këtij themeli. Kështu, duke kujtuar që analizat sizmike të dy modeleve janë bërë për nivele të ndryshme të faktorit të sjelljes (q = 3.5 për modelin SF dhe q = 1 për modelin BI), pra megjithëse struktura e izoluar është analizuar për reagim vetëm në fazën elastike, ajo përsëri rezulton me deformime dhe forca të brendshme më të vogla se sistemi i paizoluar. Pra izolimi sizmik i kësaj ure do të ishte me përfitime të konsiderueshme në dimensionimet dhe armimet e elementëve strukturorë dhe për rrjedhojë në reduktimin e kostos së saj, pa harruar që reagimi i urës prej tërmeteve do të ishte brenda stadit të sjelljes elastike.

# **KAPITULLI 5**

## **PËRFUNDIME DHE REKOMANDIME**

## 5.1 Përfundime

## 5.1.1 Përfundimet e nxjerra prej analizës së izolatorëve sizmikë me gomë të armuar

Moduli i elasticitetit të gomës  $(E_m)$  ka ndikim të madh si në ngurtësinë horizontale, ashtu dhe në ngurtësinë vertikale të izolatorit; këto ngurtësi ndryshojnë thuajse me të njëjtin raport që ndryshon moduli i gomës. Me rritjen e faktorit të formës ky ndryshim në ngurtësinë vertikale bëhet më i madh. Rekomandohet përdorimi i gomës me modul elasticiteti të madh (gomë e fortë).

Koeficienti i Puasonit të gomës ( $v_m$ ) nuk ka ndikim në ngurtësinë horizontale, por ka ndikim të madh në ngurtësinë vertikale të izolatorit. Për gomë me koeficient Puasoni të vogël rritja e faktorit të formës nuk shoqërohet me rritjen e ngurtësisë vertikale të izolatorit. Kurse për gomë me koeficient të madh, me rritjen e faktorit të formës përfitohet rritje e madhe në ngurtësinë vertikale të izolatorit. Rekomandohet përdorimi i gomës me koeficient Puasoni të madh v = 0.49999 (gomë e pangjeshshme).

Moduli i elasticitetit të fibrës ( $E_f$ ) thuajse nuk ka ndikim në ngurtësinë horizontale. Me rritjen e faktorit të formës ndikimi i tij shkon drejt zeros; moduli i elasticitetit të fibrës ( $E_f$ ) ndikon në ngurtësinë vertikale, por ndikimi është i vogël në krahasim me ndikimin që jep faktori i formës. Kështu, për ndryshim 10 herë të modulit të elasticitetit të fibrës, ngurtësia vertikale ndryshon afërsisht 2 herë. Pra zëvendësimi i materialit të fibrës prej çeliku me material tjetër më të lirë, si fibra karboni apo E-glass është i pranueshëm.

Trashësia e fibrës ( $E_f$ ) nuk ka ndikim as në ngurtësinë horizontale, as në ngurtësinë vertikale të izolatorit pavarësisht rritjes së faktorit të formës. Për të prodhuar izolatorë me kosto të ulët, duhen përdorur fibra të holla dhe të shtohet sasia e shtresave të armimit.

Me rritjen e faktorit të formës (S), ngurtësia vertikale e izolatorit rritet në mënyrë të konsiderueshme (deri në 10 herë për faktor forme S = 15 - 20), për të gjitha vlerat e parametrave të materialeve. Me rritjen e faktorit të formës (S), ngurtësia horizontale e izolatorit nuk ndryshon, për të gjitha vlerat e parametrave të materialeve. Faktori i formës ka ndikimin më të madh në ngurtësinë vertikale, prandaj për të prodhuar izolatorë me kosto të ulët, duhet rritur faktori i formës.

## 5.1.2 Përfundimet e nxjerra prej analizës dinamike dhe sizmike të ndërtesave të izoluara në bazë

Për strukturat të cilat paraqesin fenomenin e katit të butë, izolimi në bazë arrin të përmirësojë reagimin sizmik të saj deri në eleminimin e defektit.

Për strukturat e reja të izoluara në bazë, është i mundur projektimi i tyre për sjellje pranë kufirit elastik. Pra izolimi i ndërtesave të llogaritura deri në fazën lineare ( $\mu = 1$ ) përmirëson katet e para prej deformimeve plastike që kërkon të realizojë. Megjithatë përfitimi më i madh është në reduktimin e rezistencës së rrjedhshmërisë (forcës prerëse).

Nëse neglizhimi i ngurtësisë së mureve ndarëse në strukturat e zakonshme do të sillte efekte negative, në strukturat e izoluara ky neglizhim nuk sjell asnjë efekt. Me fjalë të tjera, ndërtimi i strukturave me bazë të izoluar është më pak i ndjeshëm ndaj neglizhimeve gjatë projektimit apo gabimeve të mundshme në realizimin e objektit.

Nëse aplikojmë izolim në bazë për strukturat ekzistuese (të projektuara më parë) me kat të parë të dobët dhe të butë do të konstatojmë që duktiliteti i kërkuar i kateve do të përmirësohet ndjeshëm.

Konstatojmë se me anën e izolimit sizmik të ndërtesave ekzistuese me kat të parë të butë (dhe të dobët) me duktilitet të kërkuar të lartë arrihet që duktiliteti i kërkuar i kateve të zvogëlohet në mënyrë të ndjeshme. Pra, pas izolimit sizmik edhe kati i butë reagon në fazën elastike.

Izolimi sizmik përdoret me shumë efektivitet në përmirësimin e duktilitetit të kërkuar të kateve të strukturës nëse ajo projektohet me duktilitet të kërkuar të pamundur për t'u poseduar.

Sistemi i izolimit ndikon në rritjen e periodave të lëkundjeve, veçanërisht në periodat e para. Prej raportit të tyre midis sistemeve të izoluar dhe atyre me bazë fikse, konstatojmë se ndikimi i pozicionit të sistemit izolues brenda katit është i vogël në vlerat e periodave të të gjithë formave të lëkundjeve të strukturës.

Nxitimet në nivelin e katit të parë zvogëlohen shumë herë për të gjitha tipet e strukturave, kurse nxitimet në nivelin e tarracës reduktohen më shumë për kalimin nga strukturat e shtangëta drejt atyre fleksible.

Prej studimit të efektit të pozicionit të sistemit izolues, konstatohet se nëse interesi i projektimit është reduktimi i nxitimeve të kateve të sipërm, atëherë këtij qëllimi do t'i shërbente më mirë izolimi në katet ndërmjetëse se sa izolimi në bazë.

Zhvendosjet e strukturave të izoluara janë shumë më të mëdha në krahasim me strukturën me bazë fikse, por këto zhvendosje vijnë si rezultat i deformimit të izolatorëve. Pozicioni i izolimit sizmik, në fund apo në krye të katit përdhe, nuk ndikon në madhësinë e zhvendosjeve të strukturës. Për kalimin nga struktura RAME drejt strukturës BOKS, rritja e periodës së parë prej izolimit sizmik bëhet shumë herë më e madhe. Kjo tregon që efektiviteti i izolimit në bazë është më i madh në strukturat e shtangëta.

Përsa u përket deformimeve të strukturës për secilën formë të lëkundjeve, për tre format e para deformohet vetëm sistemi i izolimit, ndërkohë që mbistruktura lëviz si një trup gati rigjid, pra deformimet në të janë shumë të vogla. Pikërisht këtyre formave u përkasin edhe periodat shumë të larta. Në tre format e dyta përveç deformimit të sistemit të izolimit kemi deformime dhe në elementët strukturorë. Izolimi sizmik përveç reduktimit të deformimeve të elementëve prej formave translative (forma I dhe II) redukton në mënyrë të ndjeshme edhe deformimet përdredhëse (forma III). Kjo tregon që në një strukturë me potencial të madh përdredhës prej mospërputhjes së qendrave të ngurtësisë dhe të masës, efektiviteti i izolimit sizmik do të ishte i madh. Të njëjtën gjë mund të themi për analogji edhe për struktura me jashtëqendërsi aksidentale.

Nxitimet e strukturave të izoluara kundrejt strukturës me bazë fikse janë shumë më të vogla. Pozicioni i izolimit në fund apo në krye të katit përdhe nuk ndikon në madhësinë e nxitimeve në strukturat e shtangëta kundrejt atyre fleksibël thuajse për çdo kat të strukturës. Ndërkohë, raporti i ndryshimit të zhvendosjeve është më i madh për katet e poshtme kundrejt atyre të sipërme.

Për strukturën e izoluar në katet e ndërmjetme, zhvendosjet në katet nën sistemin izolues janë disa herë më të vogla se zhvendosjet e strukturës me bazë fikse, ndërkohë që për katet mbi sistemin izolues janë thuajse të njëjta me zhvendosjet e kateve të strukturës së izoluar në bazë. Kjo vjen si rezultat i faktit që në sistemet e izoluar, zhvendosjet janë kryesisht kontribut i deformimeve të izolatorit dhe jo i deformimeve të elementëve strukturorë.

Deformimet e kateve të strukturave të izoluara kundrejt asaj të paizoluar janë shumë më të vogla. Reduktimi është më i madh në katet e sipërme krahasimisht kateve të poshtme. Pozicioni më i përshtatshëm i sistemit të izolimit për reduktimin e deformimit të katit përdhe është në krye të tij. Reduktimi bëhet më i ndjeshëm në deformimet e strukturave fleksible kundrejt atyre të shtangëta.

Me ndryshimin e pozicionit të sistemit izolues prej katit përdhe drejt kateve të sipërm, ndikimi i formave të larta të lëkundjeve në katet mbi nivelin izolues bëhet më pak i ndjeshëm.

Forcat prerëse, momentet përkulës dhe sforcimet në muret betonarme reduktohen në mënyrë të ndjeshme prej aplikimit të izolimit sizmik. Për strukturën tip RAME sforcimet vertikale dhe ato horizontale reduktohen në mënyrë të ndjeshme, kurse në strukturën tip BOKS, këto sforcime reduktohen më pak. Sforcimet apo forcat e brendshme në elementët strukturorë që mbështeten mbi izolatorë do të ndikohen jo vetëm nga reagimi i përgjithshëm i strukturës por edhe nga marrëdhënia specifike e krijuar prej lidhjes direkte me izolatorët.

Forcat prerëse në kollonë dhe momentet përkulës në trarë janë në vlera relativisht të larta në strukturën tip RAME kundrejt strukturave MIKSE dhe BOKS, pasi në këto të fundit kollonat kontribuojnë shumë pak në përballimin e forcave horizontale meqënëse kanë ngurtësi të papërfillshme kundrejt mureve. Pavarësisht këtyre vlerave, absolute, të ndryshme, gjatë izolimit sizmik ato pësojnë zvogëlim në të tre tipet strukturale. Raportet e reduktimit tregojnë thuajse të njëjtin ndikim të forcave prerëse në kollonat e secilit kat.

Forcat prerëse dhe momentet përkulëse, kundrejt sistemit me bazë fikse, për kollonat e katit përdhe, reduktohen më shumë për strukturën e izoluar në bazë, kundrejt asaj të izoluar në mes. Për kollonat e katit të kryes, reduktimet thuajse barazohen midis këtyre dy strukturave. Pra në mënyrë të përmbledhur, reduktimi i forcave të brendshme në elementët strukturorë, kollona dhe trarë, është arritur në mënyrë të konsiderueshme edhe me izolimin e vetëm pesë kateve të kryes të strukturës.

Për sistemet e izoluara në bazë (SIB) forcat prerëse në bazë reduktohen më shumë për strukturën tip RAME kundrejt tipeve më të ngurta.

Nëpërmjet spostimit të nivelit të izolimit drejt kateve të sipërm, ndryshojnë karakteristikat e nevojshme të izolatorëve që duhen përdorur (izolatorët nevojiten më të vegjël, dhe sigurisht me kosto më të ulët). Kjo tregon që duke konsideruar të gjithë faktorët, gjatë projektimit ka vend për të kërkuar optimizimin e përdorimit të izolimit sizmik edhe nga pikëpamja e përzgjedhjes së nivelit të izolimit.

Alternativa e izolimit sizmik të struktruave ekzistuese të ndërtuara në vendit tonë rreth viteve 1970 është shumë efikase pasi ajo redukton shumë herë forcat vepruese sizmike në elementët ekzistues strukturorë duke mos qenë nevoja e përforcimit të tyre dhe nuk kërkon detajime për rritjen e duktilitetit të tyre (pasi duktiliteti i kërkuar është pranë ose dhe më i vogël se duktiliteti i poseduar i tyre). Me këtë metodë eleminohen dhe ndërhyrjet në themelet ekzistuese.

Nga krahasimi i dy mënyrave të përforcimit të strukturës, e para sipas përforcimit tradicional me rritjen e ngurtësisë nëpërmjet shtimit të mureve betonarme dhe e dyta sipas izolimit sizmik nëpërmjet izolatorëve prej gome, arrihet që në elementët strukturorë të paprekur nga përforcimi të kemi rezultate thuajse të njëjta të forcave të brendshme, midis dy mënyrave. Ndërkohë, prej krahasimit të forcave prerëse në bazë, konstatojmë se në rastin e izolimit sizmik ato janë shumë herë më të vogla. Këto vlera të mëdha të forcave prerëse në bazë në përforcimin tradicional përballohen kryesisht nga muret betonarme të shtuar, kurse me reduktimin e forcave prerëse në bazë prej izolimit sizmik, nuk është nevoja që të përforcojmë elementët ekzistues, pasi ato janë në gjendje të përballojnë këto nivele të ulëta të forcave.

Struktura e izoluar në bazë i ka të reduktuara deformimet e elementëve strukturorë, pasi deformimet e kërkuara gjatë reagimit sizmik realizohen në izolatorë. Ndërkohë prej vlerave të vogla të nxitimeve ajo pëson forca të vogla në elementët strukturorë duke u arritur që këto forca të përballohen nga elementët strukturorë ekzistues.

## 5.1.2 Përfundimet e nxjerra prej analizës dinamike dhe sizmike të urave të izoluara në bazë

Periodat e lëkundjeve të urave të izoluara janë më të gjata krahasimisht atyre të pa izoluara dhe me përdorimin e izolimit arrihen lehtësisht vlerat e dëshiruara të tyre.

Vlerat maksimale të zhvendosjeve të mbistrukturës sipas drejtimit gjatësor dhe tërthor varen si nga tipologjia e urës në lidhje me lartësitë e ndryshme të pilave ashtu dhe nga karakteristikat e përzgjedhura të izolatorëve të vendosur mbi to. Kështu në izolimin sizmik të urave nëpërmjet ndryshimit të ngurtësive të izolatorëve bëhet e mundur të arrihet një reagim sizmik i paracaktuar nga ne.

Me izolimin sizmik të urave arrihet reduktim i madh i forcave prerëse në bazë si në drejtimin gjatësor ashtu edhe në atë tërthor. Me izolimin sizmik të urave arrihet reduktim i madh i forcave prerëse në të gjitha kollonat, veçanërisht në kollonat e shkurtra të cilat gjithmonë thithin forca prerëse më të mëdha se kollonat e gjata. Me përdorimin e izolatorëve me karakteristika të ndryshme arrihet reduktim i mëtejshëm i raportit të forcave prerëse midis kollonave të gjata dhe të shkurtra. Deformimet dhe kërkesa për ngurtësi e izolatorëve është e ndryshme në kollonat e shkurtra dhe të gjata; Në krye të kollonës së shtangët, është më mirë të përdorim një izolator më fleksibël, dhe e kundërta, në krye të kollonës së gjatë është më mirë të vendoset një izolator i shtangët. Gjithashtu, strukturat e urave është më mirë të projektohen me izolatorë të ndryshëm dhe me karakteristika të ndryshme të tyre sipas drejtimeve gjatësore dhe tërthore.

Nga krahasimi i reagimeve në drejtimin gjatësor kundrejt atij tërthor vihet re se ndikimi i izolimit është i ndryshëm. Prandaj rekomandohet që karakteristikat e izolatorëve të jenë të ndryshme midis drejtimeve horizontale.

Nga analiza e ndikimit të pozicionit të vendosjes së izolatorëve përgjatë gjatësisë së pilës, konstatohet se prej këtij pozicioni ndikohen një pjesë e parametrave të reagimit sizmik. Kjo tregon se megjithëse vendosja e izolatorëve në kokë të pilave është pozicioni më praktik, izolatorët mund të vendosen si në fund të pilave, ashtu edhe përgjatë gjatësisë së tyre në funksion të kërkesës dhe kushteve specifike të urës.

Në rastin e vendosjes së izolatorit pranë mesit të lartësisë së pilës, deformimet e elementëve strukturorë të pilës janë më të vogla krahasimisht rasteve të izolimit në krye apo në fund të saj. Bazuar në të gjitha analizat mund të sugjerojmë që pozicioni më i mirë i vendosjes së izolatorëve për reagimin sizmik të elementëve strukturorë është afër mesit të pilave. Duke pasur parasysh forcat e transmetuara nga pila në bazament (themel), vendosja e izolatorëve sa më afër fundit do të reduktojë momentet përkulëse.

Me anë të izolimit sizmik të urës bëhet e mundur edhe reduktimi i efektit të formës rrotulluese të lëkundjeve vetjake të saj, duke përmirësuar reagimin sizmik.

Nëpërmjet izolimit sizmik të urave që ndërtohen këto vite në vendin tonë arrihet reduktimi i deformimeve të pilave si në drejtimin gjatësor ashtu dhe atë tërthor. Forcat e brendshme në elementët strukturorë të pilave dhe në bazamentet e tyre prej veprimit sizmik mund të reduktohen rreth 25%, megjithëse strukturat e izoluara pranohen të reagojnë pranë fazës elastike.

Pra izolimi sizmik i këtyre urave do të ishte me përfitime të konsiderueshme në kushtet e punës së tyre si dhe dimensionimeve dhe armimeve të elementëve strukturorë.

## 5.2 Rekomandime

Teknologjia e izolimit në bazë të strukturave, megjithëse është e njohur dhe e aplikuar në shumë objekte, ajo përsëri ka të nevojshëm thellimin e mëtejshëm të analizës dhe të përmirësimit të teknikave dhe teknologjive të prodhimit dhe aplikimit të izolatorëve.

Me interes do të ishte analiza e reagimit të strukturave të ndryshme për shpërndarje të ndryshme në plan të karakteristikave të izolatorëve. Kjo do të shërbente jo vetëm për analizën e sforcimeve lokale por edhe për reagimin e përgjithshëm të strukturës.

Studime duhen bërë në lidhje me efektin e jashtëqendërsisë së forcave normale që vijnë nga katet mbi sistemin izolues, për t'u transmetuar në strukturën nën sistemin izolues.

Për analizat në fushën kohore duhet të përdoret një numër i konsiderueshëm akselerogramash të tërmeteve me qëllim që përfundimet të jenë më të sigurta.

## LITERATURA

- 1. AASHTO "Guide Specification for Seismic Isolation Design", USA, 1999
- 2. AASHTO M251-97, Standard Specifications for Plane and Laminated Ealstomeric Bridge Bearings, 1997.
- 3. Alan N. Gent, "Engineering with Rubber", Cal Hansec Verlag, Munich 2001.
- 4. Chopra, A. K., "Dynamics of Structures: Theory and Application to Earthquake Engineering", Prentice-Hall, New Jersey, 1995.
- 5. Chopra, A. K., "Dynamics of Structures: Theory and Application to Earthquake Engineering", 2nd Ed, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2007
- Clark P.W., Aiken I.D., Kelly J.M., "Experimental Studies of The Ultimate Behaviour of Seismically- Isolated Structures", report No. UCB/EERC- 97/18, University of California, Berkeley 1997
- 7. Clough, R.W., Penzien, J. "Dynamics of Structures", McGraw-Hill, New York, 1993
- 8. Conner J. J. Klink B.S.A., "Introduction to Motion Based Design", Computational Mechanics Publications, Southampton UK and Boston USA, 1996
- 9. Dolce, M., Serino, G., "Technologies for seismic Isolation and Control of Structures and Infrastructures", The state of Earthquake Engineering Research in Italy, 2009.
- 10. Eurocode, EN 1998, "Design of Structures for earthquake Resistance", 2004
- 11. Garevski M., Ansal A., "Earthquake Engineering in Europe", Springer Science +Business MediaB.V. 2010
- 12. Garevski M., Kelly, J, Zisi, N., "Analysis of 3D Vibration of the Base-Isolated Pestalozzi Building by Analytical and Experimental Approach", Proceedings of the 12 WCEE, Oackland, New Zealand, 2000.
- 13. Garevski M., Kelly, M, Bojadziev, "Experimental Dynamic Testing of the First structure in the World Isolated by Rubber Bearings", Proceedings of the Eleventh European Conference on Earthquake engineering, Paris, 1998.
- 14. Higashino, M., Okamoto, S., "Response Control and Seismic Isolation of Buildings", Taylor & Francis, New York, 2006
- 15. Kawamura S., Sugisaki R., Ogura K., Maezawa S., Tanaka S., Yajima A, "Seismic Isolation Retrofit in Japan", Proceedings of the 12 WCEE, Oackland, New Zealand, 2000.
- 16. Kelly, J.M., "Earthquake Resistant Design with Rubber", Springer-Verlag London Limited, 1997.
- 17. Kelly, J.M., "Earthquake Resistant Design with Rubber", Springer-Verlag London Limited, 1997.
- Kelly, J.M., "Seismic Isolation as an Innovative Approach for the Protection of Engineered Structures", 11th European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam, 1998.
- 19. Kelly, J.M., "Seismic Isolation as an Innovative Approach for the Protection of Engineered Structures", 11th European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam, 1998.
- 20. Kelly, J.M., "Testing of a Natural Rubber Base Isolation System by an Explosively Simulated Earthquake", UCB / EERC 80 / 25, 1980.
- 21. Kelly, J.M., "The implementation of base isolation in the United states", Earthquake Engineering, Tenth World Conference, Balkema Rotterdam, 1994.
- 22. Kelly, J.M., Chalhoub M. S., "Earthquake Simulator Testing of a Combined Sliding Bearing and Rubber Bearing Isolation System", UCB / EERC 87 / 04, 1987.
- 23. Kelly, J.M., Quiroz, E., "Mechanical Characteristics of Neoprene Isolation Bearings", UCB / EERC 92 / 11, 1992.
- 24. Kelly, J.M., Quiroz, E., "Mechanical Characteristics of Neoprene Isolation Bearings", UCB / EERC 92 / 11, 1992.
- 25. Kelly, J.M., Takhirov, S, M, "Analytical and Experimental Study of Fiber-reinforced Strip Isolators", Report, 1999.
- 26. Kelly, E, Trevor. "Base Isolation of Structures", Holmes, Consulting Group Ltd, 2001.
- 27. Kelly, J, M. "Analytical and Experimental study of Fiber-Reinforced Strip Isolators", PEER 2002/11, Berkeley 2002.
- Khashaee P., Mohraz B., Sadek F., Lew H. S., Gross J.L., "Distribution of Earthquake Input Energy in Structures", NISTIR 6303, National Institute of Technology and Standards, USA 2003
- 29. Marnetto R., Massa L., Vailati M." Progeto Sismico di Strutture Nuove in Cemento Armato", Edizioni Kappa, Roma, Italy, 2004
- Melkumyan M. G., "Comparison of the Analysis Results of Seismic Isolated Buildings by the Design Code and Time Histories", Jurnal of Civil Engineering and Science" Sept.2013, Vol 2, Iss 3 PP. 184-192
- 31. Morgan, T. A., "The Use of Innovative Base Isolation System to Achive Complex Seismic Performance Objectives", Doctoral Dissertation, University of California, Berkeley, 2007
- 32. Naaseh, S., Morgan, T. A., Valters, M.T., "A Critical Evaluation of Current U.S. Building Code Provisions for Design of Seismically Isolated Structures", Proceeding, Seventh International Seminar on Seismic Isolation, Assisi, Italy 2001
- 33. Naeim, F., Kelly, J.M., "Design of Seismic Isolated Structures", John Wiley & Sons, New York, 1999.

- 34. Newmark, N.M., Hall, W.J., "Earthquake Spectra and Design", EERI Monograph, Oakland, CA, 1982
- 35. Rroz M. "Advanced Models for Sliding Seismic Isolation and Applications for Typical Multi-Span Highway Bridges", Doctoral Dissertation, Georgia Institute of Technology, 2007
- 36. SAP2000<sup>®</sup>, Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, analysis Reference, Vol. 1&2, Computer and Structures, Inc, Berkeley, California, USA, 2000
- 37. Seranaj, A., Softa F., Garevski M., Analysis of Base isolated Bridge Structures", 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Macedonia, 2010.
- 38. Skinner, R.I., Robinson, W.H., McVerry, G.H., "An Introduction to Seismic Isolation", John Wiley & Sons Ltd., New York, 1993.
- 39. Taniwangsa, W., Clark, P.W., Kelly, J.M., "Natural Rubber Isolation Systems for Earthquake Protection of Low-Cost Buildings", UCB / EERC 95 / 12, 1995.
- 40. Taniwangsa, W., Kelly, J.M., "Experimental and Analytical Studies of Base Isolation Applications for Low-Cost Housing", UCB / EERC 96 / 04, 1996.
- 41. Wilson J. R., Sierakowski R. L., "The Behaviour of Structures Composed of Composite Materials, Martinous Nijhoff Publishers, Dordrecht, Netherlands, 1986.
- 42. Zienkievich, "The Finite Element Method", McGraw-Hill Publishing Company, 1970.