

Εκτίμηση ζημιών και
υπολογισμός κόστους
αποκατάστασης κατασκευών
σε σεισμό

Χαράλαμπος Γεωργίου

Μεταπτυχιακή Διατριβή Μάστερ

Λευκωσία
Ιούνιος 2009

*Η διατριβή αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια
του μεταπτυχιακού προγράμματος
Επιστήμης Πολιτικής Μηχανικής (Master of Science Degree)
στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος
της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Κύπρου
από το Σεπτέμβριο του 2007 έως και το Μάιο του 2009.*

Επιτροπή Εξέτασης Διατριβής

Ø Δημήτριος Βαμβάτσικος

Λέκτορας στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Κύπρου

Ø Συμεών Χριστοδούλου

Επίκουρος Καθηγητής στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Κύπρου

Ø Παναγιώτης Ρουσής

Λέκτορας στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Κύπρου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iv
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	vii
ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	xii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xv
ABSTRACT.....	xvi
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	xvii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Γενική Περιγραφή.....	1
1.2. Σκοπός και Στόχοι της Διατριβής	2
1.3. Οργάνωση της Διατριβής	3
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ.....	6
2.1. Βασικές Έννοιες Πιθανοτήτων.....	6
2.1.1. Τυχαίες μεταβλητές.....	6
2.1.2. Πιθανοτικές κατανομές	7
2.2. Σεισμική Μηχανική Βάσει Επιτελεστικότητας	11
2.2.1. Καθορισμός ζημιών των μελών της κατασκευής.....	16
2.2.2. Κόστος επισκευής του κτιρίου	18
2.3. Αβεβαιότητα στη Σεισμική Μηχανική.....	23
2.3.1. Βασικές αβέβαιες μεταβλητές.....	24
3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ.....	30
3.1. Γενική Περιγραφή Κτιρίου	30
3.2. Σχεδιασμός και Μελέτη Κτιρίου	30
3.3. Σεισμικό Φάσμα Σχεδιασμού κατά τον Ευρωκώδικα 8.....	31
3.4. Σχεδιασμός Στατικού Φορέα στο AutoCAD.....	33

3.4.1.	Σχεδιασμός κατόψεων κτιρίου.....	33
3.4.2.	Σχεδιασμός διατομών υποστυλωμάτων και δοκών.....	34
3.5.	Σχεδιασμός τρισδιάστατου μοντέλου στο ArchiCAD	35
3.5.1.	Σχεδιασμός υποστυλωμάτων και δοκών	35
3.5.2.	Σχεδιασμός τοιχοπληρώσεων.....	36
3.5.3.	Σχεδιασμός πορτών και παραθύρων	37
3.5.4.	Τρισδιάστατη απεικόνιση του κτιρίου.....	38
4.	ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΣΤΑΤΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	42
4.1.	Προσομοίωση Υλικών	42
4.2.	Προσομοίωση Κόμβων	43
4.3.	Προσομοίωση Υποστυλωμάτων.....	45
4.4.	Προσομοίωση Δοκών	45
4.5.	Κατανομή μαζών και φορτίων.....	47
4.6.	Προσομοίωση διαφραγματικής λειτουργίας πλακών	48
4.7.	Υπολογισμός συμπεριφοράς ινών σκυροδέματος σε αξονική τάση.....	48
4.7.1.	Περίσφιξη υποστυλωμάτων.....	50
4.7.2.	Περίσφιξη δοκών.....	54
4.8.	Καταγραφή αποτελεσμάτων.....	59
5.	ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕΛΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	63
5.1.	Καθορισμός παραμέτρων τρωτότητας μελών κατασκευής.....	63
5.1.1.	Καθορισμός παραμέτρων τρωτότητας υποστυλωμάτων και δοκών	64
5.1.2.	Καθορισμός παραμέτρων τρωτότητας τοιχοπληρώσεων	67
5.1.3.	Καθορισμός παραμέτρων τρωτότητας πορτών.....	68
5.1.4.	Καθορισμός παραμέτρων τρωτότητας παραθύρων.....	70
5.2.	Καθορισμός παραμέτρων κόστους επισκευής μελών κατασκευής	71
5.2.1.	Κόστος επισκευής υποστυλωμάτων	73
5.2.2.	Κόστος επισκευής δοκών	74
5.2.3.	Κόστος επισκευής τοιχοπληρώσεων	75
5.2.4.	Κόστος επισκευής πορτών.....	77
5.2.5.	Κόστος επισκευής παραθύρων.....	80

6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΖΗΜΙΩΝ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΜΕΛΩΝ82

6.1.	Προγράμματα ανάλυσης αποκρίσεων κτιρίου, ζημιών και κόστους επισκευής μελών	82
6.1.1.	<i>Κεντρικό Πρόγραμμα Ανάλυσης Ζημιών και Υπολογισμού Κόστους Επισκευής.....</i>	<i>82</i>
6.1.2.	<i>Πρόγραμμα σχεδίασης διατομών ινών</i>	<i>87</i>
6.1.3.	<i>Πρόγραμμα σχεδίασης φάσματος Ευρωκώδικα</i>	<i>88</i>
6.1.4.	<i>Πρόγραμμα ανάλυσης εδαφικών αποκρίσεων.....</i>	<i>89</i>
6.1.5.	<i>Πρόγραμμα ανάλυσης αποκρίσεων πλακών ορόφων</i>	<i>92</i>
6.1.6.	<i>Πρόγραμμα ανάλυσης ζημιών ορόφων.....</i>	<i>99</i>
6.1.7.	<i>Πρόγραμμα ανάλυσης ζημιών και κόστους επισκευής υποστυλωμάτων.....</i>	<i>104</i>
6.1.8.	<i>Πρόγραμμα ανάλυσης ζημιών και κόστους επισκευής δοκών</i>	<i>113</i>
6.1.9.	<i>Πρόγραμμα ανάλυσης ζημιών και κόστους επισκευής τοιχοπληρώσεων.....</i>	<i>120</i>
6.1.10.	<i>Πρόγραμμα ανάλυσης ζημιών και κόστους επισκευής πορτών</i>	<i>134</i>
6.1.11.	<i>Πρόγραμμα ανάλυσης ζημιών και κόστους επισκευής παραθύρων.....</i>	<i>138</i>
6.2.	Τρισδιάστατη απεικόνιση ζημιών κτιρίου	144
6.3.	Κόστος επισκευής κτιρίου.....	146

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ156

7.1.	Σύνοψη μεθοδολογίας.....	156
7.2.	Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	157
7.3.	Συστάσεις για μελλοντική έρευνα	158

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....161

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ165

Παράρτημα Α - Πίνακες Μελών Κτιρίου.....	165
<i>A.1. Πίνακες Υποστυλωμάτων.....</i>	<i>166</i>
<i>A.2. Πίνακες Δοκών.....</i>	<i>168</i>
<i>A.3. Πίνακες Τοιχοπληρώσεων</i>	<i>170</i>
<i>A.4. Πίνακες Πορτών.....</i>	<i>174</i>
<i>A.5. Πίνακες Παραθύρων</i>	<i>176</i>
Παράρτημα Β - Ερωτηματολόγια	178
Παράρτημα Γ - Σχέδια AutoCAD	183
Παράρτημα Δ - Αρχεία και Προγράμματα Ανάλυσης σε CD	197

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Κεφάλαιο 2.

Πίνακας 2.1. Υπολογισμός κόστους βάσει προσομοίωσης Monte Carlo.....	22
--	----

Κεφάλαιο 4.

Πίνακας 4.1. Ιδιότητες μη περισφιγμένου σκυροδέματος.....	42
Πίνακας 4.2. Ιδιότητες χάλυβα διαμήκους οπλισμού.....	42
Πίνακας 4.3. Ιδιότητες περισφιγμένου σκυροδέματος υποστυλωμάτων.....	54
Πίνακας 4.4. Ιδιότητες περισφιγμένου σκυροδέματος δοκών.....	59

Κεφάλαιο 5.

Πίνακας 5.1. Παράμετροι τρωτότητας υποστυλωμάτων και δοκών σε όρους πλαστικής στροφής.....	65
Πίνακας 5.2. Παράμετροι τρωτότητας τοιχωμάτων σε όρους πλαστικής στροφής.	66
Πίνακας 5.3. Παράμετροι τρωτότητας τοιχοπληρώσεων σε όρους ανηγμένης σχετικής μετατόπισης ορόφων.....	68
Πίνακας 5.4. Παράμετροι τρωτότητας πορτών σε όρους ανηγμένης σχετικής μετατόπισης ορόφων.	69
Πίνακας 5.5. Παράμετροι τρωτότητας παραθύρων σε όρους ανηγμένης σχετικής μετατόπισης ορόφων.....	70
Πίνακας 5.6. Τιμές κόστους επισκευής τυπικού υποστυλώματος όγκου 0.375m ³ (€).	73
Πίνακας 5.7. Τιμές κόστους επισκευής τυπικής δοκού όγκου 0.75m ³ (€).	74
Πίνακας 5.8. Τιμές κόστους επισκευής ενός τετραγωνικού μέτρου δρομικής τοιχοποιίας (€).	75
Πίνακας 5.9. Τιμές κόστους επισκευής ενός τετραγωνικού μέτρου μπατικής τοιχοποιίας (€).	75
Πίνακας 5.10. Τιμές κόστους επισκευής ξύλινης πόρτας εσωτερικού χώρου (€).	77
Πίνακας 5.11. Τιμές κόστους επισκευής ξύλινης πόρτας κύριας εισόδου κατοικίας (€).	77
Πίνακας 5.12. Τιμές κόστους επισκευής μεταλλικής πόρτας από αλουμίνιο (€).	77
Πίνακας 5.13. Τιμές κόστους επισκευής πόρτας κύριας εισόδου πολυκατοικίας από γυαλί (€).	77
Πίνακας 5.14. Τιμές κόστους επισκευής τυπικού παραθύρου ενός τετραγωνικού μέτρου (€).	80
Πίνακας 5.15. Τιμές κόστους επισκευής τυπικού πορτοπαράθυρου διαστάσεων 2.10m x 2m (€).....	80

Κεφάλαιο 6.

Πίνακας 6.1. Ιδιοπερίοδοι και Επιταχύνσεις Σχεδιασμού του Κτιρίου.....	88
Πίνακας 6.2. Χαρακτηριστικά επιταχυνσιογραφημάτων “HOL090” και “HOL360” για συντελεστή κλιμάκωσης $1 \cdot a_{des}$	89
Πίνακας 6.3. Διανυσματικές μεταβλητές για την ανάλυση των πλακών.....	92
Πίνακας 6.4. Μέγιστες και παραμένουσες αποκρίσεις των πλακών ορόφων του κτιρίου για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	94
Πίνακας 6.5. Παράμετροι τρωτότητας ορόφων σε όρους ανηγμένης σχετικής μετακίνησης ορόφων.....	99
Πίνακας 6.6. Πιθανότητες ορόφων υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	102
Πίνακας 6.7. Πιθανότητες ορόφων να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	102
Πίνακας 6.8. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 1 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	108
Πίνακας 6.9. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 1 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	109
Πίνακας 6.10. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 2 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	109
Πίνακας 6.11. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 2 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	110
Πίνακας 6.12. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 3 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	110
Πίνακας 6.13. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 3 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	111
Πίνακας 6.14. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 4 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	112
Πίνακας 6.15. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 4 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	112
Πίνακας 6.16. Πιθανότητες δοκών 1 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	115
Πίνακας 6.17. Πιθανότητες δοκών 1 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	115

Πίνακας 6.18. Πιθανότητες δοκών 2 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	116
Πίνακας 6.19. Πιθανότητες δοκών 2 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	117
Πίνακας 6.20. Πιθανότητες δοκών 3 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	117
Πίνακας 6.21. Πιθανότητες δοκών 3 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	118
Πίνακας 6.22. Πιθανότητες δοκών 4 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	119
Πίνακας 6.23. Πιθανότητες δοκών 4 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	119
Πίνακας 6.24. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 1 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	125
Πίνακας 6.25. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 1 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	126
Πίνακας 6.26. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 2 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	127
Πίνακας 6.27. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 2 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	128
Πίνακας 6.28. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 3 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	129
Πίνακας 6.29. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 3 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	130
Πίνακας 6.30. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 4 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	131
Πίνακας 6.31. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 4 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	132
Πίνακας 6.32. Πιθανότητες πορτών 1 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	135
Πίνακας 6.33. Πιθανότητες πορτών 1 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.	136

Πίνακας 6.34. Πιθανότητες πορτών 2 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	136
Πίνακας 6.35. Πιθανότητες πορτών 2 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	136
Πίνακας 6.36. Πιθανότητες πορτών 3 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	137
Πίνακας 6.37. Πιθανότητες πορτών 3 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	137
Πίνακας 6.38. Πιθανότητες πορτών 4 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	138
Πίνακας 6.39. Πιθανότητες πορτών 4 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	138
Πίνακας 6.40. Πιθανότητες παραθύρων 1 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	140
Πίνακας 6.41. Πιθανότητες παραθύρων 1 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	140
Πίνακας 6.42. Πιθανότητες παραθύρων 2 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	140
Πίνακας 6.43. Πιθανότητες παραθύρων 2 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	141
Πίνακας 6.44. Πιθανότητες παραθύρων 3 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	141
Πίνακας 6.45. Πιθανότητες παραθύρων 3 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	142
Πίνακας 6.46. Πιθανότητες παραθύρων 4 ^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	143
Πίνακας 6.47. Πιθανότητες παραθύρων 4 ^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	143
Πίνακας 6.48. Κόστος στοιχείων ανά ομάδα στοιχείων, όροφο και συνολικά βάσει πρώτης μεθόδου για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	152
Πίνακας 6.49. Κόστος στοιχείων ανά ομάδα στοιχείων, όροφο και συνολικά βάσει μεθόδου Monte Carlo για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	152

Πίνακας 6.50. Κόστος στοιχείων ανά ομάδα στοιχείων, όροφο και συνολικά βάσει μεθόδου Monte Carlo για συντελεστή κλιμάκωσης $\frac{1}{2}z_{a_{des}}$	153
Πίνακας 6.51. Κόστος στοιχείων ανά ομάδα στοιχείων, όροφο και συνολικά βάσει μεθόδου Monte Carlo για συντελεστή κλιμάκωσης $2z_{a_{des}}$	153
Πίνακας 6.52. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής κτιρίου για τα τρία επίπεδα έντασης βάσει μεθόδου Monte Carlo.....	155

Παραρτήματα.

Πίνακας A.1. Πληροφορίες υποστυλωμάτων 1 ^{ου} ορόφου.....	166
Πίνακας A.2. Πληροφορίες υποστυλωμάτων 2 ^{ου} ορόφου.....	166
Πίνακας A.3. Πληροφορίες υποστυλωμάτων 3 ^{ου} ορόφου.....	167
Πίνακας A.4. Πληροφορίες υποστυλωμάτων 4 ^{ου} ορόφου.....	167
Πίνακας A.5. Πληροφορίες δοκών 1 ^{ου} ορόφου.	168
Πίνακας A.6. Πληροφορίες δοκών 2 ^{ου} ορόφου.	168
Πίνακας A.7. Πληροφορίες δοκών 3 ^{ου} ορόφου.	169
Πίνακας A.8. Πληροφορίες δοκών 4 ^{ου} ορόφου.	170
Πίνακας A.9. Πληροφορίες τοιχοπληρώσεων 1 ^{ου} ορόφου.	170
Πίνακας A.10. Πληροφορίες τοιχοπληρώσεων 2 ^{ου} ορόφου.	171
Πίνακας A.11. Πληροφορίες τοιχοπληρώσεων 3 ^{ου} ορόφου.	172
Πίνακας A.12. Πληροφορίες τοιχοπληρώσεων 4 ^{ου} ορόφου.	173
Πίνακας A.13. Πληροφορίες πορτών 1 ^{ου} ορόφου.	174
Πίνακας A.14. Πληροφορίες πορτών 2 ^{ου} ορόφου.	175
Πίνακας A.15. Πληροφορίες πορτών 3 ^{ου} ορόφου.	175
Πίνακας A.16. Πληροφορίες πορτών 4 ^{ου} ορόφου.	175
Πίνακας A.17. Πληροφορίες παραθύρων 1 ^{ου} ορόφου.....	176
Πίνακας A.18. Πληροφορίες παραθύρων 2 ^{ου} ορόφου.....	176
Πίνακας A.19. Πληροφορίες παραθύρων 3 ^{ου} ορόφου.....	176
Πίνακας A.20. Πληροφορίες παραθύρων 4 ^{ου} ορόφου.....	177

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Κεφάλαιο 2.

Σχήμα 2.1. Στάδια μεθοδολογίας PBEE.....	13
--	----

Κεφάλαιο 3.

Σχήμα 3.1. Χάρτης Σεισμικών Ζωνών Κύπρου.....	32
Σχήμα 3.2. Ελαστικό φάσμα αποκρίσεων σεισμού κατά Ευρωκώδικα 8.....	33
Σχήμα 3.3. Πρόσοψη Κτιρίου.....	39
Σχήμα 3.4. Πρόσοψη Κτιρίου.....	39
Σχήμα 3.5. Πίσω Όψη Κτιρίου.	40
Σχήμα 3.6. Πλάγια Όψη Κτιρίου.....	40
Σχήμα 3.7. Πλάγια Όψη Κτιρίου.....	41
Σχήμα 3.8. Τομή Δεύτερου Ορόφου Κτιρίου.....	41

Κεφάλαιο 4.

Σχήμα 4.1. Διατομές ινών υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων.....	46
Σχήμα 4.2. Διατομές ινών δοκών.....	47

Κεφάλαιο 5.

Σχήμα 5.1. Καμπύλες τρωτότητας υποστυλωμάτων και δοκών.....	66
Σχήμα 5.2. Καμπύλες τρωτότητας τοιχωμάτων.	66
Σχήμα 5.3. Καμπύλες τρωτότητας τοιχοπληρώσεων.	68
Σχήμα 5.4. Καμπύλες τρωτότητας πορτών.....	69
Σχήμα 5.5. Καμπύλες τρωτότητας παραθύρων.	71
Σχήμα 5.6. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους υποστυλωμάτων.	73
Σχήμα 5.7. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους δοκών.	74
Σχήμα 5.8. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους δομικής τοιχοποιίας.....	76
Σχήμα 5.9. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους μπατικής τοιχοποιίας.....	76
Σχήμα 5.10. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους ξύλινης πόρτας εσωτερικού χώρου.....	78

Σχήμα 5.11. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους ξύλινης πόρτας κύριας εισόδου κατοικίας.	78
Σχήμα 5.12. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους μεταλλικής πόρτας από αλουμίνιο.	79
Σχήμα 5.13. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους πόρτας κύριας εισόδου πολυκατοικίας.....	79
Σχήμα 5.14. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους παραθύρων.	81
Σχήμα 5.15. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους πορτοπαραθύρων.....	81

Κεφάλαιο 6.

Σχήμα 6.1. Πρώτη ιδιομορφή κτιρίου, μεταφορική στη x διεύθυνση.	85
Σχήμα 6.2. Δεύτερη ιδιομορφή κτιρίου, μεταφορική στη y διεύθυνση.....	85
Σχήμα 6.3. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων εδάφους στη x διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	90
Σχήμα 6.4. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων εδάφους στη y διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	90
Σχήμα 6.5. Φάσματα αποκρίσεων επιταχυνσιογραφημάτων HOL090 (x-dir) και HOL360 (y-dir) για απόσβεση 5% και συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	91
Σχήμα 6.6. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων και μετακινήσεων πλάκας 1^{ou} ορόφου στη x διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	95
Σχήμα 6.7. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων και μετακινήσεων πλάκας 2^{ou} ορόφου στη x διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	95
Σχήμα 6.8. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων και μετακινήσεων πλάκας 3^{ou} ορόφου στη x διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	96
Σχήμα 6.9. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων και μετακινήσεων πλάκας 4^{ou} ορόφου στη x διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	96
Σχήμα 6.10. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων, μετακινήσεων στη y διεύθυνση και στροφών γύρω από τον z άξονα πλάκας 1^{ou} ορόφου για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	97
Σχήμα 6.11. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων, μετακινήσεων στη y διεύθυνση και στροφών γύρω από τον z άξονα πλάκας 2^{ou} ορόφου για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	97
Σχήμα 6.12. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων, μετακινήσεων στη y διεύθυνση και στροφών γύρω από τον z άξονα πλάκας 3^{ou} ορόφου για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	98

Σχήμα 6.13. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων, μετακινήσεων στη y διεύθυνση και στροφών γύρω από τον z άξονα πλάκας 4 ^{ου} ορόφου για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	98
Σχήμα 6.14. Χρονοϊστορία ανηγμένων σχετικών μετακινήσεων 1 ^{ου} ορόφου στη x και y διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	100
Σχήμα 6.15. Χρονοϊστορία ανηγμένων σχετικών μετακινήσεων 2 ^{ου} ορόφου στη x και y διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	100
Σχήμα 6.16. Χρονοϊστορία σχετικών μετακινήσεων 3 ^{ου} ορόφου στη x και y διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	101
Σχήμα 6.17. Χρονοϊστορία σχετικών μετακινήσεων 4 ^{ου} ορόφου στη x και y διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	101
Σχήμα 6.18. Καμπύλες τρωτότητας ορόφων.....	102
Σχήμα 6.19. Διαγραμματικές πιθανότητες ορόφων να ξεπεράσουν ή να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	104
Σχήμα 6.20. Σκαρίφημα απόκρισης πλακών για υπολογισμό ανηγμένης σχετικής μετατόπισης τοίχων.....	122
Σχήμα 6.21. Τρισδιάστατη απεικόνιση ζημιών στον 1 ^ο όροφο για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	144
Σχήμα 6.22. Τρισδιάστατη απεικόνιση ζημιών στον 2 ^ο όροφο για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	145
Σχήμα 6.23. Τρισδιάστατη απεικόνιση ζημιών στον 3ο όροφο για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	145
Σχήμα 6.24. Τρισδιάστατη απεικόνιση ζημιών στον 4ο όροφο για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	146
Σχήμα 6.25. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής υποστυλωμάτων για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	149
Σχήμα 6.26. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής δοκών για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	149
Σχήμα 6.27. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής τοιχοπληρώσεων για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	150
Σχήμα 6.28. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής πορτών για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	150
Σχήμα 6.29. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής παραθύρων για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	151
Σχήμα 6.30. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής κτιρίου για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	151
Σχήμα 6.31. Κόστος επισκευής ανά ομάδα στοιχείων και όροφο για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$	154
Σχήμα 6.32. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής κτιρίου για τα τρία επίπεδα έντασης, βάσει μεθόδου Monte Carlo.....	155

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται σε παγκόσμια κλίμακα, έντονο ενδιαφέρον για κατανόηση της συμπεριφοράς των κατασκευών όταν υποβληθούν σε σεισμική δόνηση. Η αβεβαιότητα η οποία καθιστά την πρόβλεψη μελλοντικών σεισμών αδύνατη, αποτελεί μια σημαντική δυσχέρεια στην ανάπτυξη προσομοιώσεων που θα περιγράψουν με ακρίβεια τις συνέπειες μιας μελλοντικής ισχυρής σεισμικής δόνησης στα κτίρια μιας περιοχής. Ως εκ τούτου, καταβάλλονται προσπάθειες, για να αναπτυχθούν προηγμένα μοντέλα προσομοίωσης για τον πιθανοτικό προσδιορισμό μετασεισμικών βλαβών. Σημαντική πτυχή στη διαδικασία εκτίμησης της επιτελεστικότητας των κατασκευών, αποτελεί η εκτίμηση των ζημιών και ο υπολογισμός του κόστους αποκατάστασης των κατασκευών σε σεισμό, στοιχεία απαραίτητα για την καλύτερη κατανόηση της σεισμικής συμπεριφοράς με τρόπο κατανοητό ακόμα και από μη μηχανικούς.

Παρουσιάζεται μεθοδολογία για την αυτόματη και ολοκληρωμένη εκτίμηση σεισμικών βλαβών και τον υπολογισμό του κόστους μετασεισμικής αποκατάστασης και αναπτύσσεται λογισμικό μέσω του οποίου παρέχεται πλήρης εκτίμηση της συμπεριφοράς ενός τετραώροφου κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα για συγκεκριμένα επίπεδα σεισμικής έντασης και για δεδομένο ζεύγος επιταχυνσιογραφημάτων στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις. Η πολύπλοκη αυτή διαδικασία περιλαμβάνει τη χρήση μη γραμμικών δυναμικών αναλύσεων οι οποίες συνδυάζονται με καμπύλες τρωτότητας, για την προσομοίωση πιθανών σεναρίων βλαβών, την απεικόνιση των ζημιών σε τρισδιάστατο προσομοίωμα του κτιρίου και τον υπολογισμό του αναμενόμενου κόστους επισκευής των δομικών και μη στοιχείων του κτιρίου. Συνεκτιμώντας την επιστημική αβεβαιότητα στις χρησιμοποιούμενες τιμές επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός όχι μόνο της κεντρικής τιμής αλλά και της διασποράς των ζητουμένων, προσφέροντας μια πλήρη εκτίμηση του οικονομικού κινδύνου που ζητείται να αναλάβει ο ιδιοκτήτης του κτιρίου.

Από την ανάλυση για σενάριο σεισμού με το αναμενόμενο επίπεδο σεισμικής έντασης για την περιοχή μελέτης, προκύπτει ότι έχουν προκληθεί εκτεταμένες ζημιές σε όλους τους ορόφους του κτιρίου με εξαίρεση τον πρώτο όπου είναι κάπως ελαφρότερες. Τα υποστυλώματα και οι δοκοί δεν παθαίνουν ζημιές σε αντίθεση με τις τοιχοπληρώσεις, τις πόρτες και τα παράθυρα τα οποία παθαίνουν εκτεταμένες ζημιές έως και πλήρη απώλεια. Το συνολικό αναμενόμενο κόστος επισκευής του κτιρίου, αν και σημαντικά μεγάλο, δεν υπερβαίνει το κόστος αντικατάστασής του.

ABSTRACT

The last years, intense interest is universally observed for comprehension of the structures behavior when they undergo seismic vibration. The uncertainty which makes the forecast of future earthquakes impossible, constitutes an important hindrance in the development of simulations which will precisely describe the consequences of a future powerful seismic vibration in the buildings in a specified region. Consequently, the construction engineers have long strived for improvements, in order to develop advanced simulation models for post-earthquake damage assessment. An important aspect in the building performance assessment process is the estimation of the losses and the calculation of post-earthquake rehabilitation cost. These information are essential for better comprehension of seismic behavior even from non-engineer clients.

A methodology is presented for integrated and automated seismic damage assessment and cost estimating for post-earthquake building rehabilitation and a software is developed which provides comprehensive view of a four-story reinforced concrete moment-frame building behavior for specified levels of shaking intensity and a given pair of ground motion time-histories. This complicated process includes the use of non-linear dynamic analyses to determine structural responses which are then combined with fragility curves to determine the probability that each structural and non-structural building component will be damaged and require repair or replacement. The probability is used to simulate the damage state of each assembly in the building, generate three-dimensional damage-assessment visualizations and subsequently calculate the expected repair cost per element, story and building. By estimating the epistemic uncertainty in the used prices, the complete cost distribution is determined rather than only the central price, offering a realistic comprehensive assessment of the economic risk that the householder of the building will be asked to undertake in the aftermath of an earthquake.

As a result of the earthquake scenario analysis with the expected level of seismic intensity for the study region, extensive damages have been caused in all the stories of the building, with the exception that in the first one there are slighter damages. The columns and beams do not suffer any damage, contrary to the walls, doors and windows which suffer extensive damages up to complete loss. The total expected repair cost of the building, even if considerably high, it does not exceed the replacement cost.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αυτή η εργασία δεν θα ήταν ολοκληρωμένη, εάν παρέλειπα να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους των οποίων η συμβολή υπήρξε καθοριστική για να καταστεί η έρευνα αυτών των δύο χρόνων δυνατή.

Θα ήθελα να εκφράσω τη βαθιά μου ευγνωμοσύνη στο σύμβουλο καθηγητή μου, κ. Δημήτρη Βαμβάτσικο, Λέκτορα στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Κύπρου, ο οποίος μοιράστηκε τις γνώσεις του μαζί μου και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ιδιαίτερο και ενδιαφέρον θέμα. Τον ευχαριστώ για τη συνεχή βοήθεια και υποστήριξη την οποία μου παρείχε και θέλω να πιστεύω ότι με τη δουλειά μου του έχω ανταποδώσει την εμπιστοσύνη την οποία έχει δείξει στο πρόσωπό μου. Ευελπιστώ στη συνέχιση αυτής μας της συνεργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον σύμβουλο καθηγητή μου, κ. Συμεών Χριστοδούλου, Επίκουρο Καθηγητή στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Κύπρου για την επιστημονική του στήριξη και καθοδήγηση σε όλα τα στάδια της έρευνας αυτής. Είμαι ειλικρινά ευγνώμων για τις συμβουλές και την προθυμία του να μου παρέχει κάθε δυνατή βοήθεια και στήριξη. Και πάλι, ευελπιστώ στη συνέχιση αυτής μας της συνεργασίας.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα, το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Κύπρου, για τη χορήγηση της υποτροφίας κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών, όπως επίσης, τους σύμβουλους καθηγητές μου και τον κ. Πάνο Παπαναστασίου, Κοσμήτορα της Πολυτεχνικής Σχολής, οι οποίοι μου ανέθεταν καθήκοντα βοηθού διδασκαλίας στα μαθήματά τους.

Να ευχαριστήσω το Ίδρυμα Προώθησης Ερευνών και το ερευνητικό πρόγραμμα KY-SLO/407/04 “Rehabilitate, Upgrade or Replace? Defining the Design of Buildings for Sustainable Urban Development” για τη χρηματική βοήθεια, κατά το δεύτερο χρόνο της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Να ευχαριστήσω τον κ. Παναγιώτη Ρουσσό, Λέκτορα στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Κύπρου, ο οποίος αποτελεί μέλος της επιτροπής εξέτασης της διατριβής και την κ. Σταυρούλα Πανταζοπούλου, Καθηγήτρια στο Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, για τις πολύτιμες πληροφορίες τις οποίες μου παρείχε μέσα από την πολύχρονη εμπειρία της σε θέματα επισκευών και ενισχύσεων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Να ευχαριστήσω τους κ. Σάββα Παναγιώτου και κ. Πλάτωνα Στυλιανού, μελετητές πολιτικούς μηχανικούς, όπως επίσης και τον κ. Στέλιο Αντωνίου, διευθύνων σύμβουλο σε κατασκευαστική εταιρεία, για την πολύτιμη βοήθεια την οποία μου προσέφεραν, παρέχοντας μου πληροφορίες χωρίς τις οποίες δεν θα καθίστατο δυνατή η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Ευχαριστώ όλη μου την οικογένεια και όλους όσους με στήριζαν αυτό το διάστημα των δύο χρόνων και όχι μόνο. Όποτε με χρειαστούν να ξέρουν ότι θα είμαι και εγώ εκεί...

Τέλος, να ευχαριστήσω τον Θεό και την Παναγία για τη δύναμη που μου έδιναν και την υπομονή να συνεχίσω και να καταφέρω να ολοκληρώσω αυτήν την έρευνα, παρά τις όποιες δυσκολίες.

Σας ευχαριστώ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενική Περιγραφή

Οι πρόσφατες εξελίξεις στη σεισμική μηχανική έχουν φέρει μια επανάσταση στον τρόπο κατανόησης της συμπεριφοράς των κτιρίων όταν υποβάλλονται σε σεισμικές διεγέρσεις. Η Σεισμική Μηχανική Βάσει Επιτελεστικότητας (Cornell & Krawinkler 2000, Miranda & Aslani 2003, Aslani & Miranda 2005, Mitrani-Reiser 2007) έχει αρχίσει να καθιερώνεται και οι μελέτες σημαντικών έργων υποδομής πλέον απομακρύνονται από την κλασική σχεδίαση απλής ικανοποίησης του κανονισμού (ένα μέγεθος για όλες τις ανάγκες) και κατευθύνονται προς τη σχεδίαση με στόχο τον πελάτη και τις ανάγκες του. Ο ιδιοκτήτης κάθε κτιρίου δύναται πλέον να αποφασίζει για την επιθυμητή επιτελεστικότητα σε κάθε επίπεδο έντασης (και συνεπαγόμενης σπανιότητας) του σεισμού.

Εντούτοις, η τρέχουσα πρακτική περιορίζει τις πληροφορίες που ανταλλάσσονται μεταξύ ιδιοκτητών και μηχανικών σε αριθμούς που ελάχιστα σημαίνουν για μη μηχανικούς, με αποτέλεσμα η επικοινωνία μεταξύ τους να παραμένει προβληματική. Οι ιδιοκτήτες σπανίως καταλαβαίνουν την ορολογία που χρησιμοποιείται από μηχανικούς και δεν μπορούν να αξιολογήσουν τις διαφορές μεταξύ των εναλλακτικών σχεδιάσεων και την πραγματική τους απόδοση σε σεισμό. Μπορεί να διαθέτουμε ισχυρές μεθόδους ανάλυσης καθώς και προγράμματα για την εφαρμογή αυτών σε ακριβείς προσομοιώσεις των κατασκευών, τα λεπτομερή αποτελέσματα που προκύπτουν όμως για κάθε στοιχείο (π.χ. πλαστικές στροφές των μελών ή μετατοπίσεις ορόφων) ελάχιστο νόημα έχουν για τους μη μηχανικούς ιδιοκτήτες. Πρόσφατες προσπάθειες να εκφραστεί η συμπεριφορά μιας κατασκευής σε πιο κατανοητούς όρους, όπως το κόστος μετασεισμικής αποκατάστασης, ο αριθμός των θυμάτων και ο χρόνος που θα μείνει το κτίριο εκτός λειτουργίας (π.χ. Miranda & Aslani 2003, Goulet et al 2007), έχουν εμφανώς βελτιώσει τις δυνατότητες επικοινωνίας μεταξύ μηχανικών και ιδιοκτητών.

Παρά το γεγονός ότι οι αβεβαιότητες οι οποίες εισάγονται στη διαδικασία εκτίμησης του κόστους και της χρονικής διάρκειας μετασεισμικής αποκατάστασης περιορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια των τελικών αποτελεσμάτων, ακόμα και απλές εκτιμήσεις αυτών των μεταβλητών δεν καταφέρνουν να μεταφέρουν ένα βασικό στοιχείο της σχεδίασης βάσει

επιτελεστικότητας, την πραγματική λειτουργικότητα της κατασκευής μετά από ένα σεισμικό γεγονός. Χωρίς την κατάλληλη δυνατότητα απεικόνισης επί ενός τρισδιάστατου μοντέλου, του τι πραγματικά θα συμβεί σε ένα κτίριο, τα δεδομένα τα οποία έχουν προκύπτουν από έρευνες εκτίμησης βλαβών σε δομικά και μη στοιχεία, παραμένουν απλοί αριθμοί.

1.2. Σκοπός και Στόχοι της Διατριβής

Η Σεισμική Μηχανική Βάσει Επιτελεστικότητας αποτελεί τη φυσική εξέλιξη της διαδικασίας σχεδιασμού των κατασκευών ώστε να συμπεριλαμβάνονται οι ιδιαίτερες απαιτήσεις των ιδιοκτητών για αυξημένη απόδοση των κτιρίων τους. Σκοπός της μεθοδολογίας αυτής είναι η εκτίμηση της απόδοσης της σεισμικής συμπεριφοράς των κτιρίων σε όρους οι οποίοι είναι κατανοητοί και ενδιαφέρουν τους ιδιοκτήτες. Οι όροι αυτοί, οι οποίοι αποτελούν τις μεταβλητές απόφασης, είναι το κόστος επισκευής και η χρονική διάρκεια αποκατάστασης του κτιρίου όπως επίσης και οι απώλειες σε ανθρώπινες ζωές. Η αξία της μεθοδολογίας αυτής, βρίσκεται στην ικανότητά της να πληροφορεί τους ιδιοκτήτες-μετόχους για την πραγματική σημασία των εναλλακτικών επιλογών σχεδιασμού, όπως η τοποθεσία ανέγερσης του κτιρίου, η διαστασιολόγηση των μελών του, η επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή των δομικών στοιχείων κ.λπ.

Σκοπός αυτής της έρευνας είναι να παρουσιαστεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την εκτίμηση των ζημιών και τον υπολογισμό του κόστους αποκατάστασης των κατασκευών σε σεισμό. Αυτή η διαδικασία είναι πολύ σημαντική, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις κτιρίων τα οποία φιλοξενούν μεγάλο αριθμό ανθρώπων και εργασιών, αφού τυχόν ζημιές έχουν ως συνέπεια την απαραίτητη εκκένωση, επισκευή και μη χρήση τους, έστω και για μικρό χρονικό διάστημα, προκαλώντας μεγάλες απώλειες στον ιδιοκτήτη τους.

Σημαντικό παράγοντα στην εκτίμηση των ζημιών και στον υπολογισμό του κόστους επισκευής διαδραματίζουν οι επιστημικές αβεβαιότητες των οποίων η διαδικασία περιορισμού είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη, χρονοβόρα, ίσως και αδύνατη. Εκτός των άλλων, μικρές παρεκκλίσεις από τις αναμενόμενες διαφοροποιούν τα υπολογιζόμενα κόστη γι' αυτό απαιτείται μεγάλη προσοχή. Η πιθανοτική κατανομή του κόστους, συναρτήσει αυτών των παραμέτρων είναι σίγουρα πολύ χρήσιμη, αφού προσφέρει μια καλή εκτίμηση του αναμενόμενου κόστους.

Για την επίλυση αυτού του ζητήματος, αναπτύσσεται μεθοδολογία και λογισμικό το οποίο παρέχει πλήρη εκτίμηση της κτιριακής συμπεριφοράς για κάθε επίπεδο σεισμικής έντασης και για οποιαδήποτε στάθμη επιτελεστικότητας, για δεδομένη σεισμική κίνηση. Συγκεκριμένα αξιοποιούνται τα αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης για όλα τα δομικά και μη στοιχεία του κτιρίου και σε συνδυασμό με καμπύλες τρωτότητας γίνεται εκτίμηση των πιθανοτήτων τα στοιχεία να υποστούν ζημιές που θα απαιτήσουν επισκευή ή αντικατάσταση. Η προκύπτουσα πιθανοτική κατανομή των ζημιών χρησιμοποιείται για την προσομοίωση πιθανών σεναρίων βλαβών και τον υπολογισμό του κόστους επισκευής του κτιρίου, προκειμένου να παραχθούν ρεαλιστικές εκτιμήσεις των επιπτώσεων που συνεπάγεται ένας σεισμός, σε δομικούς αλλά και οικονομικούς όρους.

Η διαθεσιμότητα των δεδομένων μιας ανάλυσης βάσει επιτελεστικότητας στο τρισδιάστατο χώρο βελτιώνει σημαντικά την κατανόησή τους, καθώς συνέπειες, όπως ο αποκλεισμός χώρων λόγω πτώσης χαλασμάτων στους διαδρόμους δεν είναι εύκολο να αποκρυπτογραφηθούν από τα αποτελέσματα οποιουδήποτε προγράμματος δομικής ανάλυσης, πόσο μάλλον να εξηγηθούν στον πελάτη. Με την τρισδιάστατη απεικόνιση των βλαβών, προσφέρεται το πλεονέκτημα σε σχεδιαστές και πελάτες να αναγνωρίσουν τους απρόσιτους χώρους, να διερευνήσουν πιθανές διαδρομές πρόσβασης για τα συνεργεία και τα υλικά και ουσιαστικά να κατανοήσουν τη μετασεισμική ικανότητα της κατασκευής τους να λειτουργεί κατά το επιθυμητό επίπεδο. Η βελτίωση της επιτελεστικότητας τυπικά συνεπάγεται την επένδυση μεγαλύτερου αρχικού κεφαλαίου για την κατασκευή, το οποίο αναμένεται να αποπληρωθεί μελλοντικά από τις μειωμένες βλάβες που θα έχει το κτίριο κατά τη διάρκεια ζωής του. Επομένως, για να διευκολυνθεί η διάθεση των απαραίτητων κεφαλαίων απαιτείται η ορθή επικοινωνία και κατανόηση των συνεπειών κάθε απόφασης που λαμβάνεται κατά το σχεδιασμό.

1.3. Οργάνωση της Διατριβής

Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται μεθοδολογία εκτίμησης ζημιών και οικονομικών επιπτώσεων μετά από δεδομένο σενάριο σεισμού. Η μεθοδολογία αυτή εφαρμόζεται σε ένα τετραώροφο κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος. Αφού επιλεγεί το κτίριο, γίνεται συλλογή αρχιτεκτονικών και στατικών σχεδίων με λεπτομέρειες και τις αντίστοιχες τεχνικές προδιαγραφές, σχεδίαση του τρισδιάστατου μοντέλου σε σχεδιαστικό πρόγραμμα, προσομοίωση

του φορέα σε πρόγραμμα εξειδικευμένο σε σεισμικές αναλύσεις, ανάπτυξη λογισμικού για την αξιοποίηση των δεδομένων που προκύπτουν από την ανάλυση αυτή, εκτίμηση των ζημιών που έχει πάθει κάθε μέλος και το κτίριο γενικά μέσω πιθανοτικών κατανομών, απεικόνιση των ζημιών στο τρισδιάστατο μοντέλο του κτιρίου, και υπολογισμός του κόστους μετασεισμικής αποκατάστασής του. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται αναλυτικά στα Κεφάλαια 2 έως και 7.

Στο Δεύτερο Κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποιες βασικές έννοιες πιθανοτήτων (Benjamin & Cornell 1970, Menun 2002) οι οποίες είναι απαραίτητες για κατανόηση της μεθοδολογίας η οποία αναπτύσσεται όπως επίσης και οι σημαντικότερες αβέβαιες μεταβλητές (Porter et al. 2002) οι οποίες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε μελέτες εκτίμησης επιτελεστικότητας συνήθων κτιρίων. Γίνεται εκτενής αναφορά στη μεθοδολογία της Σεισμικής Μηχανικής Βάσει Επιτελεστικότητας η οποία χρησιμοποιείται στην εκτίμηση των ζημιών και παρουσιάζονται δύο μέθοδοι για τον υπολογισμό του κόστους μετασεισμικής αποκατάστασης κατασκευών.

Στο Τρίτο Κεφάλαιο γίνεται μια γενική περιγραφή του κτιρίου στο οποίο θα εφαρμοστεί η μεθοδολογία αυτή και αναφέρονται οι τεχνικές προδιαγραφές βάσει των οποίων έχει γίνει ο σχεδιασμός και η μελέτη του. Γίνεται αναφορά στα σχεδιαστικά προγράμματα AutoCAD (AutoDesk 2005) και ArchiCAD (Graphisoft 2006), τα οποία αξιοποιούνται για την παρουσίαση δισδιάστατων και τρισδιάστατων απεικονίσεων του υπό μελέτη κτιρίου.

Στο Τέταρτο Κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στο τρισδιάστατο στατικό προσομοίωμα του κτιρίου στο OpenSEES (PEER Center 2006) και συγκεκριμένα στην προσομοίωση των υλικών και των κόμβων, την προσομοίωση των διατομών και τη συνδεσμολογία των υποστυλωμάτων και των δοκών, την κατανομή των φορτίων των πλακών, τον υπολογισμό των σεισμικών μαζών και την προσομοίωση της διαφραγματικής λειτουργίας των πλακών. Επιπρόσθετα παρουσιάζονται αναλυτικοί υπολογισμοί για την περίσφιξη των υποστυλωμάτων και των δοκών (Mander et al. 1988) ενώ γίνεται περιγραφή του τρόπου αξιοποίησης των αποτελεσμάτων της δυναμικής ανάλυσης (Mazzoni et al. 2007).

Στο Πέμπτο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι καμπύλες τρωτότητας και οι καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους δεδομένης κατάστασης ζημιάς για όλα τα στοιχεία της κατασκευής, δομικά και μη, και συγκεκριμένα για τα υποστυλώματα, τις δοκούς, τις τοιχοπληρώσεις, τις πόρτες και

τα παράθυρα. Παρουσιάζονται οι τιμές οι οποίες έχουν ληφθεί μετά από αξιολόγηση των ερωτηματολογίων τα οποία έχουν αποσταλεί σε επιστήμονες ειδικούς σε θέματα επισκευών και ενισχύσεων κατασκευών αλλά και σε μελετητές και εργολάβους οι οποίοι ειδικεύονται σε επισκευές κτιρίων.

Στο Έκτο Κεφάλαιο γίνεται εφαρμογή της μεθοδολογίας και όλων όσων έχουν περιγραφεί στα προηγούμενα κεφάλαια μέσω ενός λογισμικού το οποίο έχει αναπτυχθεί στο Matlab (MathWorks 2002) και παρέχεται πλήρης εκτίμηση της συμπεριφοράς του κτιρίου για τρία επίπεδα σεισμικής έντασης, για δεδομένο ζεύγος επιταχυνσιογραφημάτων στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις. Γίνεται αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων τα οποία προκύπτουν από την ανάλυση για σενάριο σεισμού με το αναμενόμενο επίπεδο σεισμικής έντασης για την περιοχή μελέτης, και τα οποία αφορούν αποκρίσεις του εδάφους και του κτιρίου όπως επίσης τις πιθανές ζημιές και το κόστος επισκευής των μελών του κτιρίου, ανά στοιχείο, ανά όροφο και συνολικά. Επιπρόσθετα γίνεται απεικόνιση των ζημιών των μελών στο τρισδιάστατο μοντέλο του κτιρίου το οποίο έχει αναπτυχθεί στο ArchiCAD, για καλύτερη κατανόηση της μετασεισμικής του κατάστασης.

Στο Έβδομο Κεφάλαιο γίνεται σύνοψη της μεθοδολογίας και των κυριότερων συμπερασμάτων τα οποία προκύπτουν μέσα από τα αποτελέσματα και προτείνονται ιδέες για μελλοντική έρευνα η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί για να βελτιωθεί η παρούσα και να προχωρήσει σε πιο εξελιγμένο στάδιο.

Στο τέλος παρουσιάζεται η βιβλιογραφία η οποία έχει χρησιμοποιηθεί στην έρευνα αυτή και τα Παραρτήματα με πίνακες πληροφοριών για όλα τα μέλη του κτιρίου, τα ερωτηματολόγια κόστους και τρωτότητας, σχέδια του κτιρίου στο AutoCAD με κατόψεις ορόφων και διατομές, όπως επίσης και ένα CD με όλα τα αρχεία και προγράμματα ανάλυσης τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί στην εργασία αυτή, για όποιον ενδιαφέρεται να πραγματοποιήσει παρόμοιες αναλύσεις.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

2.1. Βασικές Έννοιες Πιθανοτήτων

Η εκτίμηση των ζημιών και του κόστους επισκευής των μελών της κατασκευής αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία η οποία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις μεταβλητές οι οποίες εισάγονται στη διαδικασία αυτή και επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα εξαγόμενα αποτελέσματα. Οπότε καθίσταται αναγκαία η κατανόηση βασικών εννοιών πιθανοτήτων και κατ' επέκταση του τρόπου με τον οποίο οι μεταβλητές αυτές συμβάλλουν στον προσδιορισμό των τελικών αποτελεσμάτων, προκειμένου να γίνει ποσοτικοποίηση μέσω συγκεκριμένων πιθανοτικών κατανομών, των αβέβαιων βλαβών και του κόστους που συνεπάγεται ένας σεισμός.

2.1.1. Τυχαίες μεταβλητές

Ας υποθέσουμε ότι σε κάθε σημείο ενός δειγματοχώρου αντιστοιχούμε έναν αριθμό. Έχουμε έτσι μια συνάρτηση ορισμένη στο δειγματοχώρο. Η συνάρτηση αυτή καλείται τυχαία μεταβλητή (random variable) ή στοχαστική συνάρτηση και συμβολίζεται με ένα κεφαλαίο γράμμα π.χ. X ή Y . Γενικά, τυχαία καλείται η μεταβλητή της οποίας η ακριβής τιμή είναι άγνωστη, αλλά η κατανομή γνωστή (Menun 2002).

Αυτές οι μεταβλητές μπορούν να είναι διακριτές (discrete) ή συνεχείς (continuous). Διακριτές καλούνται οι τυχαίες μεταβλητές οι οποίες μπορούν να λάβουν πεπερασμένο ή άπειρο αριθμήσιμο πλήθος τιμών, όπως για παράδειγμα ο αριθμός των σεισμών κατά τη διάρκεια ενός έτους, καθώς μπορεί να λάβει τιμές οι οποίες μπορούν να απεικονιστούν σε υποσύνολο των φυσικών αριθμών N , π.χ. 0, 1, 2 κ.λπ. Συνεχείς καλούνται οι τυχαίες μεταβλητές οι οποίες μπορούν να λάβουν άπειρο μη αριθμήσιμο πλήθος τιμών και αντιπροσωπεύονται με ένα ή περισσότερα διαστήματα στο σύνολο των πραγματικών αριθμών R , τα οποία η τυχαία μεταβλητή μπορεί να λάβει, όπως για παράδειγμα η ένταση ενός σεισμού καθώς μπορεί να λάβει οποιαδήποτε τιμή ακέραια και μη, μεγαλύτερη του 0, π.χ. 5.3, 6.4, 7.8 κ.λπ. Η συνήθης σύμβαση είναι τα κεφαλαία γράμματα να αντιπροσωπεύουν τις τυχαίες μεταβλητές, ενώ τα μικρά γράμματα να αντιπροσωπεύουν τις πιθανές τιμές τις οποίες μπορούν να λάβουν. Στην περίπτωση την οποία μια μεταβλητή λαμβάνει διάφορες διακριτές τιμές, χρησιμοποιούνται δείκτες. Για παράδειγμα, η διακριτή τυχαία μεταβλητή X μπορεί να λάβει τιμές $x_1, x_2, \dots, x_N$.

Για καλύτερη κατανόηση, θα χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα, το αντικείμενο μελέτης αυτής της εργασίας, δηλαδή, η κατάσταση ενός κτιρίου μετά από ένα σεισμό. Έστω ότι η κατάσταση αυτή μπορεί να διακριτοποιηθεί σε τέσσερις στάθμες (καταστάσεις ζημιάς) ή τιμές: καθόλου ζημιά, ελαφρά ζημιά, σοβαρή ζημιά και κατάρρευση.

Μέσω κατάλληλης απεικόνισης (mapping), κάθε κατάσταση ζημιάς μπορεί να αντιπροσωπευθεί με ένα μοναδικό αριθμό. Αν θεωρήσουμε ως τυχαία μεταβλητή X , την άγνωστη μετασεισμική κατάσταση του κτιρίου και θεωρήσουμε ότι με 0 αντιπροσωπεύουμε την κατάσταση του κτιρίου όταν δεν έχει πάθει καθόλου ζημιές, 1 όταν έχει πάθει ελαφρές ζημιές, 2 όταν έχει πάθει σοβαρές ζημιές και 3 όταν έχει καταρρεύσει, τότε ως αποτέλεσμα αυτής της αντιστοίχισης, η μεταβλητή X θεωρείται διακριτή και μπορεί να λάβει τιμές 0, 1, 2 ή 3. Για παράδειγμα η συνθήκη $X < 3$, αντιπροσωπεύει την κατάσταση στην οποία το κτίριο δεν έχει καταρρεύσει, ενώ η συνθήκη $X = 0$, αντιπροσωπεύει την κατάσταση στην οποία το κτίριο δεν έχει πάθει καθόλου ζημιές.

Εάν ορίσουμε ως τυχαία μεταβλητή Y , ένα μέτρο απόκρισης της κατασκευής (π.χ. την ανηγμένη σχετική μετακίνηση ενός ορόφου) και προσπαθήσουμε μέσω αυτού να διαπιστώσουμε την άγνωστη μετασεισμική κατάσταση ζημιάς X , τότε το Y είναι μια συνεχής μεταβλητή η οποία κυμαίνεται στο διάστημα $[0, +\infty)$. Θέτοντας όρια στη συνεχή μεταβλητή Y , μπορεί να εκτιμηθεί η διακριτή μεταβλητή X . Για παράδειγμα, η περίπτωση στην οποία για ένα όροφο ισχύει $Y \leq 2\%$, αντιστοιχεί στη συνθήκη $X \leq 1$, δηλαδή την κατάσταση στην οποία ο συγκεκριμένος όροφος έχει πάθει καθόλου ή ελαφρές ζημιές.

2.1.2. Πιθανοτικές κατανομές

Οι πιθανοτικές κατανομές, χρησιμοποιούνται για την έκφραση των πιο πάνω πιθανοτήτων και την καλύτερη κατανόησή τους στις μαθηματικές αναλύσεις (π.χ. Benjamin & Cornell 1970).

Κατανομές Διακριτών Μεταβλητών

Μια διακριτή τυχαία μεταβλητή, χαρακτηρίζεται από τη συνάρτηση μάζας πιθανότητας (probability mass function PMF). Έστω X μια διακριτή τυχαία μεταβλητή, με πιθανές τιμές $x_1, x_2, \dots, x_N$. Για οποιαδήποτε τιμή x , ισχύει η εξίσωση 2.1.

$$p_x(x) = \begin{cases} P(X = x_i) & , x = x_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \\ 0 & , x \neq x_i \end{cases} \quad (2.1)$$

Η συνάρτηση μάζας πιθανότητας μιας τυχαίας μεταβλητής πρέπει να ακολουθεί τις συνθήκες οι οποίες περιγράφονται από τις εξισώσεις 2.2 και 2.3.

$$0 \leq p_x(x) \leq 1 \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^N p_x(x_i) = 1 \quad (2.3)$$

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής (cumulative distribution function CDF) μια τυχαίας μεταβλητής X , είναι η πιθανότητα μη υπέρβασης της τιμής x και εκφράζεται με την εξίσωση 2.4. Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής CDF είναι μονότονη, αύξουσα και λαμβάνει τιμές στο διάστημα $[0,1]$.

$$F_x(x) = P(X \leq x) = \sum_{x_k \leq x} p_x(x_k) \quad (2.4)$$

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής CDF μια τυχαίας μεταβλητής πρέπει να ακολουθεί τις συνθήκες οι οποίες περιγράφονται από τις εξισώσεις 2.5, 2.6 και 2.7.

$$F_x(-\infty) = 0 \quad (2.5)$$

$$F_x(+\infty) = 1 \quad (2.6)$$

$$P(a < X \leq b) = F_x(b) - F_x(a) \quad (2.7)$$

Κατανομές Συνεχών Μεταβλητών

Αν η X είναι μια συνεχής τυχαία μεταβλητή, η πιθανότητα να πάρει η X μια ορισμένη τιμή είναι γενικά μηδέν. Συνεπώς δεν μπορούμε να ορίσουμε μια συνάρτηση πιθανότητας με τον ίδιο τρόπο, όπως μια διακριτή μεταβλητή. Για να ορίσουμε την κατανομή πιθανότητας για μια συνεχή τυχαία μεταβλητή, παρατηρούμε ότι μόνο η περίπτωση η πιθανότητα να βρίσκεται η X μεταξύ δύο διαφορετικών τιμών έχει νόημα.

Οι συνεχείς τυχαίες μεταβλητές χαρακτηρίζονται από την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (probability density function PDF), η οποία για τις πλέον συνήθεις κατανομές αντιπροσωπεύεται από μια συνεχή καμπύλη πάνω από το πεδίο ορισμού της. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας PDF εκφράζεται με την εξίσωση 2.8.

$$P(x_1 \leq X \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f_X(x) dx \leq 1, \quad f_X(x) \geq 0 \quad (2.8)$$

Δηλαδή, η πιθανότητα η τυχαία μεταβλητή να λάβει τιμές μεταξύ του x_1 και του x_2 , ισούται με το εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ του οριζόντιου άξονα, της καμπύλης και των κάθετων ευθειών στις τιμές x_1 και x_2 . Δεδομένης της εξίσωσης 2.9, προκύπτει η εξίσωση 2.10 για τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας PDF.

$$P(-\infty \leq X \leq +\infty) = 1 \quad (2.9)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f_X(x) dx = 1 \quad (2.10)$$

Μια συνεχής τυχαία μεταβλητή, μπορεί να οριστεί με την αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας (cumulative density function CDF) όπως αυτή περιγράφεται από την εξίσωση 2.11, η οποία δίνει την πιθανότητα μη υπέρβασης μιας τιμής x .

$$F_X(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f_X(u) du \quad (2.11)$$

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας PDF και η αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας CDF μιας συνεχούς τυχαίας μεταβλητής, συσχετίζονται αφού η κλίση της CDF, είναι η PDF, δηλαδή με παραγωγή της CDF, προκύπτει η PDF. Αυτή η σχέση περιγράφεται από την εξίσωση 2.12.

$$f_X(x) = \frac{d}{dx} F_X(x) \quad (2.12)$$

Επιπλέον, υπάρχει η συμπληρωματική αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας CCDF (complemental cumulative density function CCDF), η οποία περιγράφεται από την εξίσωση 2.13, και δίνει την πιθανότητα υπέρβασης μιας τιμής x .

$$G(x) = P(X > x) = 1 - P(X \leq x) = 1 - CDF \quad (2.13)$$

Κανονική Κατανομή

Η κανονική κατανομή καθορίζεται από τη συνάρτηση PDF, η οποία δίνεται από την εξίσωση 2.14, όπου μ_X και σ_X , η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της κατανομής, αντίστοιχα. Χρησιμοποιείται ο συμβολισμός $X \sim N(\mu_X, \sigma_X)$, για να δηλώνεται η κανονική τυχαία μεταβλητή X η οποία έχει μέση τιμή μ_X και τυπική απόκλιση σ_X . Δεν υπάρχει αναλυτική εξίσωση για την συνάρτηση CDF της κανονικής κατανομής (π.χ. Menun 2002).

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_X} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_X}{\sigma_X} \right)^2 \right], \quad -\infty < x < +\infty \quad (2.14)$$

Όταν θέλουμε να περιγράψουμε μια ποσότητα η οποία εκφράζεται ως άθροισμα πολλών ανεξάρτητων τυχαίων μεταβλητών, τότε μπορούμε προσεγγιστικά να θεωρήσουμε ότι η κανονική κατανομή εκφράζει το φαινόμενο αυτό. Σύμφωνα με το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα (Central Limit Theorem) το άθροισμα πολλών ανεξάρτητων τυχαίων μεταβλητών, καμία από τις οποίες δεν είναι σημαντικά επικρατέστερη έναντι των άλλων, τείνει προς την κανονική κατανομή καθώς ο αριθμός των τυχαίων μεταβλητών στο άθροισμα, ασχέτως των αρχικών τους κατανομών, αυξάνει χωρίς όριο. Επίσης με βάση το ίδιο θεώρημα, το γινόμενο ενός μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων τυχαίων μεταβλητών, καμία από τις οποίες δε δεσπόζει του γινομένου, θα τείνει προς μια λογαριθμοκανονική κατανομή.

Λογαριθμοκανονική Κατανομή

Η λογαριθμοκανονική κατανομή (lognormal distribution) είναι η πιθανοτική κατανομή κάθε τυχαίας μεταβλητής της οποίας ο λογάριθμος ακολουθεί κανονική κατανομή. Εάν θεωρήσουμε ως X μια τυχαία μεταβλητή, $X \sim N(\mu_X, \sigma_X)$, τότε η τυχαία μεταβλητή $Y = \exp(X)$ ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή. Παρομοίως, εάν η Y ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή, η

$\log(Y)$ ή η $\ln(Y)$, δηλαδή ο δεκαδικός ή φυσικός λογάριθμος αυτής, ακολουθεί κανονική κατανομή (π.χ. Menun 2002).

Η λογαριθμοκανονική κατανομή της μεταβλητής Y έχει τη συνάρτηση CDF και τη συνάρτηση PDF, οι οποίες δίνονται από τις εξισώσεις 2.15 και 2.16, αντίστοιχα.

$$F_Y(y) = P(Y \leq y) = \Phi\left(\frac{\ln(y) - m_x}{s_x}\right) \quad y \geq 0 \quad (2.15)$$

$$f_Y(y) = \frac{d}{dy} F_Y(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} s_x y} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(y) - m_x}{s_x}\right)^2\right], \quad y \geq 0 \quad (2.16)$$

Η μέση τιμή m_Y , η διάμεση τιμή m_{50} και η τυπική απόκλιση s_Y της τυχαίας μεταβλητής Y , δίνονται από τις εξισώσεις 2.17, 2.18 και 2.19 αντίστοιχα.

$$m_Y = \exp\left(m_x + \frac{s_x^2}{2}\right) \quad (2.17)$$

$$m_{50\%} = \exp(m_x) \quad (2.18)$$

$$s_Y = \exp\left(m_x + \frac{s_x^2}{2}\right) \sqrt{\exp(s_x^2) - 1} \quad (2.19)$$

2.2. Σεισμική Μηχανική Βάσει Επιτελεστικότητας

Η Σεισμική Μηχανική Βάσει Επιτελεστικότητας PBEE (Performance-Based Earthquake Engineering) αποτελεί τη φυσική εξέλιξη της διαδικασίας σχεδιασμού των κατασκευών ώστε να συμπεριλαμβάνονται οι ιδιαίτερες απαιτήσεις των ιδιοκτητών για αυξημένη απόδοση των κτιρίων τους. Επιτρέπει το σχεδιασμό κατασκευών που μπορούν να αντέξουν σε λιγότερο ή περισσότερο συχνούς σεισμούς παρέχοντας την επιθυμητή επιτελεστικότητα, για παράδειγμα παραμένοντας πλήρως λειτουργικές για χαμηλής εντάσεως συνήθη γεγονότα, παρουσιάζοντας χαμηλές βλάβες για λιγότερο συχνά γεγονότα ενώ απαιτούν σοβαρές επισκευές ή και αντικατάσταση για τους ισχυρότερους σεισμούς, χωρίς όμως να καταρρέουν. Προσφάτως, έχουν παρουσιαστεί διάφοροι κανονισμοί που αναγνωρίζουν αυτές τις ανάγκες, όπως για παράδειγμα οι SAC/FEMA-350/351 (SAC 2000), FEMA-356 (FEMA 2000) και ATC-40 (ATC 1996).

Ιδιαίτερης σημασίας είναι η μεθοδολογία του Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center (Cornell & Krawinkler 2000) που παρέχει μια πλήρη εκτίμηση της κτιριακής συμπεριφοράς για κάθε επίπεδο σεισμικής έντασης και για οποιαδήποτε στάθμη επιτελεστικότητας μέσω της ολοκλήρωσης της σεισμικής επικινδυνότητας και των αποτελεσμάτων της δομικής ανάλυσης με δεδομένα βλαβών και κόστους για να παραχθούν ρεαλιστικές εκτιμήσεις των επιπτώσεων που συνεπάγεται ένας σεισμός.

Η μεθοδολογία PBEE και η εφαρμογή της σε κτίρια κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα, χάλυβα κ.λπ., τα οποία είτε είναι ήδη κτισμένα είτε πρόκειται να κατασκευαστούν μελλοντικά, έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας πολλών μελετητών όπως των Goulet et al. (2007), Mitrani-Reiser (2007), Miranda & Aslani (2003) κ.α. Μια συμβατή αναλυτική προσέγγιση η οποία μπορεί να εφαρμοστεί στα πλαίσια της μεθοδολογίας PBEE, είναι η Τεχνική της Τρωτότητας Βάσει Δομών, ABV (Assembly-Based Vulnerability), μια μεθοδολογία η οποία αναπτύχθηκε από τον Porter (2000,2001) και επέκτεινε την τεχνική η οποία αναπτύχθηκε από τους Scholl (1980) και Kustu (1982,1986). Επιπλέον, στα πλαίσια της Σεισμικής Μηχανικής Βάσει Επιτελεστικότητας, η Τεχνική της Τρωτότητας Βάσει Δομών μπορεί να συνδυαστεί με τη χρήση εξελιγμένων τεχνικών ανάλυσης, όπως η Ανάλυση Δυναμικής Αντίστασης (Incremental Dynamic Analysis) η οποία αναπτύχθηκε από τους Vamvatsikos & Cornell (2002,2004), ώστε να επιτρέψει τον ακριβή υπολογισμό της μέσης συχνότητας υπέρβασης μεγεθών κόστους και χρόνου αποκατάστασης του κτιρίου.

Σκοπός της μεθοδολογίας PBEE είναι η εκτίμηση της απόδοσης της σεισμικής συμπεριφοράς των κτιρίων, σε όρους οι οποίοι είναι κατανοητοί και ενδιαφέρουν τους ιδιοκτήτες. Οι όροι αυτοί, οι οποίοι αποτελούν τις μεταβλητές απόφασης (decision variables DVs), είναι το κόστος επισκευής και η χρονική διάρκεια αποκατάστασης του κτιρίου όπως επίσης και οι απώλειες ανθρώπινων ζώων. Η αξία της μεθοδολογίας αυτής, βρίσκεται στην ικανότητά της να πληροφορεί τους ιδιοκτήτες-μετόχους με την πραγματική σημασία των εναλλακτικών επιλογών σχεδιασμού, όπως η τοποθεσία ανέγερσης του κτιρίου, η διαστασιολόγηση των μελών του, η επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή των δομικών στοιχείων κ.λπ.

Η μεθοδολογία αυτή αποτελείται από τέσσερα ευδιάκριτα διαδοχικά αναλυτικά στάδια, την ανάλυση κινδύνου (hazard analysis), τη στατική και δυναμική ανάλυση του κτιρίου (structural

analysis), την ανάλυση των ζημιών (damage analysis) και την ανάλυση των απωλειών (loss analysis). Η μεθοδολογία είναι πιθανοτική, δηλαδή σε κάθε στάδιο ανάλυσης περιλαμβάνονται συνδυασμένες αριθμητικές μέθοδοι όλων των πιθανών περιπτώσεων, προκειμένου να μεταφέρονται οι αβεβαιότητες από βήμα σε βήμα, έτσι ώστε στο τέλος να προκύπτει η συνολική πιθανοτική πρόβλεψη της επιτελεστικότητας του κτιρίου, η οποία μπορεί να εκφραστεί μέσω της εξίσωσης 2.20 (π.χ. Porter et al. 2002).

$$g[DV] = \int_{DM} \int_{EDP} \int_{IM} p[DV | DM] p[DM | EDP] p[EDP | IM] g[IM] dIM dEDP dDM \quad (2.20)$$

όπου,

DV: η μεταβλητή απόφασης (decision variable), παράμετρος βάσει της οποίας εκτιμάται η επιτελεστικότητα της κατασκευής όπως το κόστος επισκευής.

DM: το μέτρο ζημιάς (damage measure), παράμετρος βάσει της οποίας καθορίζονται τα επίπεδα ζημιάς των μελών της κατασκευής π.χ. καθόλου, ελαφρές, σοβαρές ζημιές, κατάρρευση.

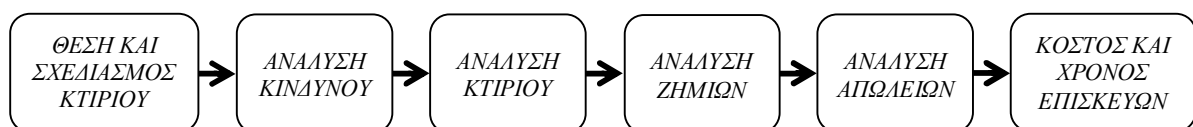
EDP: το μέτρο απόκρισης (engineering demand parameter) π.χ. η ανηγμένη σχετική μετακίνηση ενός ορόφου.

IM: το μέτρο έντασης (intensity measure), παράμετρος έκφρασης της επιρροής του σεισμού στην κατασκευή π.χ. η φασματική επιτάχυνση στην πρώτη ιδιομορφή.

$p[\cdot]$: η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ποσότητας μέσα στην παρένθεση.

$g[IM]$: η μέση ετήσια συχνότητα υπέρβασης της σεισμικής έντασης IM για τη δεδομένη τοποθεσία.

$g[DV]$: η μέση ετήσια συχνότητα υπέρβασης της τιμής DV της μεταβλητής απόφασης.



Σχήμα 2.1. Στάδια μεθοδολογίας PBEE (προσαρμοσμένα από Porter et al. 2002).

Βάσει του Σχήματος 2.1, οι μεταβλητές απόφασης DVs (κόστος και χρόνος επισκευών), ποσοτικοποιούνται ως συνάρτηση της θέσης και του σχεδιασμού του κτιρίου. Επιπλέον, τα στάδια της ανάλυσης μπορούν να διακριτοποιηθούν ανάλογα με την επαγγελματική ειδικότητα, δηλαδή, η ανάλυση κινδύνου μπορεί να πραγματοποιηθεί από τους σεισμολόγους και τους

γεωτεχνικούς μηχανικούς με περιορισμένη γνώση ζητημάτων δομοστατικής. Ομοίως, η στατική και δυναμική ανάλυση μπορεί να πραγματοποιηθεί από τους δομοστατικούς μηχανικούς χωρίς εξειδικευμένη γνώση των βημάτων που προηγήθηκαν ή ακολουθούν.

Το πρώτο βήμα περιλαμβάνει την ανάλυση κινδύνου, στην οποία καθορίζεται η καμπύλη μέσης ετήσιας συχνότητας υπέρβασης της έντασης της εδαφικής κίνησης αναλόγως της τοποθεσίας του κτιρίου, λαμβανομένων υπόψη των τοπικών ρηγμάτων και των χαρακτηριστικών τους. Ως εδαφική ένταση IM, λαμβάνεται η φασματική επιτάχυνση στη θεμελιώδη ιδιομορφή-περίοδο του κτιρίου σε απόσβεση 5%, η οποία συμβολίζεται με $S_a(T_1, 5\%)$. Βάσει αυτής της τιμής, επιλέγεται ή παράγεται ένα σύνολο από επιταχυνσιογραφήματα (χρονοϊστορίες εδαφικής κίνησης) τα οποία κλιμακώνονται για να είναι συμβατά με το προσδιοριζόμενο επίπεδο κινδύνου για να επιτευχθεί η επιθυμητή ασφάλεια για τη συγκεκριμένη τοποθεσία.

Το δεύτερο βήμα, περιλαμβάνει ένα σύνολο από μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις του κτιρίου για κάθε ένα επιταχυνσιογράφημα και για μια σειρά από συντελεστές κλιμάκωσης. Από κάθε ανάλυση προκύπτει ένα σύνολο δομικών αποκρίσεων οι οποίες αποτελούν τα μέτρα απόκρισης EDPs όπως οι πλαστικές στροφές των μελών, οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων, οι επιταχύνσεις των ορόφων κ.λπ., οι οποίες στη συνέχεια εισάγονται σε συναρτήσεις τρωτότητας οι οποίες εκφράζουν την υπό όρους πιθανότητα ένα στοιχείο (π.χ. υποστύλωμα, δοκός, τοίχος) να βρίσκεται ή να έχει υπερβεί κάποια από τις στάθμες επιτελεστικότητας. Η κατάσταση ζημιάς κάθε μέλους καθορίζεται από το μέγεθος της επισκευής η οποία απαιτείται προκειμένου να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση. Κάθε συνάρτηση τρωτότητας μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμη με μια πιθανοτική κατανομή της φέρουσας ικανότητας κάθε μέλους. Αν θεωρήσουμε την πιθανότητα ένα μέλος να υπερβεί την κατάσταση ζημιάς Y όταν εκτεθεί σε ένα μέτρο απόκρισης X με τιμή x , τότε αυτή η πιθανότητα είναι ίση με τη πιθανότητα η τυχαία ικανότητα του μέλους για τη δεδομένη κατάσταση βλάβης σε όρους του μέτρου X , να είναι μικρότερη του x .

Για κάθε μέλος, συγκρίνεται η απόκριση στην οποία εκτίθεται με τη φέρουσα ικανότητά του, προκειμένου να καθοριστεί η πιθανότητα το μέλος να έχει ξεπεράσει την οριακή του κατάσταση και να απαιτεί επισκευή ή αντικατάσταση. Πραγματοποιώντας αυτή τη διαδικασία σύγκρισης για κάθε μέλος, δημιουργείται μία πλήρης εικόνα της κατάστασης ζημιών όλου του κτιρίου και

γίνεται γνωστό το μέγεθος των επισκευών που πρέπει να πραγματοποιηθούν προκειμένου να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση.

Λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος ζημιάς υπολογίζεται το κόστος επισκευής κάθε μέλους και προσδιορίζεται το συνολικό κόστος επισκευής του κτιρίου. Επομένως για κάθε ανάλυση η οποία πραγματοποιείται προκύπτει ένα ζεύγος τιμών (S_a, CR), όπου S_a η φασματική επιτάχυνση η οποία αντιστοιχεί στην πρώτη ιδιομορφή (μέτρο έντασης) και CR (repair cost) το συνολικό κόστος επισκευής του κτιρίου (μεταβλητή απόφασης). Το κόστος επισκευής CR εκφράζεται συνήθως ως κλάσμα προς το κόστος αντικατάστασης του κτιρίου CRN , (new replacement cost). Αυτή η αναλογία αναφέρεται ως συντελεστής ζημιών (damage factor), $DF = CR / CRN$.

Η πιο πάνω ανάλυση έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός διαγράμματος με τον κατακόρυφο άξονα να δείχνει τη φασματική επιτάχυνση $S_a(T_1)$ και τον οριζόντιο άξονα να δείχνει το κόστος επισκευής του κτιρίου CR , συχνά εκφρασμένο ως συντελεστή ζημιών DF . Στο διάγραμμα σχεδιάζονται τρεις καμπύλες, η διάμεση τιμή (50%) του συντελεστή ζημιών και δύο διακεκομμένες γραμμές οι οποίες αναπαριστούν την τυπική απόκλιση του συντελεστή αυτού, αντιστοιχώντας στο 16% και 84% της κατανομής. Με αυτόν τον τρόπο, οποιαδήποτε τιμή της φασματικής επιτάχυνσης S_a , αντιστοιχεί σε μια πιθανοτική κατανομή του συντελεστή ζημιών DF .

Γνωρίζοντας τις απαιτούμενες επισκευές οι οποίες πρέπει να πραγματοποιηθούν, είναι εφικτό να γίνει ένας χρονοπρογραμματισμός των διαδικασιών επισκευής, μέσα από τον οποίο θα εκτιμάται η διάρκεια εκκένωσης και μη χρήσης του κτιρίου (loss-of-use duration) και το αντίστοιχο κόστος CU (loss-of-use cost). Αυτή η διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί μέσω εξειδικευμένων λογισμικών χρονοπρογραμματισμού και κοστολόγησης των πόρων (κόστος των εργατικών, των υλικών, των μηχανημάτων κ.λπ.) όπως το Primavera Project Planner (Oracle 2007) ή το MS Office Project (Microsoft 2007). Αθροίζοντας το άμεσο κόστος επισκευής του κτιρίου και το κόστος λόγω μη χρήσης προκύπτει το συνολικό κόστος αποκατάστασης του κτιρίου. Η διαδικασία αυτή, αν και δεν αποτελεί αντικείμενο έρευνας της παρούσας εργασίας, αναφέρεται συνοπτικά.

Τελικός σκοπός των εργασιών εκτίμησης του κόστους και της χρονικής διάρκειας αποκατάστασης κατασκευών σε σεισμό είναι να συγκριθεί το συνολικό κόστος αποκατάστασης

με το κόστος αντικατάστασης του κτιρίου, προκειμένου να αποφασιστεί αν θα γίνει επισκευή του κτιρίου ή πλήρης κατεδάφιση και αντικατάστασή του. Σύμφωνα με τους Goulet et al. (2007), οι υπολογιζόμενες αναμενόμενες μέσες ετήσιες απώλειες για διάφορα είδη κτιρίων, κυμαίνονται μεταξύ 0.6 έως 1.1% του κόστους αντικατάστασης, όπου οι μικρότερες απώλειες αφορούν κτίρια τα οποία έχουν σχεδιαστεί με κριτήρια τα οποία υπερβαίνουν τις απαιτήσεις του κώδικα και οι μεγαλύτερες απώλειες αφορούν κτίρια τα οποία έχουν σχεδιαστεί με τις ελάχιστες απαιτήσεις του κώδικα.

2.2.1. Καθορισμός ζημιών των μελών της κατασκευής

Αφού επιλεγεί το κτίριο για το οποίο θα εκτιμηθεί η επιτελεστικότητα σε σεισμό, προσομοιώνεται σε κατάλληλο λογισμικό, π.χ. OpenSEES (PEER Center 2006), όπου πραγματοποιούνται μη γραμμικές δυναμικές αναλύσεις υπό πολλαπλά επιταχυνσιογραφήματα, τα οποία επιλέγονται και κλιμακώνονται αναλόγως του επιθυμητού μέτρου έντασης. Στην παρούσα έρευνα, θα γίνει εφαρμογή ενός σεναρίου σεισμού, με ένα δεδομένο ζεύγος επιταχυνσιογραφημάτων το οποίο θα κλιμακωθεί σε τρία επίπεδα έντασης. Λαμβάνοντας υπόψη τις αβεβαιότητες οι οποίες περικλείονται στη διαδικασία, προκύπτουν οι σεισμικές αποκρίσεις των στοιχείων – κόμβων του κτιρίου, όπως η μέγιστη σχετική μετατόπιση ορόφων, η μέγιστη μετατόπιση και επιτάχυνση ορόφου, οι πλαστικές στροφές στα άκρα των στοιχείων κ.λπ. Οι αποκρίσεις αυτές αναφέρονται ως μέτρα απόκρισης EDP.

Οι μέγιστες αποκρίσεις EDP, οι οποίες προκύπτουν από τις αναλύσεις χρονοϊστορίας εισάγονται σε συναρτήσεις τρωτότητας προκειμένου να καθοριστεί το επίπεδο ζημιάς κάθε μέλους της κατασκευής και συγκεκριμένα να υπολογιστεί η πιθανότητα ένα δομικό στοιχείο τύπου *i*, να φτάσει ή να ξεπεράσει το επίπεδο ζημιάς *j*, δεδομένου ότι δεν έχει προκληθεί κατάρρευση (Not Collapsing, NC) και δεδομένης σεισμικής έντασης IM. Σε ορισμένες περιπτώσεις ενδέχεται το μέτρο ζημιάς σε ένα μέλος να εξαρτάται μόνο από ένα μέτρο απόκρισης ενώ σε άλλες να εξαρτάται από περισσότερα. Επομένως για λόγους καλύτερης αξιολόγησης της κατάστασης ενός μέλους και του κόστους επισκευής του, το μέτρο ζημιάς DM διακριτοποιείται σε *k* στάθμες DS (damage states), αναλόγως του μέλους. Οι στάθμες αυτές αποτελούν τις καταστάσεις ζημιάς ή επίπεδα ζημιάς ή στάθμες επιτελεστικότητας και χαρακτηρίζονται με ονόματα και κατάλληλα χρώματα π.χ. καθόλου ζημιές, ελαφρές ζημιές, μέτριες ζημιές, σοβαρές ζημιές και πλήρης

απώλεια (π.χ. μία δοκός μπορεί να καταστραφεί εξωτερικά και ο οπλισμός να παραμείνει άθικτος ενώ σε μια άλλη μπορεί να καταστραφούν ολοκληρωτικά και το σκυρόδεμα και ο οπλισμός).

Ορίζεται ως k ο αριθμός των πιθανών καταστάσεων ζημιάς ενός συγκεκριμένου μέλους, DS μια διακριτή τυχαία μεταβλητή που καθορίζει την κατάσταση ζημιάς, $DS \in \{0, 1, 2, \dots, k\}$, (η κατάσταση DS_0 σημαίνει ότι το μέλος παραμένει άθικτο στο σεισμό) και ds μια συγκεκριμένη τιμή την οποία λαμβάνει η τυχαία μεταβλητή για ένα συγκεκριμένο μέλος. Η κατάσταση ζημιάς DS του συγκεκριμένου μέλους εξαρτάται από το μέτρο απόκρισης EDP στο οποίο υπόκειται. Η μεταβλητή X_{ds} καθορίζεται ως η ικανότητα ενός μέλους να αντισταθεί σε μια συγκεκριμένη κατάσταση ζημιάς ds . Εάν το μέλος υπόκειται σε απόκριση $EDP < X_{ds}$, τότε δεν εισέρχεται σε κατάσταση ζημιάς ds . Αντίθετα, αν $EDP \geq X_{ds}$, τότε το μέλος φτάνει ή ξεπερνά την κατάσταση ζημιάς ds . Επειδή η ικανότητα X_{ds} , είναι μια συνεχής τυχαία μεταβλητή, έχει μια αθροιστική κατανομή πιθανότητας που συμβολίζεται με $F_{X_{ds}(edp)}$ και η οποία δίνει την πιθανότητα η αβέβαιη μεταβλητή X_{ds} να λαμβάνει τιμή μικρότερη ή ίση από μια συγκεκριμένη τιμή EDP .

Η αθροιστική κατανομή που υπολογίζεται στο επίπεδο της απόκρισης EDP δίνει την πιθανότητα ένα συγκεκριμένο μέλος να φτάσει ή να ξεπεράσει την κατάσταση ζημιάς ds , όπως φαίνεται στην εξίσωση 2.21.

$$P[DS \geq ds | EDP] = P[X_{ds} < EDP] = F_{X_{ds}}(EDP) \quad (2.21)$$

Μετά από ένα σεισμό, ένα μέλος είναι είτε άθικτο (DS_0) είτε έχει εισέλθει σε μια από τις καταστάσεις ζημιάς $DS_1, DS_2, \dots, DS_k$. Ως απλοποιητική προσέγγιση, οι καταστάσεις ζημιάς θεωρούνται προοδευτικές (progressive), δηλαδή ένα μέλος υπό αυξανόμενο EDP περνά από την κατάσταση ζημιάς ds στην κατάσταση ζημιάς $ds+1$ (Porter et al. 2001). Εάν ένα μέλος έχει $k+1$ πιθανές καταστάσεις ζημιάς και κάθε κατάσταση ζημιάς, εκτός της μηδενικής, έχει μια σχετιζόμενη τυχαία ικανότητα $X_1, X_2, \dots, X_k$, τότε η πιθανότητα ένα μέλος να βρίσκεται ή να έχει ξεπεράσει μια συγκεκριμένη κατάσταση ζημιάς, ξεκινάει από 1 και μειώνεται για κάθε ψηλότερη κατάσταση ζημιάς. Δεδομένου αυτού, η πιθανότητα ένα μέλος να βρίσκεται σε κατάσταση ζημιάς ds ισούται με την πιθανότητα να βρίσκεται σε κατάσταση ζημιάς ds ή ψηλότερη, πλην της πιθανότητας να βρίσκεται σε κατάσταση ζημιάς $ds+1$ ή ψηλότερη, όπως φαίνεται στην εξίσωση 2.22.

$$P[DS = ds | EDP] = \begin{cases} 1 - P[DS \geq 1 | EDP] & , an \ ds = 0 \\ P[DS \geq ds | EDP] - P[DS \geq ds + 1 | EDP] & , an \ 0 < ds < k \\ P[DS \geq ds | EDP] & , an \ ds = k \end{cases} \quad (2.22)$$

2.2.2. Κόστος επισκευής του κτιρίου

Σκοπός του επόμενου βήματος είναι ο υπολογισμός το συνολικού κόστους επισκευής για κάθε ανάλυση, βάσει των καταστάσεων ζημιάς όλων των μελών της κατασκευής. Ορίζουμε ως $C_{j,ds}$ το αβέβαιο κόστος επισκευής μιας μονάδας δηλαδή ενός μέλους από μια κατηγορία μελών j , από την κατάσταση ζημιάς ds στην αρχική της κατάσταση. Αυτό περιλαμβάνει κόστος υλικών, απαραίτητου εξοπλισμού και συνεργείου. Τα κόστη επισκευής των μονάδων αυτών θεωρούνται αβέβαιες μεταβλητές με χαρακτηριστική αθροιστική κατανομή πιθανότητας $F_{Cj,ds}(c)$ όπου c μια τιμή του κόστους μονάδας. Σκοπός είναι να γίνει μια κατανομή του κόστους για κάθε κατάσταση ζημιάς για κάθε μέλος της κατασκευής.

Οι αποκρίσεις των μελών οι οποίες προκύπτουν από τη δυναμική ανάλυση, συνδυάζονται με τις καμπύλες τρωτότητας, για τον υπολογισμό της πιθανότητας ένα στοιχείο τύπου i , να φτάσει ή να ξεπεράσει το επίπεδο ζημιάς j , δεδομένου ότι δεν έχει προκληθεί κατάρρευση (Not Collapsing, NC) και δεδομένης σεισμικής έντασης IM, όπως φαίνεται στην εξίσωση 2.23.

$$P[DM_{ij} | NC, IM] = \int_{EDP_i} P[DM_{ij} | EDP_i] p[EDP_i | NC, IM] dEDP_i \quad (2.23)$$

Ο πρώτος παράγοντας, $P[DM_{ij} | EDP_i]$, δίνεται από την καμπύλη τρωτότητας για το επίπεδο ζημιάς j , για ένα στοιχείο τύπου i , όπου το EDP_i είναι η τιμή του EDP, κατάλληλου για το στοιχείο τύπου i . Ο δεύτερος παράγοντας, $p[EDP_i | NC, IM]$, είναι η πιθανοτική συνάρτηση πυκνότητας PDF για το κατάλληλο EDP, δεδομένου ότι δεν έχει προκληθεί κατάρρευση (Not Collapsing, NC) και ενός δεδομένου μέτρου έντασης IM, για το οποίο γίνεται η υπόθεση ότι ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή.

Δεδομένου ότι η ανάλυση θα πραγματοποιηθεί για ένα σεισμικό σενάριο και επομένως για ένα μέτρο έντασης IM και ένα μέτρο απόκρισης EDP για κάθε ομάδα μελών, η εξίσωση 2.23 απλοποιείται στην εξίσωση 2.24.

$$P[DM_{ij} | NC, IM] = P[DM_{ij} | EDP_i] \quad (2.24)$$

Για τον υπολογισμό του μερικού κόστους κάθε στοιχείου αλλά και του συνολικού κόστους επισκευής του κτιρίου χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι. Στην πρώτη μέθοδο, η οποία εφαρμόζεται στη μελέτη των Goulet et al. (2007) και Miranda & Aslani (2003), ο υπολογισμός του συνολικού κόστους επισκευής του κτιρίου γίνεται μέσω μέσων τιμών και τυπικών αποκλίσεων, χρησιμοποιώντας βασικούς τύπους πιθανοτήτων. Αφού υπολογιστούν οι πιθανότητες των εξισώσεων 2.23 και 2.24, υπολογίζεται το κόστος επισκευής C_i για κάθε στοιχείο τύπου i , και συγκεκριμένα η πιθανότητα υπέρβασης αυτού του κόστους (CCDF), βάσει της εξίσωσης 2.25.

$$G[C_i] = \sum_{all\ j} \int G[C_i | DM_{ij}] p[DM_{ij} | EDP] dEDP \quad (2.25)$$

Για δεδομένο EDP το ολοκλήρωμα δεν χρειάζεται και η εξίσωση απλοποιείται στην 2.26.

$$G[C_i | EDP] = \sum_{all\ j} G[C_i | DM_{ij}] P[DM_{ij} | EDP] \quad (2.26)$$

Ο πρώτος παράγοντας, $G[C_i | DM_{ij}]$, αποτελεί την πιθανότητα υπέρβασης του κόστους C_i δεδομένου του επιπέδου ζημιάς DM_{ij} ενώ ο δεύτερος παράγοντας, $P[DM_{ij} | EDP]$, αποτελεί την πιθανότητα το μέλος τύπου i να βρίσκεται στο επίπεδο ζημιάς j , δεδομένου του EDP. Σημειώνεται ότι για την κατάσταση όπου δεν υπάρχουν ζημιές, ο όρος $G(C_i | nodamage)$ είναι ίσος με 1 για κόστος $C_i = 0$ και ίσος με 0 για κάθε κόστος $C_i > 0$.

Για καλύτερη κατανόηση θα χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα ένα υποστύλωμα και θα παρουσιαστεί αναλυτικά η διαδικασία υπολογισμού του κόστους επισκευής του. Για τα υποστυλώματα θεωρούμε πέντε καταστάσεις ζημιάς: καθόλου (no damage), ελαφρές (slight), μέτριες (moderate), σοβαρές (severe) ζημιές και κατάρρευση (collapse). Επίσης το μέτρο απόκρισης EDP βάσει του οποίου καθορίζεται η κατάσταση ζημιάς του, είναι η μέγιστη πλαστική στροφή (plastic rotation) η οποία αναπτύσσεται στα άκρα του. Έστω ότι από τη δυναμική ανάλυση προκύπτει ότι έχει $EDP = plRot_{max} = 2\% \text{ rad}$. Από τις καμπύλες τρωτότητας προκύπτουν οι πιθανότητες το υποστύλωμα να έχει φτάσει ή και να ξεπεράσει κάθε μια από αυτές τις καταστάσεις ζημιάς. Έστω ότι προκύπτει $G(slight|2\%rad)=85\%$,

$G(\text{moderate}|2\%\text{rad})=40\%$, $G(\text{severe}|2\%\text{rad})=20\%$ και $G(\text{collapse}|2\%\text{rad})=5\%$. Αφαιρώντας τα διαδοχικά επίπεδα ζημιάς προκύπτουν οι πιθανότητες το υποστύλωμα να βρίσκεται σε κάθε μια από τις πέντε καταστάσεις ζημιάς (εξίσωση 2.22): $P(\text{nodamage}|2\%\text{rad}) = 100\% - 85\% = 15\%$, $P(\text{slight}|2\%\text{rad}) = 85\% - 40\% = 45\%$, $P(\text{moderate}|2\%\text{rad}) = 40\% - 20\% = 20\%$, $P(\text{severe}|2\%\text{rad}) = 20\% - 5\% = 15\%$ και $P(\text{collapse}|2\%\text{rad}) = 5\%$. Το σύνολο των πέντε αυτών πιθανοτήτων είναι ίσο με τη μονάδα. Η πιθανότερη κατάσταση ζημιάς είναι η στάθμη ελαφρών ζημιών με πιθανότητα 45% και στο υποστύλωμα ανατίθεται κίτρινο χρώμα, κάτι το οποίο θα εξηγηθεί στα επόμενα κεφάλαια.

Για να υπολογιστεί η κατανομή του κόστους C_i για το δεδομένο στοιχείο i που είναι το υποστύλωμα, θεωρούμε ένα διάνυσμα πιθανών τιμών επισκευής, π.χ. από 0€ έως 3000€, ανά διαστήματα του 1€. Για κάθε μια τιμή κόστους υπολογίζονται οι πιθανότητες υπέρβασης της τιμής αυτής, βάσει της εξίσωσης 2.26. Εάν για παράδειγμα οι πιθανότητες υπέρβασης των 1500€, δεδομένης κάθε μιας κατάστασης ζημιάς, όπως προκύπτουν από τις καμπύλες υπέρβασης κόστους δεδομένης κατάστασης ζημιάς, είναι $G(1500\text{€}|\text{slight})=10\%$, $G(1500\text{€}|\text{moderate})=30\%$, $G(1500\text{€}|\text{severe})=80\%$ και $G(1500\text{€}|\text{collapse})=95\%$, προκύπτει ότι η πιθανότητα υπέρβασης των 1500€ είναι

$$\begin{aligned} G(C_i=1500\text{€}|2\%\text{rad}) &= P(C_i>1500\text{€}|2\%\text{rad}) = G(1500\text{€}|\text{nodamage}) \cdot P(\text{nodamage}|2\%\text{rad}) + \\ &G(1500\text{€}|\text{slight}) \cdot P(\text{slight}|2\%\text{rad}) + G(1500\text{€}|\text{moderate}) \cdot P(\text{moderate}|2\%\text{rad}) + \\ &G(1500\text{€}|\text{severe}) \cdot P(\text{severe}|2\%\text{rad}) + G(1500\text{€}|\text{collapse}) \cdot P(\text{collapse}|2\%\text{rad}) \\ &= 0 \cdot 15\% + 10\% \cdot 45\% + 30\% \cdot 20\% + 80\% \cdot 15\% + 95\% \cdot 5\% = 0.27 \end{aligned}$$

Αφού επαναληφθεί η πιο πάνω διαδικασία για όλες τις πιθανές τιμές κόστους προκύπτει η κατανομή του κόστους του υποστυλώματος και το αντίστοιχο διάγραμμα πιθανοτήτων υπέρβασης κάθε τιμής κόστους (CCDF). Αφαιρώντας κάθε πιθανότητα από τη μονάδα, προκύπτει το διάγραμμα πιθανοτήτων μη υπέρβασης κάθε τιμής κόστους CDF, και παραγωγίζοντας αριθμητικά τις τιμές αυτές για κάθε τιμή κόστους προκύπτει το διάγραμμα PDF. Παρά το γεγονός ότι λόγω των μικρών διαστημάτων του 1€ η μορφή του διαγράμματος είναι διακριτή, θεωρούμε ότι το διάγραμμα PDF αναπαριστά ουσιαστικά μια συνεχή καμπύλη με ευθείες μεταξύ των διακριτών σημείων, η οποία μοιάζει πολύ στην καμπύλη της κανονικής κατανομής. Η αναμενόμενη μέση τιμή του κόστους επισκευής του υποστυλώματος αυτού $E[C_i]$ υπολογίζεται από την εξίσωση 2.27. Η διασπορά (variance) $\text{Var}[C_i]$, η τυπική απόκλιση (standard

deviation) $Std[C_i]$ και ο συντελεστής διασποράς (coefficient of variation) $v[C_i]$ του κόστους αυτού δίνονται από τις εξισώσεις 2.28, 2.29 και 2.30, αντίστοιχα (π.χ. Benjamin & Cornell 1970).

$$E[C_i] = \sum_{all\ x} P(c_x) \cdot c_x \quad (2.27)$$

$$Var[C_i] = E[C_i^2] - (E[C_i])^2 = \sum_{all\ x} P(c_x) \cdot c_x^2 - (E[C_i])^2 \quad (2.28)$$

$$Std[C_i] = \sqrt{Var[C_i]} \quad (2.29)$$

$$v[C_i] = Std[C_i] / E[C_i] \quad (2.30)$$

Δεδομένου ότι δεν υπάρχει κατάρρευση, το συνολικό κόστος επισκευής κάθε ομάδας μελών (π.χ. όλων των υποστυλωμάτων) και κατ' επέκταση του κτιρίου δίνεται από την εξίσωση 2.31, ενώ θεωρώντας επιπλέον ότι η κατανομή του κόστους C_i κάθε στοιχείου είναι ανεξάρτητη των υπολοίπων (Goulet et al. 2007), η διασπορά, η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής διασποράς του συνολικού κόστους, δίνονται από τις εξισώσεις 2.32, 2.33 και 2.34, αντίστοιχα.

$$E[TC] = \sum_{all\ i} E[C_i] \quad (2.31)$$

$$Var[TC] = \sum_{all\ i} Var[C_i] \quad (2.32)$$

$$Std[TC] = \sqrt{Var[TC]} \quad (2.33)$$

$$v[TC] = Std[TC] / E[TC] \quad (2.34)$$

Με τη δεύτερη μέθοδο γίνεται υπολογισμός της κατανομής του κόστους επισκευής του κτιρίου με προσομοίωση Monte Carlo για N πιθανά σενάρια ζημιών. Αυτή η μέθοδος είναι πληρέστερη από την πρώτη μέθοδο καθώς δεν καταλήγουμε σε μια τελική μέση τιμή και διασπορά για το κόστος επισκευής αλλά διαθέτουμε ολόκληρη την κατανομή του κόστους. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, λαμβάνεται αριθμός N πιθανών σεναρίων ζημιάς σύμφωνα με την κατανομή του εκάστοτε κόστους επισκευής C_i . Αυτή η λήψη των τυχαίων δειγμάτων γίνεται με τη μέθοδο αντιστροφής της CDF κάθε C_i (Benjamin & Cornell 1970). Η μέθοδος αντιστροφής δουλεύει βάσει ενός θεμελιώδους θεωρήματος το οποίο συνδέει την ομοιόμορφη κατανομή με άλλες συνεχείς κατανομές. Συγκεκριμένα εάν η F είναι συνεχής κατανομή η οποία δύναται να

αντιστραφεί (F^{-1}), και u είναι ένας τυχαίος αριθμός από ομοιόμορφη κατανομή τότε η $F^{-1}(u)$ έχει κατανομή F . Για το λόγο αυτό, το μοναδιαίο κόστος λαμβάνεται ως αντίστροφη αθροιστική κατανομή του C_i υπολογισμένη στο u .

Συγκεκριμένα, λαμβάνεται ένας αριθμός N πιθανών σεναρίων ζημιάς (π.χ. $N=1000$), και το κόστος επισκευής C_i για κάθε στοιχείο υπολογίζεται λαμβάνοντας για κάθε μια τιμή από 1 έως N , μια ενδεικτική τυχαία τιμή u από την ομοιόμορφη κατανομή $(0,1)$ και εφαρμόζοντας την μέθοδο αντιστροφής. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί γιατί η καμπύλη CDF όπως προκύπτει από τους υπολογισμούς οι οποίοι παρουσιάστηκαν προηγουμένως, αποτελεί μια συνάρτηση από το κόστος C_i στο διάστημα $[0,1]$ το οποίο περιλαμβάνει ουσιαστικά τις αντίστοιχες πιθανότητες. Αυτή η συνάρτηση η οποία είναι 1-1 και επί, δύναται να αντιστραφεί. Επομένως εάν υπάρχει η δυνατότητα να λαμβάνονται τυχαίες τιμές στο διάστημα $[0,1]$, κάτι το οποίο προσφέρεται μέσω της εντολής "unifrnd" στο Matlab (MathWorks 2002), μέσω της αντιστροφής της CDF ($F_{C_i}^{-1}$), λαμβάνονται τυχαίες τιμές με την κατανομή της CDF, δηλαδή της κατανομής τους κόστους επισκευής του κάθε στοιχείου.

Πίνακας 2.1. Υπολογισμός κόστους βάσει προσομοίωσης Monte Carlo.

<i>n</i>	<i>Element 1</i>	<i>Element 2</i>	<i>Element 3</i>	<i>...</i>	<i>Element 100</i>	<i>Total</i>
1	$C_{1,n=1}$	$C_{2,n=1}$	$C_{3,n=1}$	...	$C_{100,n=1}$	$\sum_i [C_{i,n=1}]$
2	$C_{1,n=2}$	$C_{2,n=2}$	$C_{3,n=2}$	...	$C_{100,n=2}$	$\sum_i [C_{i,n=2}]$
...	...	...	...	...	...	...
1000	$C_{1,n=1000}$	$C_{2,n=1000}$	$C_{3,n=1000}$	...	$C_{100,n=1000}$	$\sum_i [C_{i,n=1000}]$
	$E[C_1]$	$E[C_2]$	$E[C_3]$	...	$E[C_{100}]$	$E[TC] = E\{\sum_p \sum_i [C_{i,n}]\}$
	$Var[C_1]$	$Var[C_2]$	$Var[C_3]$		$Var[C_{100}]$	$Var[TC]$

Με αυτόν τον τρόπο, έχουμε N τιμές πιθανού κόστους επισκευής για κάθε στοιχείο. Αν υπολογιστεί η μέση τιμή και η διασπορά αυτών, λαμβάνονται τα ίδια αποτελέσματα όπως και στην πρώτη μέθοδο (εξισώσεις 2.27 έως 2.30). Η ουσιαστική διαφορά της μεθόδου αυτής έγκειται στο ότι για κάθε σενάριο από 1 έως N , αθροίζονται τα επιμέρους κόστη των στοιχείων και υπολογίζεται το συνολικό κόστος επισκευής του κτιρίου. Με αυτόν τον τρόπο, δεν καταλήγουμε σε μια τιμή όπως στην πρώτη μέθοδο, αλλά διαθέτουμε πλέον, N τιμές πιθανού συνολικού κόστους επισκευής του κτιρίου. Υπολογίζοντας τη μέση τιμή και τη διασπορά αυτών των N τιμών, προκύπτει το αναμενόμενο συνολικό κόστος επισκευής του κτιρίου, η διασπορά, η

τυπική απόκλιση και ο συντελεστής διασποράς του κόστους αυτού. Η δεύτερη μέθοδος υπολογισμού του κόστους παρουσιάζεται συνοπτικά στον Πίνακα 2.1, για $i=1...100$ στοιχεία και $n=1...1000$ δείγματα για το καθένα.

2.3. Αβεβαιότητα στη Σεισμική Μηχανική

Η αβεβαιότητα (uncertainty) αποτελεί ένα καθοριστικό παράγοντα στη σεισμική μηχανική και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια των αποτελεσμάτων τα οποία προκύπτουν από τις σεισμικές αναλύσεις. Σύμφωνα με τους Porter et al. (2002), εάν κάποιος θέλει να εξασφαλίσει ένα κατώτατο επίπεδο επιτελεστικότητας (performance) της κατασκευής με συγκεκριμένη εμπιστοσύνη (confidence), τότε η μεγαλύτερη αβεβαιότητα στις σεισμικές απαιτήσεις ή την ικανότητα του συστήματος, αυξάνει το επίπεδο της ικανότητας για την οποία πρέπει να σχεδιαστεί. Εάν κάποιος μπορεί να μειώσει την αβεβαιότητα, μπορεί γενικά να μειώσει το κόστος.

Εντούτοις υπάρχουν πολλές πηγές αβεβαιότητας στη σεισμική μηχανική των κατασκευών, οι οποίες διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις φυσικές αβεβαιότητες (natural/aleatory randomness) δηλαδή αυτές που οφείλονται στην τυχαυματική φύση και τις οποίες δεν μπορούμε να μειώσουμε ως μελετητές. Τέτοιες αβεβαιότητες είναι το επίπεδο έντασης της εδαφικής κίνησης δηλαδή ουσιαστικά το σεισμικό φορτίο, πληροφορίες για τη χρήση του κτιρίου προκειμένου να καθοριστούν με ακρίβεια τα κατακόρυφα φορτία τα οποία καταπονούν την κατασκευή όπως επίσης και οι ιδιότητες των υλικών και οι διαστάσεις των μελών για ένα υπό σχεδίαση κτίριο. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις επιστημικές αβεβαιότητες (epistemic uncertainty) δηλαδή αυτές που οφείλονται στην ελλιπή μας γνώση και οι οποίες μέσω πειραματικών διαδικασιών μπορούν να μειωθούν. Τέτοιες αβεβαιότητες είναι οι ιδιότητες του εδάφους, το κόστος κατασκευής και επιδιόρθωσης των δομικών στοιχείων, οι αβεβαιότητες της μεθόδου ανάλυσης όπως επίσης και οι ιδιότητες των υλικών και οι διαστάσεις των μελών για ένα υφιστάμενο κτίριο. Το ανθρώπινο σφάλμα αν και αποτελεί ένα δυνητικά τεράστιο παράγοντα αβεβαιότητας, δε λαμβάνεται υπόψη.

Κάποιος μπορεί να αξιολογήσει και να μειώσει ενδεχομένως τις αβεβαιότητες σε καθεμία από τις μεταβλητές που εμπίπτουν στην κατηγορία των επιστημικών αβεβαιοτήτων, αλλά το ερώτημα το

οποίο τίθεται είναι ποιες από αυτές είναι οι πιο σημαντικές και αξίζουν την περισσότερη προσοχή. Με το όρο σημαντικές μεταβλητές, εννοούμε αυτές των οποίων η αβεβαιότητα συμβάλλει εντονότερα στη συνολική αβεβαιότητα της αντισεισμικής απόδοσης του κτιρίου. Σύμφωνα με τους Porter et al. (2002), υπάρχουν δύο οφέλη από τη γνώση της σχετικής συμβολής κάθε μεταβλητής στη συνολική αβεβαιότητα της αντισεισμικής απόδοσης. Πρώτον, οι μεταβλητές που δεν συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στην ολική αβεβαιότητα μπορούν να ληφθούν υπόψη με την καλύτερη εκτιμημένη τιμή τους (best-estimate value), παρά να τις χειριστούμε ως αβέβαιες, και με αυτόν τον τρόπο να απλοποιηθεί το πρόβλημα ανάλυσης. Δεύτερον, οι μεταβλητές που συμβάλλουν έντονα στην ολική αβεβαιότητα απόδοσης μπορούν να ληφθούν υπόψη με περισσότερες από μία πιθανές τιμές και συγκεκριμένα, προσομοιώνοντας τις με μια μέση / διάμεση τιμή η οποία αποτελεί την καλύτερη εκτιμημένη τιμή και με μια διασπορά, καλύπτοντας με αυτόν τον τρόπο ένα ευρύτερο φάσμα τιμών τις οποίες δύνανται αυτές οι μεταβλητές να λάβουν. Μειώνοντας την ολική αβεβαιότητα, μειώνεται η διασπορά και αυξάνεται παράλληλα η ακρίβεια των τελικών αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα, μειώνοντας τις επιστημικές αβεβαιότητες τις οποίες περιλαμβάνει ο σχεδιασμός και η ανάλυση ενός κτιρίου υπό σεισμικά φορτία, για τον υπολογισμό του κόστους της μετασεισμικής του αποκατάστασης, μειώνεται η διασπορά γύρω από την αναμενόμενη τιμή του κόστους αυτού, δηλαδή πόσο πιο πάνω ή πιο κάτω μπορεί να κυμανθεί η τιμή, και έτσι είναι πιο ακριβή τα τελικά αποτελέσματα. Εντούτοις, η διασπορά αυτή δε μπορεί να μειωθεί περαιτέρω από αυτό που επιτρέπει η φυσική διασπορά των δεδομένων.

2.3.1. Βασικές αβέβαιες μεταβλητές

Οι βασικές αβέβαιες μεταβλητές οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά τις εξαγόμενες παραμέτρους που μας ενδιαφέρουν και οι οποίες είναι οι ζημιές των μελών του κτιρίου μετά από ένα σεισμό και το κόστος επισκευής τους είναι:

- Ø Η ένταση και η μορφή της εδαφικής κίνησης
- Ø Η μάζα του κτιρίου
- Ø Η απόσβεση του κτιρίου
- Ø Η ικανότητα των δομικών στοιχείων να αντιστέκονται στις ζημιές
- Ø Το κόστος, τα έξοδα και το κέρδος του εργολάβου

Άλλες παράμετροι οι οποίες θα μπορούσαν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις μελλοντικές δαπάνες επισκευής είναι το είδος προσομοιώματος το οποίο χρησιμοποιείται, η αστοχία του εδάφους (liquefaction), η μέθοδος επισκευής που υιοθετείται για την αποκατάσταση δεδομένου τύπου ζημιάς, η επιλογή του να γίνουν οι επισκευές αυτές από ένα συνεργείο ή περισσότερα, οι αλλαγές στους κανονισμούς με αποτέλεσμα να απαιτείται περαιτέρω ενίσχυση του κτιρίου, σε σχέση με τις απαιτήσεις του κανονισμού βάσει των οποίων σχεδιάστηκε πριν το σεισμό, τυχόν ενισχύσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στο κτίριο και δεν φαίνονται στα σχέδια κ.λπ. (Porter et al. 2002).

Αβεβαιότητα στην ένταση και τη μορφή της εδαφικής κίνησης

Ο σεισμός αποτελεί ένα απρόβλεπτο φυσικό γεγονός, του οποίου δεν γνωρίζουμε τη θέση, το χρόνο, το είδος, το μέγεθος, την απόσταση, την κατευθυντικότητα, το συχνοτικό περιεχόμενο, τη διάρκεια κ.λπ. Παρά το γεγονός ότι στην παρούσα εργασία, δεν θα μας απασχολήσουν αυτές οι παράμετροι, συνήθως επιλέγεται να εκφράζεται η σεισμική απειλή με ένα σύνολο επιταχυνσιογραφημάτων κλιμακωμένων σε κατάλληλα επίπεδα έντασης και συγκεκριμένα στο επίπεδο σεισμού/σχεδιασμού που αναμένεται για την υπό μελέτη περιοχή και κτίριο.

Για την περιγραφή της εδαφικής σεισμικής κίνησης επιλέγεται ένα μέτρο έντασης IM (intensity measure). Αυτό το μέτρο μπορεί να είναι η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση PGA, ή μπορεί να επιλεγεί μία εκ των φασματικών αποκρίσεων (spectral response), όπως για παράδειγμα, η φασματική επιτάχυνση S_a ή η αντίστοιχη ψευδοφασματική PS_a , ταχύτητα S_v (PS_v) ή μετατόπιση S_d (PS_d). Αυτές οι φασματικές αποκρίσεις, για μικρές αποσβέσεις, συνδέονται μεταξύ τους μέσω της ιδιοσυχνότητας ω , $S_a \approx \omega \cdot S_v \approx \omega^2 \cdot S_d$. Από την άλλη πλευρά, η χρήση ανελαστικών φασματικών αποκρίσεων, προσφέρει το πλεονέκτημα καλύτερης αντιμετώπισης των κατασκευών, οι οποίες ξεπερνούν την ελαστική τους απόκριση, μέσω της παραμέτρου της απαίτησης σε πλαστιμότητα.

Το μέτρο έντασης IM αποτελεί τη βασική μεταβλητή επικοινωνίας μεταξύ σεισμολόγων και πολιτικών μηχανικών. Συγκεκριμένα, οι σεισμολόγοι μελετούν μια περιοχή συλλέγοντας όλες τις πληροφορίες για προηγούμενους σεισμούς (μέγεθος, απόσταση από ρήγμα, είδος κ.λπ.), θεωρώντας όλα τα δυνατά σενάρια σεισμού σε κάθε ρήγμα που επηρεάζει τα κτίρια σε μια

περιοχή. Τα σενάρια αυτά ολοκληρώνονται με μια σχέση εξασθένισης π.χ. Boore et al (1993), προκειμένου να υπολογιστεί για κάθε μια από τις στάθμες επιτελεστικότητας, η μέση ετήσια συχνότητα υπέρβασης MAF (Mean Annual Frequency of Exceedance) του αντίστοιχου επιπέδου σεισμικής έντασης (Kramer 1996). Ουσιαστικά δηλαδή εκτιμάται η πιθανότητα εμφάνισης μελλοντικού σεισμού με δεδομένο επίπεδο μέτρου έντασης. Οι συνήθεις στάθμες επιτελεστικότητας είναι οι ακόλουθες:

- Ø Άμεση Κατάληψη (Immediate Occupancy): πιθανότητα εμφάνισης 50% στα 50 χρόνια (1 περιστατικό στα 72 χρόνια κατά μέσο όρο)
- Ø Ασφάλεια Ζωής (Life Safety): πιθανότητα εμφάνισης 10% στα 50 χρόνια (1 περιστατικό στα 475 χρόνια κατά μέσο όρο)
- Ø Πρόληψη Κατάρρευσης (Collapse Prevention): πιθανότητα εμφάνισης 2% στα 50 χρόνια (1 περιστατικό στα 2475 χρόνια κατά μέσο όρο)

Οι τιμές αυτές απεικονίζονται σε καμπύλη, η οποία ονομάζεται καμπύλη σεισμικής επικινδυνότητας (seismic hazard curve). Αναλόγως της περιοχής μελέτης και της πρώτης ιδιοπεριόδου του κτιρίου επιλέγεται η κατάλληλη καμπύλη επικινδυνότητας και αναλόγως της επιδιωκόμενης απόδοσης του κτιρίου σε σεισμό, επιλέγεται η τιμή της φασματικής επιτάχυνσης $S_a(T_1)$. Βάσει της τιμής αυτής, επιλέγονται τα κατάλληλα επιταχυνσιογραφήματα και κλιμακώνονται στο επιθυμητό μέτρο έντασης.

Σύμφωνα με τους Lucio & Cornell (2007), το επιλεγόμενο μέτρο έντασης πρέπει να είναι ταυτόχρονα αποδοτικό αλλά και επαρκές. Αποδοτικό γιατί πρέπει να συσχετίζεται άμεσα με τις ζημιές οι οποίες προκύπτουν ώστε η χρήση διαφορετικών επιταχυνσιογραφημάτων να παράγει σχετικά μικρή διασπορά τελικών αποτελεσμάτων, αλλά και επαρκές έτσι ώστε οι ζημιές αυτές, βάσει του μέτρου έντασης, να μην σχετίζονται σε σημαντικό βαθμό με άλλες παραμέτρους τις εδαφικής κίνησης, όπως το μέγεθος του σεισμού και η απόσταση από το ρήγμα.

Στο τέλος, επιλέγεται ένα μέτρο έντασης για το οποίο υπάρχουν οι περισσότερες πληροφορίες και αποδείξεις ότι προβλέπει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο το μέγεθος ζημιών σε διάφορες κατασκευές. Επομένως από την στιγμή που το κύριο ενδιαφέρον αυτής της μελέτης είναι η κατανομή του κόστους επισκευής αναλόγως της κατανομής της έντασης της σεισμικής κίνησης,

είναι απαραίτητη η χρήση ενός μέτρου έντασης για το οποίο είναι διαθέσιμη η πιθανότητα εμφάνισης σεισμού με επίπεδο το οποίο εκφράζεται μέσω αυτού του μέτρου έντασης. Προς το παρόν, όπως έχει προαναφερθεί, οι πληροφορίες για την πιθανότητα επικινδυνότητας σεισμού, εκφράζονται σε μονάδες ελαστικής φασματικής επιτάχυνσης S_a για τη θεμελιώδη περίοδο της κατασκευής T_1 και απόσβεση 5%.

Στην παρούσα έρευνα, θα γίνει εφαρμογή ενός σεναρίου σεισμού, με ένα δεδομένο ζεύγος επιταχυνσιογραφημάτων το οποίο θα κλιμακωθεί σε τρία επίπεδα έντασης. Εντούτοις, υπάρχει η προοπτική επέκτασης σε περισσότερα επιταχυνσιογραφήματα, προκειμένου να καλυφθεί μεγαλύτερο φάσμα πιθανών σεναρίων σεισμού και με αυτό τον τρόπο να υπάρξει μεγαλύτερη ακρίβεια αλλά και αξιοπιστία ότι η μεθοδολογία η οποία εφαρμόζεται προβλέπει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις πιθανές ζημιές οι οποίες ενδέχεται να προκύψουν μετά από ένα σεισμικό γεγονός στο συγκεκριμένο κτίριο.

Αβεβαιότητα στη μάζα της κατασκευής

Η μάζα της κατασκευής αποτελεί μια αβέβαιη μεταβλητή για διάφορους λόγους μεταξύ των οποίων:

- Ø το μέγεθος των δομικών στοιχείων διαφέρει από το ενδεδειγμένο στα αρχιτεκτονικά και στατικά σχέδια
- Ø οι πυκνότητες των υλικών κατασκευής π.χ. του σκυροδέματος, θεωρούνται δεδομένες ενώ στην πραγματικότητα είναι κάπως διαφορετικές και
- Ø τα υλικά κατασκευής μπορεί να διαφέρουν από αυτά που υιοθετούνται κατά το σχεδιασμό π.χ. οι επιστρώσεις στους ορόφους (μονώσεις κ.λπ.) οι οποίες προστίθενται κατά τη διάρκεια ζωής του κτιρίου και οι οποίες προσθέτουν μόνιμο φορτίο στην κατασκευή.

Για τους σκοπούς της εργασίας αυτής, η μάζα προσομοιώνεται με την καλύτερη εκτιμημένη τιμή της, όπως αυτή προκύπτει μέσα από τη διαδικασία υπολογισμού των κατακόρυφων φορτίων των δοκών και των μαζών που συγκεντρώνονται στους κόμβους. Εκτενής αναφορά για την προσομοίωση της μάζας στο πρόγραμμα ανάλυσης γίνεται στο υποκεφάλαιο 4.5.

Αβεβαιότητα στην απόσβεση της κατασκευής

Υπάρχουν αρκετά πειραματικά δεδομένα για τη διακύμανση της απόσβεσης στις κατασκευές. Για τους σκοπούς της εργασίας αυτής, η απόσβεση προσομοιώνεται με την καλύτερη εκτιμημένη τιμή της, όπως αυτή καθορίζεται μέσα από κανονισμούς για κτίρια κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Επομένως, για το υπό μελέτη κτίριο η απόσβεση λαμβάνεται ίση με 5%.

Αβεβαιότητα στη φέρουσα ικανότητα των μελών της κατασκευής

Η θραυστότητα (fragility) ή τρωτότητα (vulnerability) ενός μέλους αποτελεί μια δεσμευμένη κατανομή πιθανότητας και ορίζεται ως η πιθανότητα το μέλος να ξεπεράσει ένα ανεπιθύμητο επίπεδο βλάβης για κάποια δεδομένη τιμή μέτρου απόκρισης (demand parameter), όπως για παράδειγμα ο λυγισμός του αλουμινένιου πλαισίου ή το σπάσιμο ενός παράθυρου (επίπεδο βλάβης) όταν ξεπεραστεί μία τιμή της σχετικής μετατόπισης των ορόφων (μέτρο απόκρισης), μεταξύ των οποίων βρίσκεται το παράθυρο. Τελευταίως, ερευνητές όπως για παράδειγμα οι Goulet et al. (2007), διακρίνουν τη θραυστότητα από την τρωτότητα, με την πρώτη να αφορά δέσμευση στο μέτρο απόκρισης και τη δεύτερη, δέσμευση στο μέτρο έντασης.

Η τρωτότητα των μελών για τις διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας, μοντελοποιείται ως πιθανοτική κατανομή της οποίας η τυχαία μεταβλητή είναι η αντοχή του μέλους για τη δεδομένη στάθμη σε όρους του μέτρου απόκρισης. Όσο μεγαλύτερη είναι η διασπορά στη πιθανοτική κατανομή, τόσο μεγαλύτερη είναι η αβεβαιότητα στο οριακό μέτρο απόκρισης το οποίο οδηγεί στη συγκεκριμένο επίπεδο βλάβης. Για την περιγραφή της τρωτότητας των μελών, χρησιμοποιείται συνήθως η λογαριθμοκανονική κατανομή (π.χ. Naeim et al. 2006, Goulet et al. 2007). Βάσει αυτής της λογικής, προκύπτουν οι καμπύλες τρωτότητας, για τις οποίες γίνεται εκτενής αναφορά στο Κεφάλαιο 5.

Σημαντικός παράγοντας αβεβαιότητας ο οποίος δεν λαμβάνεται υπόψη στην παρούσα εργασία είναι η συσχέτιση (correlation) μεταξύ των αντοχών των στοιχείων του κτιρίου αφού ίδια στοιχεία π.χ. υποστυλώματα στον ίδιο όροφο, πιθανόν να έχουν ανάλογες και ισχυρά συσχετισμένες αντοχές αφού έχουν κατασκευαστεί από το ίδιο συνεργείο με τα ίδια υλικά (Baker 2008).

Αβεβαιότητα στο κόστος του εργολάβου

Γενικά όταν αναφερόμαστε στο κόστος του εργολάβου, εννοούμε το κόστος επισκευής των μελών προκειμένου να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση, τα έξοδα και το κέρδος του εργολάβου (contractor overhead and profit).

Τα μέλη τα οποία έχουν πάθει ζημιές ή έχουν καταστραφεί ολοκληρωτικά, ταξινομούνται σε κατηγορίες, βάσει ενός ταξινομικού συστήματος (π.χ. Uniformat System ASTM 1996). Οι εργασίες οι οποίες θα πρέπει να διενεργηθούν για την επισκευή των μελών, εκτιμώνται βάσει των ποσοτήτων σε κάθε μια από αυτές τις κατηγορίες. Το κόστος για κάθε κατηγορία υπολογίζεται βάσει των εργατοωρών ανά μέλος κατασκευής. Το σύνολο αυτών των κοστών συνθέτει το άμεσο κόστος, στο οποίο εν συνεχεία προστίθεται το έμμεσο κόστος το οποίο δεν εξαρτάται από αυτήν την κατηγοριοποίηση, και αποτελείται από τα έξοδα (π.χ. εξασφάλιση αδειών, διαχείριση) και το κέρδος του εργολάβου. Τα έξοδα και το κέρδος του εργολάβου μαζί, τείνουν να είναι γύρω στο 15% με 20% του άμεσου κόστους, με μεγαλύτερου μεγέθους εργασίες να τείνουν να έχουν μικρότερο ποσοστό εξόδων και κέρδους.

Αυτή η μείωση του κόστους για μεγαλύτερου μεγέθους εργασίες, καλείται “οικονομία κλίμακας” και ουσιαστικά αποτελεί την μικρότερη προσφορά του εργολάβου για το κόστος επισκευής ενός μεγαλύτερου αριθμού μελών (εκτεταμένες επεμβάσεις) σε σχέση με την προσφορά για το κόστος επισκευής μικρότερου αριθμού μελών εάν αυτά θεωρηθούν μεμονωμένες μονάδες. Με άλλα λόγια, οι τιμές για 1-2 υποστυλώματα ή δοκούς, είναι προφανώς πολύ μεγαλύτερες, σε σχέση με τις τιμές για 10-20 υποστυλώματα ή δοκούς. Αν και σημαντικό στοιχείο, το οποίο επηρεάζει το τελικό κόστος επισκευής του κτιρίου, δεν λαμβάνεται υπόψη στην παρούσα εργασία, με την προοπτική ότι θα αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής έρευνας.

Το κόστος επισκευής των μελών χαρακτηρίζεται από κάποιο βαθμό αβεβαιότητας λόγω του εύρους του κόστους των υλικών, της αβεβαιότητας στην παραγωγικότητα των εργατών κ.λπ., αβεβαιότητες για τις οποίες δεν υπάρχουν εμπειρικά δεδομένα με ελάχιστες εξαιρέσεις. Η εταιρεία RS Means Corp (1997), η οποία διενεργεί εκτεταμένες έρευνες στο κόστος κατασκευών στις Η.Π.Α, προτείνει ένα συντελεστή διασποράς της τάξης του 20% του συνολικού κόστους επισκευής του κτιρίου.

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

3.1. Γενική Περιγραφή Κτιρίου

Το πολυώροφο κτίριο το οποίο εξετάζεται, είναι ένα συγκρότημα σύγχρονων διαμερισμάτων τα οποία χρησιμοποιούνται ως κατοικίες, και αποτελεί ένα από τους πιο συνηθισμένους τύπους κτιρίων που κατασκευάζονται στην Κύπρο και διεθνώς.

Το κτίριο αποτελείται από τέσσερεις ορόφους, συμπεριλαμβανομένου του ισόγειου, ύψους τριών μέτρων ο καθένας. Στον πρώτο όροφο (ισόγειο) υπάρχει στεγασμένος χώρος στάθμευσης για τα αυτοκίνητα των ενοίκων της πολυκατοικίας. Επίσης υπάρχουν χώροι για τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό του κτιρίου και αποθηκευτικοί χώροι. Ο δεύτερος και ο τρίτος όροφος είναι πανομοιότυποι, με κάθε ένα από αυτούς να διαχωρίζεται σε δύο ευρύχωρα πλήρως εξοπλισμένα διαμερίσματα. Το αριστερό διαμέρισμα διαθέτει τέσσερα υπνοδωμάτια και το δεξιό διαμέρισμα τρία υπνοδωμάτια. Στις πλάγιες όψεις των διαμερισμάτων υπάρχουν πρόβολοι, οι οποίοι χρησιμεύουν ως ανοιχτοί χώροι (βεράντες). Στον τέταρτο όροφο, υπάρχουν επίσης δύο διαμερίσματα με τη διαφορά ότι έχουν μικρότερο εμβαδόν και μεγαλύτερη έκταση βεραντών. Η επικοινωνία μεταξύ των ορόφων γίνεται μέσω κλιμακοστασίου και ανελκυστήρα.

3.2. Σχεδιασμός και Μελέτη Κτιρίου

Ο δομικός φορέας του κτιρίου συνιστά ουσιαστικά ένα ασύμμετρο μικτό φορέα με πλαίσια και τοιχώματα κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα C25/30, νευροχάλυβα S500 και τοιχοπληρώσεις (οπτοπλινθοδομές). Η μελέτη και ο σχεδιασμός του έχουν γίνει σύμφωνα με τις πρόνοιες του εν ισχύ Κυπριακού Κώδικα για Οπλισμένο Σκυρόδεμα και του Κυπριακού Αντισεισμικού Κώδικα (ΣΠΜΑΚ 1991). Σημειώνεται ότι δεν έχει γίνει ικανοτικός σχεδιασμός των κόμβων, κάτι το οποίο εξασφαλίζει επαρκή πλαστιμότητα και αποτρέπει την εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων στα υποστυλώματα.

Το σχήμα του φορέα βασίζεται σε χαράξεις (κάνναβο), όπως φαίνεται στα Σχέδια του Παραρτήματος Γ. Οι πλάκες του κτιρίου έχουν πάχος 20cm, ενώ όλες οι δοκοί, οι οποίες λειτουργούν ως πλακοδοκοί, έχουν ύψος 60cm και πλάτος 25cm. Τα πλείστα υποστυλώματα έχουν ορθογωνικό σχήμα με διαστάσεις 50/25cm. Επιπλέον σε κάθε όροφο υπάρχει ένα τοίχωμα

σχήματος “Γ” γύρω από το κλιμακοστάσιο και τοιχώματα πυρήνα γύρω από τον ανελκυστήρα. Η θεμελίωση του κτιρίου είναι γενική κοιτόστρωση.

Η εξωτερική τοιχοπλήρωση των διαμερισμάτων έχει πάχος 25cm για καλύτερη ηχομόνωση και θερμομόνωση του κτιρίου ενώ για τον εσωτερικό διαχωρισμό χρησιμοποιείται τοιχοπλήρωση πάχους 10cm. Στο δάπεδο των εσωτερικών και εξωτερικών χώρων (βεραντών) υπάρχει επίστρωση μαρμάρου.

3.3. Σεισμικό Φάσμα Σχεδιασμού κατά τον Ευρωκώδικα 8

Για τον υπολογισμό του μέτρου έντασης της σεισμικής φόρτισης σχεδιασμού σύμφωνα με τις τρέχουσες διατάξεις, δηλαδή της φασματικής επιτάχυνσης $S_a(T_1)$, πρέπει σε πρώτο στάδιο να σχεδιαστεί το φάσμα του σεισμού και να υπολογιστεί η φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού για την περιοχή στην οποία βρίσκεται το υπό μελέτη κτίριο. Αυτό γίνεται βάσει των προνοιών του Εθνικού Προσαρτήματος του Ευρωκώδικα 8 για την Κύπρο (CYS 2007). Για τις οριζόντιες συνιστώσες του σεισμού, το ελαστικό φάσμα απόκρισης καθορίζεται από τις εξισώσεις 3.1 έως 3.4.

$$0 \leq T < T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} (n \cdot 2.5 - 1) \right] \quad (3.1)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot n \cdot 2.5 \quad (3.2)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot n \cdot 2.5 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \quad (3.3)$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot n \cdot 2.5 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \quad (3.4)$$

Το υπό μελέτη κτίριο βρίσκεται στην περιοχή Λευκωσίας. Σύμφωνα με το Χάρτη Σεισμικών Ζωνών της Κύπρου (CYS 2007), ο οποίος παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1, η περιοχή αυτή εμπίπτει στη Σεισμική Ζώνη 2. Βάσει των παραμέτρων του φάσματος οι οποίες υπολογίζονται μέσω των εξισώσεων 3.5 έως 3.12 και οι οποίες εισάγονται στις εξισώσεις 3.1 έως 3.4, προκύπτει το φάσμα σχεδιασμού το οποίο παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.1. Χάρτης Σεισμικών Ζωνών Κύπρου (Πηγή: National Annex to CYS EN 1998-1:2005 Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings).

- Ø Συντελεστής σεισμικής επιτάχυνσης του εδάφους

$$a_{gR} = 0.20 \quad (3.5)$$

- Ø Συντελεστής σπουδαιότητας του κτιρίου

$$g_I = 1 \text{ (συνήθη κτίρια)} \quad (3.6)$$

- Ø Μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους

$$a_g = g_I \cdot a_{gR} \cdot g = 1 \cdot 0.20 \cdot g = 0.20g \quad (3.7)$$

- Ø Συντελεστής απόσβεσης

$$\xi = 5\% \text{ (κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα)} \quad (3.8)$$

- Ø Διορθωτικός συντελεστής για ποσοστό απόσβεσης

$$n = \sqrt{10/(5+x)} = \sqrt{10/(5+5)} = 1 \geq 0.55 \quad (3.9)$$

- Ø Εντόνως αποσαθρωμένο βραχώδες έδαφος ή έδαφος το οποίο από μηχανική άποψη μπορεί να εξομοιωθεί με κοκκώδες

Κατηγορία εδάφους B

- Ø Συντελεστής εδάφους

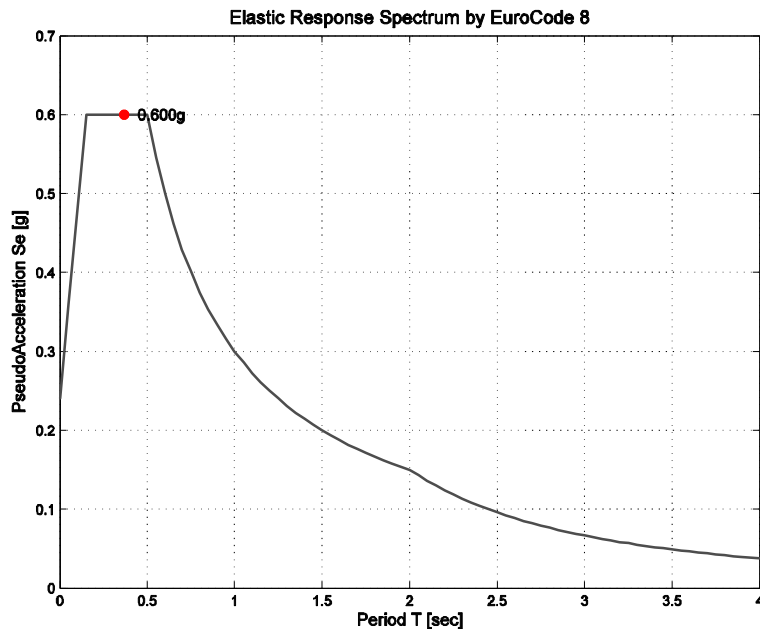
$$S = 1.2 \quad (3.10)$$

Ø Χρονικά όρια του οριζόντιου σταθερού τμήματος του φάσματος επιταχύνσεων

$$T_B = 0.15 \text{ sec} \quad T_C = 0.50 \text{ sec} \quad (3.11)$$

Ø Τιμή καθορισμού της αρχής του σταθερού εύρους αποκρίσεων μετατοπίσεων του φάσματος

$$T_D = 2.0 \text{ sec} \quad (3.12)$$



Σχήμα 3.2. Ελαστικό φάσμα αποκρίσεων σεισμού κατά Ευρωκώδικα 8.

3.4. Σχεδιασμός Στατικού Φορέα στο AutoCAD

Για το σχεδιασμό του στατικού φορέα σε δύο διαστάσεις (2D), χρησιμοποιείται το σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD (AutoDesk 2005).

3.4.1. Σχεδιασμός κατόψεων κτιρίου

Στα Σχέδια του Παραρτήματος Γ, παρουσιάζονται οι κατόψεις του στατικού φορέα του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι τομές σε κάθε ένα από τα πέντε επίπεδα, προκειμένου να παρουσιαστεί και η αρίθμηση των κόμβων, των υποστυλωμάτων και των δοκών που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για προσομοίωση του τρισδιάστατου μοντέλου στο OpenSEES. Η αρίθμηση των υποστυλωμάτων γίνεται βάσει της λογικής ότι όλα τα υποστυλώματα τα οποία βρίσκονται στον ίδιο όροφο έχουν το ίδιο πρώτο ψηφίο αναλόγως του ορόφου στον οποίο βρίσκονται, ενώ τα υποστυλώματα τα οποία σε κάτοψη συμπίπτουν έχουν τα ίδια δύο τελευταία

ψηφία. Βάσει της ίδιας λογικής γίνεται και η αρίθμηση των δοκών, κάτι που καθιστά τα στοιχεία αυτά μοναδικά στο χώρο.

Στο Σχέδιο Σ1, παρουσιάζεται το επίπεδο 0 (ground level), δηλαδή το επίπεδο στο ύψος του δρόμου και στα Σχέδια Σ2 έως Σ5, τα επίπεδα 1 έως 4, με το κάθε ένα από αυτά να αντιπροσωπεύει και την κάτοψη του κάθε ορόφου (χωρίς τοιχοπληρώσεις). Στα Σχέδια Α1 έως Α4, παρουσιάζονται οι κατόψεις των ορόφων του κτιρίου με τις τοιχοπληρώσεις, τις πόρτες και τα παράθυρα, μαζί με την αρίθμησή τους, η οποία θα χρησιμοποιηθεί από το λογισμικό το οποίο θα αναπτυχθεί στο Matlab (MathWorks 2002), προκειμένου να καθοριστεί η ζημιά του κάθε μέλους ανάλογα με τη θέση του στο κτίριο.

3.4.2. Σχεδιασμός διατομών υποστυλωμάτων και δοκών

Όπως έχει προαναφερθεί, σχεδόν όλα τα υποστυλώματα έχουν ορθογωνικό σχήμα με διαστάσεις 50/25cm, με τον οπλισμό τους να διαφέρει αναλόγως των φορτίων που φέρουν (αξονικές δυνάμεις, τέμνουσες δυνάμεις και καμπτικές ροπές). Επιπλέον σε κάθε όροφο υπάρχει ένα τοίχωμα σχήματος "Γ" γύρω από το κλιμακοστάσιο και τοιχώματα πυρήνα γύρω από τον ανελκυστήρα. Ο διαμήκης οπλισμός όλων των διατομών είναι από χάλυβα S500 και ο εγκάρσιος οπλισμός από χάλυβα S400.

Όλες οι διατομές των υποστυλωμάτων παρουσιάζονται στα Σχέδια Δ1 και Δ2 του Παραρτήματος Γ. Σε κάθε διατομή, αναφέρεται και ο αριθμός-ταυτότητα των υποστυλωμάτων που έχουν τη συγκεκριμένη διατομή. Βάσει της λογικής με την οποία έχει γίνει η αρίθμησή τους και λόγω του ότι τα υποστυλώματα έχουν σταθερή διατομή σε όλο το ύψος του κτιρίου, αναφέρονται μόνο τα δύο τελευταία ψηφία του τριψήφιου αριθμού που χαρακτηρίζει το κάθε υποστυλώμα και μπροστά τοποθετείται τελεία, η οποία αντιπροσωπεύει τον κάθε ένα από τους τέσσερις ορόφους (εναλλακτικά . = 1, 2, 3, 4).

Όπως έχει προαναφερθεί, όλες οι δοκοί έχουν ύψος 60cm και πλάτος 25cm, με τον οπλισμό τους να διαφέρει αναλόγως των φορτίων που φέρουν. Ο διαμήκης οπλισμός τους είναι από χάλυβα S500 και ο εγκάρσιος οπλισμός από χάλυβα S400. Όλες οι διατομές των δοκών παρουσιάζονται στο Σχέδιο Δ3 του Παραρτήματος Γ. Σε κάθε διατομή, αναφέρεται και ο αριθμός-ταυτότητα των δοκών που έχουν τη συγκεκριμένη διατομή. Βάσει της λογικής με την οποία έχει γίνει η

αρίθμησή τους και λόγω του ότι οι δοκοί έχουν την ίδια διατομή σε όλους τους ορόφους του κτιρίου, αναφέρονται μόνο τα δύο τελευταία ψηφία του τριψηφίου αριθμού που χαρακτηρίζει την κάθε δοκό και μπροστά τοποθετείται τελεία, η οποία αντιπροσωπεύει τον κάθε ένα από τους τέσσερεις ορόφους (εναλλακτικά $. = 1, 2, 3, 4$).

3.5. Σχεδιασμός τρισδιάστατου μοντέλου στο ArchiCAD

Οι κατόψεις του κτιρίου οι οποίες έχουν σχεδιαστεί στο AutoCAD, εισάγονται στο σχεδιαστικό πρόγραμμα ArchiCAD (Graphisoft 2006) προκειμένου να σχεδιαστεί το τρισδιάστατο (3D) μοντέλο του κτιρίου. Η ουσιαστική διαφορά μεταξύ των δύο προγραμμάτων, είναι ότι στο δεύτερο, τα αντικείμενα, όπως για παράδειγμα τα υποστυλώματα και οι δοκοί, δεν είναι απλές γραμμές ενωμένες μεταξύ τους, αλλά είναι στοιχεία με ιδιότητες, όπως είναι οι διαστάσεις (ύψος, μήκος, πλάτος, πάχος), ο όγκος, η επιφάνεια κ.λπ. Επίσης υπάρχει μια μεγάλη βιβλιοθήκη, με έτοιμα τρισδιάστατα αντικείμενα, όπως πόρτες, παράθυρα, είδη εσωτερικού και εξωτερικού χώρου κ.λπ. τα οποία μπορούν να εισαχθούν στο τρισδιάστατο μοντέλο, προσφέροντας μια ακριβή και ταυτόχρονα εντυπωσιακή απεικόνιση του κτιρίου για το οποίο θα γίνει η ανάλυση.

Επιπλέον, κάθε αντικείμενο έχει τη δική του ταυτότητα, κάνει που το καθιστά μοναδικό στο χώρο. Με αυτόν τον τρόπο, είναι εφικτό, αφού σχεδιαστεί το μοντέλο, να γίνει αναπαραγωγή πινάκων με τις ιδιότητες των αντικειμένων, ανά όροφο, ή ανά τύπο στοιχείων. Αυτή η διαδικασία προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, καθώς μπορούν να δημιουργηθούν αρχεία με πληροφορίες για τα διάφορα στοιχεία, τα οποία θα εισαχθούν στο Matlab και αφού συνδυαστούν με τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν από το OpenSEES, να γίνει εκτίμηση των ζημιών που έχουν πάθει αναλόγως της θέσης τους στο χώρο και υπολογισμός του κόστους επισκευής τους αναλόγως του μεγέθους τους.

3.5.1. Σχεδιασμός υποστυλωμάτων και δοκών

Τα υποστυλώματα σχεδιάζονται ως στοιχεία όγκου από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σε αυτά τα στοιχεία δίνεται ταυτότητα με αρχικά CL (C o L umn) και ακολουθεί ο μοναδικός τριψηφίος αριθμός που χαρακτηρίζει το κάθε υποστύλωμα, όπως έχει προαναφερθεί. Για παράδειγμα, ένα υποστύλωμα στο δεύτερο όροφο έχει ταυτότητα CL-215, ενώ το υποστύλωμα που συμπίπτει με αυτό στην κάτοψη αλλά βρίσκεται στον τρίτο όροφο, έχει ταυτότητα CL-315. Η αναπαραγωγή

πινάκων για τα υποστυλώματα γίνεται ανά όροφο και περιλαμβάνει την ταυτότητα "ID", το ύψος "Height", το εμβαδόν "Area", την περίμετρο "Perimeter", την επιφάνεια "Surface" και τον όγκο "Volume" των υποστυλωμάτων. Σε αυτόν τον πίνακα προστίθεται μια επιπλέον στήλη, η οποία αφορά τον τύπο "Type" κάθε υποστυλώματος δηλαδή εάν χαρακτηρίζεται στατικά ως υποστύλωμα ή τοίχωμα. Στα υποστυλώματα καθορίζεται τύπος "C" ενώ στα τοιχώματα τύπος "W". Τα αρχεία στα οποία αποθηκεύονται οι πίνακες αυτοί είναι τα "Column_1f_List.txt", "Column_2f_List.txt", "Column_3f_List.txt" και "Column_4f_List.txt" για καθένα από τους τέσσερις ορόφους και παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α.1.

Οι δοκοί, όπως και τα υποστυλώματα, σχεδιάζονται ως στοιχεία όγκου από οπλισμένο σκυρόδεμα. Παρά το γεγονός ότι λειτουργούν ως πλακοδοκοί, με σχήμα "T" ή "Γ", σχεδιάζονται εποπτικά ως δοκοί με ορθογωνική διατομή. Σε αυτά τα στοιχεία δίνεται ταυτότητα με αρχικά BM (B ea M) και ακολουθεί ο μοναδικός τριψήφιος αριθμός που χαρακτηρίζει την κάθε δοκό, όπως έχει προαναφερθεί. Για παράδειγμα, μια δοκός στο δεύτερο όροφο έχει ταυτότητα BM-250, ενώ η δοκός που συμπίπτει με αυτήν στην κάτοψη αλλά βρίσκεται στον τρίτο όροφο, έχει ταυτότητα BM-350. Η αναπαραγωγή πινάκων για τις δοκούς γίνεται ανά όροφο και περιλαμβάνει την ταυτότητα "ID", το ύψος "Height", το πλάτος "Width", το μήκος "Length", την κάτω επιφάνεια "Bottom Surface", την πλευρική επιφάνεια "Edge Surface Left" και τον όγκο "Volume" των δοκών. Τα αρχεία στα οποία αποθηκεύονται οι πίνακες αυτοί είναι τα "Beam_1f_List.txt", "Beam_2f_List.txt", "Beam_3f_List.txt" και "Beam_4f_List.txt" για καθένα από τους τέσσερις ορόφους και παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α.2.

3.5.2. Σχεδιασμός τοιχοπληρώσεων

Οι τοιχοπληρώσεις, προσομοιώνονται ως στοιχεία όγκου τούβλων. Στην περίπτωση που ένας τοίχος έχει ένα κάθετο σε αυτόν τοίχο για τον διαχωρισμό ενός χώρου, τότε ο πρώτος τοίχος δεν διαχωρίζεται σε δύο τμήματα αλλά θεωρείται ενιαίος σε όλο του το μήκος. Σε αυτά τα στοιχεία δίνεται ταυτότητα με αρχικά WL (W al L) και ακολουθεί ο μοναδικός τριψήφιος αριθμός που χαρακτηρίζει τον κάθε τοίχο. Το πρώτο από τα τρία ψηφία καθορίζει τον όροφο στον οποίο βρίσκεται ο κάθε τοίχος (π.χ. ένας τοίχος στο δεύτερο όροφο έχει ταυτότητα WL-205). Λόγω διαφορετικής διάταξης των χώρων σε κάθε όροφο, εκτός του δεύτερου και του τρίτου που είναι

πανομοιότυποι, τα δύο τελευταία ψηφία δεν αντιπροσωπεύουν ταύτιση τοίχων στην κάτοψη, όπως στην περίπτωση των υποστυλωμάτων και των δοκών.

Για κάθε τοίχο, καθορίζεται η θέση του κέντρου βάρους του στο χώρο (x,y,z διάσταση) σε σχέση με ένα σταθερό κόμβο σε κάθε όροφο του κτιρίου. Επίσης υπολογίζεται η αριστερόστροφη γωνία την οποία σχηματίζει η μεγάλη του διάσταση στην οριζόντια διεύθυνση σε σχέση με τον καθολικό θετικό άξονα x. Η γωνία αυτή, η οποία λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και +180 μοίρες, καθορίζει τη διεύθυνση του τοίχου στο χώρο.

Η αναπαραγωγή πινάκων για τις τοιχοπληρώσεις γίνεται ανά όροφο και περιλαμβάνει την ταυτότητα “ID”, το ύψος “Height”, το μήκος “Length”, το πάχος “Thickness”, και την επιφάνεια “Surface” των τοιχοπληρώσεων. Σε αυτόν τον πίνακα προστίθενται τρεις επιπλέον στήλες, με τα δεδομένα τα οποία έχουν υπολογιστεί και αφορούν τις συντεταγμένες του κέντρου βάρους κάθε τοίχου σε κάτοψη, στη x και στη y διεύθυνση, “x_cm_wall” και “y_cm_wall” αντίστοιχα, όπως επίσης και την αριστερόστροφη γωνία, “angle_x_wall” την οποία σχηματίζει ο διαμήκης άξονας του τοίχου με τη x διεύθυνση. Τα αρχεία στα οποία αποθηκεύονται οι πίνακες αυτοί είναι τα “Wall_1f_List.txt”, “Wall_2f_List.txt”, “Wall_3f_List.txt” και “Wall_4f_List.txt” για καθένα από τους τέσσερεις ορόφους και παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α.3.

3.5.3. Σχεδιασμός πορτών και παραθύρων

Οι πόρτες εισάγονται στο τρισδιάστατο μοντέλο από τη βιβλιοθήκη του ArchiCAD, καθώς υπάρχουν πολλά είδη πορτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Χρησιμοποιούνται ξύλινες και μεταλλικές πόρτες από αλουμίνιο για τους εσωτερικούς χώρους, ξύλινες πόρτες για τις εισόδους των διαμερισμάτων, αλλά και μια γυάλινη πόρτα για την κεντρική είσοδο του κτιρίου. Όλες οι πόρτες έχουν ύψος 2.10m, και άνοιγμα αναλόγως του χώρου στον οποίο βρίσκονται (οι πόρτες των υπνοδωματίων έχουν άνοιγμα 0.90m κ.λπ.). Σε αυτά τα στοιχεία δίνεται ταυτότητα με αρχικά DR (D οο R) και ακολουθεί ο μοναδικός τριψήφιος αριθμός που χαρακτηρίζει την κάθε πόρτα, όπως φαίνεται στα Σχέδια Α5 έως Α8 του Παραρτήματος Γ (π.χ. μια πόρτα στο δεύτερο όροφο έχει ταυτότητα DR-205).

Η αναπαραγωγή πινάκων για τις πόρτες γίνεται ανά όροφο και περιλαμβάνει την ταυτότητα “ID”, το ύψος “Height” και το πλάτος “Width” των πορτών. Σε αυτόν τον πίνακα προστίθενται

δύο επιπλέον στήλες. Στην πρώτη στήλη προστίθεται η ταυτότητα του τοίχου στον οποίο βρίσκεται ενσωματωμένη η κάθε πόρτα "AttachedToWall", και στη δεύτερη στήλη καθορίζεται ο τύπος "Type" κάθε πόρτας. Στις ξύλινες πόρτες εσωτερικού χώρου (π.χ. πόρτες υπνοδωματίων) καθορίζεται τύπος "WD", στις μεταλλικές πόρτες από αλουμίνιο (π.χ. πόρτες κουζίνας) τύπος "SD", στις ξύλινες πόρτες εισόδου των διαμερισμάτων τύπος "AD", ενώ στην κεντρική πόρτα εισόδου της πολυκατοικίας τύπος "BD". Τα αρχεία στα οποία αποθηκεύονται οι πίνακες αυτοί είναι τα "Door_1f_List.txt", "Door_2f_List.txt", "Door_3f_List.txt" και "Door_4f_List.txt" για καθένα από τους τέσσερεις ορόφους και παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α.4.

Τα παράθυρα, όπως και οι πόρτες, εισάγονται στο τρισδιάστατο μοντέλο από τη βιβλιοθήκη του ArchiCAD, καθώς υπάρχει πλήθος παραθύρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Σε όλους τους χώρους χρησιμοποιούνται παράθυρα με πλαίσιο από αλουμίνιο όπως επίσης και πορτοπαράθυρα για τους εξωτερικούς χώρους των βεραντών. Οι διαστάσεις τους ποικίλουν, αναλόγως του χώρου όπου είναι τοποθετημένα. Σε αυτά τα στοιχεία δίνεται ταυτότητα με αρχικά WN (W in N dow) και ακολουθεί ο μοναδικός τριψήφιος αριθμός που χαρακτηρίζει το κάθε παράθυρο, όπως φαίνεται στα Σχέδια Α5 έως Α8 του Παραρτήματος Γ (π.χ. ένα παράθυρο στο δεύτερο όροφο έχει ταυτότητα WN-205).

Η αναπαραγωγή πινάκων για τα παράθυρα γίνεται ανά όροφο και περιλαμβάνει την ταυτότητα "ID", το ύψος "Height", το πλάτος "Width" και το εμβαδόν "Area" των παραθύρων. Σε αυτόν τον πίνακα προστίθενται δύο επιπλέον στήλες. Στην πρώτη στήλη προστίθεται η ταυτότητα του τοίχου στον οποίο βρίσκεται ενσωματωμένο το κάθε παράθυρο "AttachedToWall", και στη δεύτερη στήλη καθορίζεται ο τύπος "Type" κάθε παραθύρου. Στα απλά παράθυρα καθορίζεται τύπος "W", ενώ στα πορτοπαράθυρα τύπος "DW". Τα αρχεία στα οποία αποθηκεύονται οι πίνακες αυτοί είναι τα "Window_1f_List.txt", "Window_2f_List.txt", "Window_3f_List.txt" και "Window_4f_List.txt" για καθένα από τους τέσσερεις ορόφους και παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α.5.

3.5.4. Τρισδιάστατη απεικόνιση του κτιρίου

Στα Σχήματα 3.3 έως 3.8, παρουσιάζονται τρισδιάστατες απεικονίσεις του κτιρίου, όπως αυτό έχει σχεδιαστεί στο ArchiCAD, από διάφορες όψεις όπως επίσης και τομή του δεύτερου ορόφου.



Σχήμα 3.3. Πρόσοψη Κτιρίου.



Σχήμα 3.4. Πρόσοψη Κτιρίου.



Σχήμα 3.5. Πίσω Όψη Κτιρίου.



Σχήμα 3.6. Πλάγια Όψη Κτιρίου.



Σχήμα 3.7. Πλάγια Όψη Κτιρίου.



Σχήμα 3.8. Τομή Δεύτερου Ορόφου Κτιρίου.

4. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΣΤΑΤΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η προσομοίωση του τρισδιάστατου στατικού μοντέλου του κτιρίου για στατική και δυναμική ανάλυση πραγματοποιείται στο OpenSEES (PEER Center 2006).

4.1. Προσομοίωση Υλικών

Για την κατασκευή του σκελετού του κτιρίου χρησιμοποιείται σκυρόδεμα C25/30, χάλυβας S500 για το διαμήκη οπλισμό και χάλυβας S400 για τον εγκάρσιο οπλισμό (συνδετήρες). Λόγω αδυναμίας του προγράμματος για προσομοίωση του εγκάρσιου οπλισμού, η συνεισφορά του στη διατομή λαμβάνεται υπόψη έμμεσα, δίνοντας στο σκυρόδεμα που περικλείεται από συνδετήρες, τις ιδιότητες του περισφιγμένου σκυροδέματος όπως αυτές υπολογίζονται μέσω του μοντέλου των Mander et al. (1988).

Οι ιδιότητες του μη περισφιγμένου σκυροδέματος (επικάλυψης) δίνονται στον Πίνακα 4.1, ενώ οι ιδιότητες του χάλυβα διαμήκους οπλισμού δίνονται στον Πίνακα 4.2. Οι ιδιότητες του περισφιγμένου σκυροδέματος υποστυλωμάτων και δοκών παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.3 και 4.4, αντίστοιχα.

Πίνακας 4.1. Ιδιότητες μη περισφιγμένου σκυροδέματος.

μέγιστη θλιπτική τάση	f_c	25 MPa
μέτρο ελαστικότητας	E	$5\sqrt{f_c}$ GPa
ανηγμένη παραμόρφωση στη μέγιστη τάση	ϵ_c	0.002
ανηγμένη παραμόρφωση στη τάση θραύσης	ϵ_{cu}	0.004

Πίνακας 4.2. Ιδιότητες χάλυβα διαμήκους οπλισμού.

τάση διαρροής χάλυβα	f_y	500 MPa
μέτρο ελαστικότητας	E_s	210 GPa
κράτυνση (hardening) ως ποσοστό επί του E_s	h	0.1%

4.2. Προσομοίωση Κόμβων

Κάθε δομικό στοιχείο (υποστύλωμα, δοκός) έχει κόμβους στα δύο άκρα του, τον κόμβο αρχής i και τον κόμβο τέλους j , οι οποίοι βρίσκονται στο κέντρο βάρους της διατομής του. Οι κόμβοι αυτοί χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ύψους ή του μήκους του δομικού στοιχείου, ανάλογα εάν αυτό είναι υποστύλωμα ή δοκός. Επιπρόσθετα, αλλά και το κυριότερο, οι κόμβοι αυτοί καθορίζουν τη θέση και τη διεύθυνση του κάθε στοιχείου στο χώρο. Λόγω της πολυπλοκότητας και του μεγέθους του κτιρίου, η αρίθμηση των κόμβων αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι, το οποίο πρέπει να οργανωθεί σωστά προκειμένου να καταστήσει την προσομοίωση όλου του μοντέλου πιο απλή αλλά και λογική.

Για την αρίθμηση των κόμβων, επιλέγεται ένα σύστημα το οποίο βασίζεται στους άξονες (κάνναβο) βάσει των οποίων είναι σχεδιασμένο το κτίριο. Οι άξονες αυτοί περνούν από τα κέντρα βάρους των δομικών στοιχείων του κτιρίου (σε κάτοψη) κάτι το οποίο βοηθά τη διαδικασία προσομοίωσης, δεδομένου ότι στο OpenSEES, τα βαρυτικά φορτία που φέρουν τα δομικά στοιχεία, εφαρμόζονται στο κέντρο βάρους κάθε διατομής. Επομένως κρίνεται σκόπιμο οι κόμβοι αρχής και τέλους κάθε στοιχείου, όπως προκύπτουν από τους άξονες του κτιρίου, να συμπίπτουν με τα κέντρα βάρους των διατομών των στοιχείων.

Σε κάτοψη, καθορίζονται οι άξονες οι οποίοι είναι παράλληλοι με την οριζόντια διεύθυνση (x άξονα) και λαμβάνουν τιμές από 00 έως 09, με αύξουσα σειρά προς τα πάνω (θετικό y άξονα). Η αρίθμηση αυτή ισχύει για τους άξονες οι οποίοι βρίσκονται στο επίπεδο του πατώματος του πρώτου ορόφου (ισογείου) του κτιρίου δηλαδή εκεί όπου βρίσκονται οι βάσεις των υποστυλωμάτων του ισογείου. Οι άξονες οι οποίοι βρίσκονται στο επίπεδο της πλάκας οροφής του πρώτου ορόφου λαμβάνουν τιμές από 10 έως 19, στο επίπεδο της πλάκας οροφής του δεύτερου ορόφου λαμβάνουν τιμές από 20 έως 29, στο επίπεδο της πλάκας οροφής του τρίτου ορόφου λαμβάνουν τιμές από 30 έως 39 και στο επίπεδο της πλάκας οροφής του τέταρτου ορόφου λαμβάνουν τιμές από 40 έως 49.

Οι άξονες οι οποίοι είναι παράλληλοι με την κατακόρυφη διεύθυνση (y άξονα) λαμβάνουν τιμές από 01 έως 12, με αύξουσα σειρά προς τα δεξιά (θετικό x άξονα). Η αρίθμηση αυτών των αξόνων παραμένει σταθερή, ανεξαρτήτως σε ποιο επίπεδο πλάκας γίνεται η αρίθμηση των

κόμβων. Στις κατόψεις των επιπέδων σε AutoCAD οι οποίες παρουσιάζονται στα Σχέδια Σ1 έως Σ5 στο Παράρτημα Γ, παρουσιάζεται η αρίθμηση αυτή για καλύτερη κατανόηση.

Στο σημείο όπου τέμνονται οι άξονες αυτοί, δημιουργούνται οι κόμβοι. Εντούτοις χρήσιμοι για την προσομοίωση είναι μόνο οι κόμβοι οι οποίοι αποτελούν σημεία αναφοράς για τα δομικά στοιχεία της κατασκευής και πιο συγκεκριμένα οι κόμβοι οι οποίοι βρίσκονται στα κέντρα διατομής των υποστυλωμάτων. Για παράδειγμα, ένας κόμβος ο οποίος βρίσκεται στο σημείο τομής του οριζόντιου άξονα 05 και του κατακόρυφου άξονα 07, έχει ως ταυτότητα τον αριθμό 507 (=0507) και βρίσκεται στο επίπεδο του πατώματος του πρώτου ορόφου. Ο κόμβος ο οποίος βρίσκεται στο σημείο τομής του οριζόντιου άξονα 15 και του κατακόρυφου άξονα 07, έχει ως ταυτότητα τον αριθμό 1507 και βρίσκεται στο επίπεδο της οροφής του πρώτου ορόφου. Οι δύο αυτοί κόμβοι στην κάτοψη συμπίπτουν, ενώ στην πλάγια όψη απέχουν μεταξύ τους ένα όροφο. Επομένως το υποστύλωμα του οποίου το κέντρο βάρους συμπίπτει με τους κόμβους αυτούς σε κάτοψη, βρίσκεται στον πρώτο όροφο και έχει ως κόμβο αρχής i τον 507 και ως κόμβο τέλους j τον 1507.

Βάσει αυτής της αρίθμησης, η ταυτότητα κάθε κόμβου αποτελείται από 4 ψηφία, με τα τρία τελευταία να παραμένουν σταθερά για τους κόμβους οι οποίοι σε κάτοψη συμπίπτουν και το πρώτο ψηφίο να αυξάνεται κατά 1 για κάθε υπερκείμενο όροφο.

Όπως έχει προαναφερθεί, τα φορτία εφαρμόζονται στα κέντρα βάρους των διατομών. Αυτό στην περίπτωση των ορθογωνικών υποστυλωμάτων, δεν αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα λόγω της συμμετρίας τους. Εντούτοις, στην περίπτωση του τοιχώματος σχήματος "Γ", και των τοιχωμάτων πυρήνα γύρω από τον ανελκυστήρα, υπολογίζεται ξεχωριστά το κέντρο βάρους κάθε διατομής προκειμένου να καθοριστούν στη σωστή θέση οι κόμβοι αρχής και τέλους.

Στους κόμβους οι οποίοι βρίσκονται στο επίπεδο του πατώματος του πρώτου ορόφου (θεμελίωση), τίθενται περιορισμοί για μετακίνηση και στροφή στο χώρο, δηλαδή ουσιαστικά προσομοιώνονται ως πακτώσεις για τη στήριξη του κτιρίου.

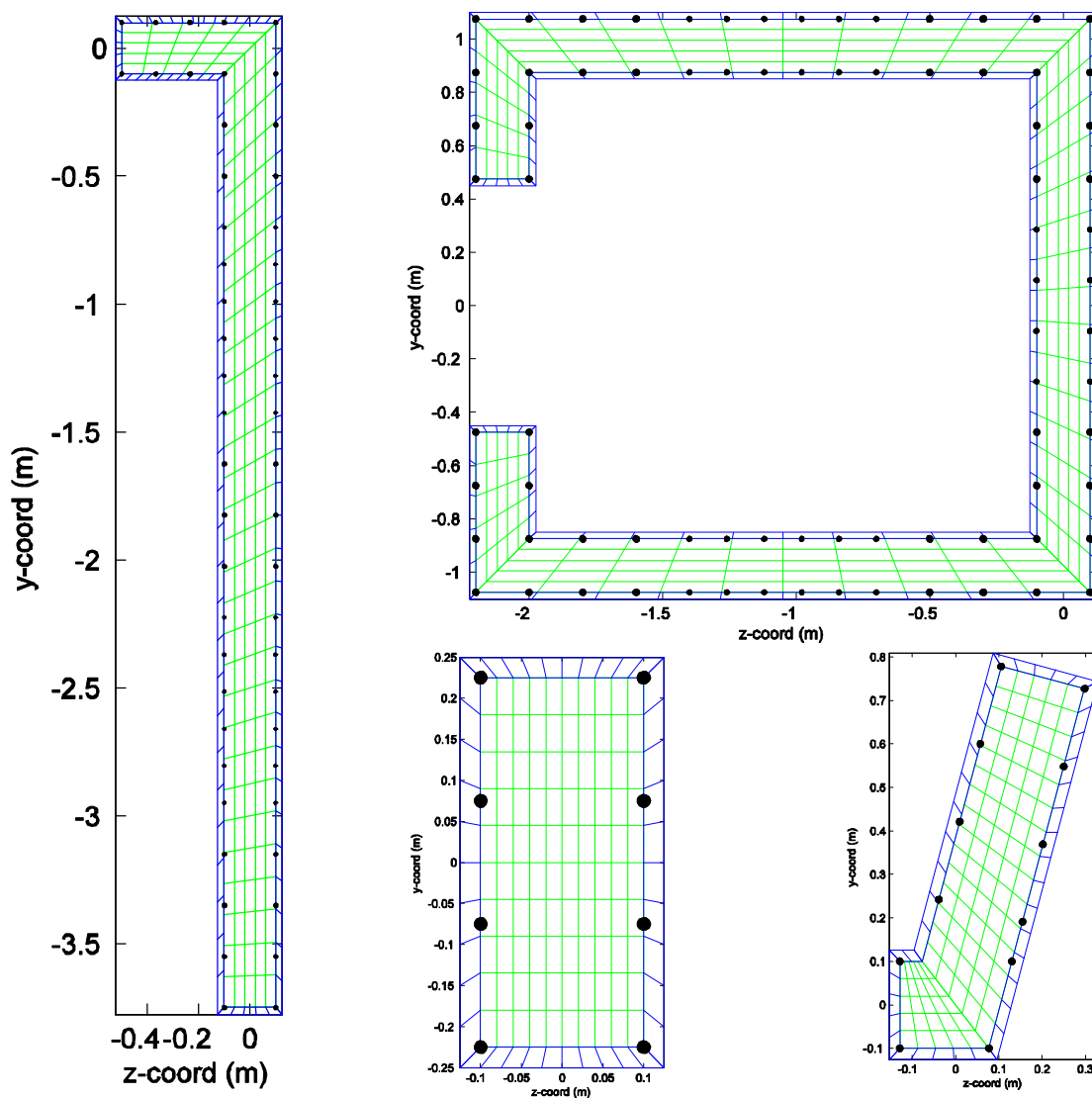
4.3. Προσομοίωση Υποστυλωμάτων

Η διαστασιολόγηση και ο σχεδιασμός των δομικών στοιχείων έγινε προκαταρκτικά από το μελετητή σύμφωνα με τον Κυπριακό Κώδικα Οπλισμένου Σκυροδέματος και τον Κυπριακό Αντισεισμικό Κώδικα (ΣΠΜΑΚ 1991), με στατική ανάλυση του κτιρίου υπό τα βαρυτικά φορτία που φέρει και τα οποία μεταφέρονται από τις πλάκες στις δοκούς, στα υποστυλώματα και τελικά στα θεμέλια. Βάσει αυτής της ανάλυσης έχουν προκύψει οι διατομές των υποστυλωμάτων, οι οποίες παρουσιάζονται στα Σχέδια Δ1 και Δ2 στο Παράρτημα Γ, και οι οποίες προσομοιώνονται στο OpenSEES ως διατομές ινών (fiber sections). Κάθε διατομή υποστυλώματος, χαρακτηρίζεται από δύο διαστάσεις (μήκος και πλάτος), την επικάλυψη του σκυροδέματος, τη διάμετρο ή τις διαμέτρους των ράβδων του διαμήκους οπλισμού, το υλικό του σκυροδέματος και το υλικό του χάλυβα οπλισμού. Λόγω του ότι οι συνδετήρες δεν μπορούν να προσομοιωθούν στο OpenSEES, υπολογίζονται οι ιδιότητες του περισφιγμένου σκυροδέματος εντός της περιοχής που περικλείεται από τους συνδετήρες, μέσω του μοντέλου των Mander et al. (1988). Εκτενής αναφορά για τον υπολογισμό της περίσφιξης των υποστυλωμάτων γίνεται στο υποκεφάλαιο 4.7.1. Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζονται οι διατομές ινών των τοιχωμάτων και μερικών υποστυλωμάτων, όπως προσομοιώνονται στο OpenSEES. Σημειώνεται ότι τα στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται στην ανάλυση είναι βασισμένα στην ευκαμψία (force-based) (π.χ. Zeris et al. 2007).

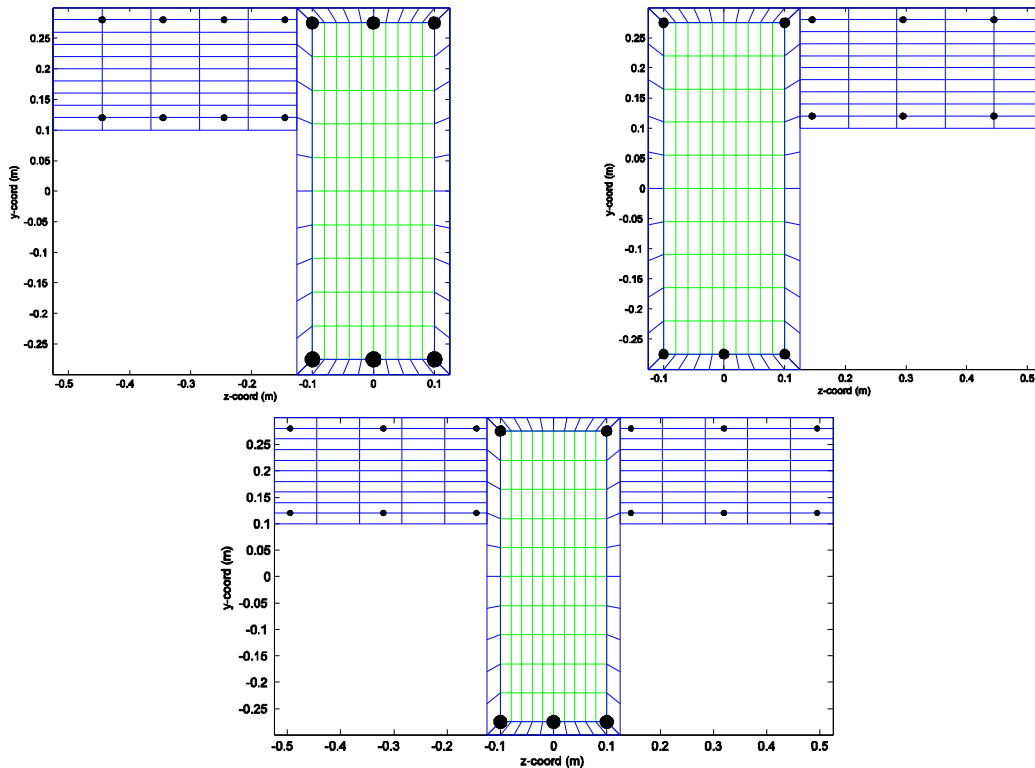
4.4. Προσομοίωση Δοκών

Όπως τα υποστυλώματα, έτσι και οι δοκοί προσομοιώνονται στο OpenSEES ως διατομές ινών. Κάθε διατομή δοκού, χαρακτηρίζεται από δύο διαστάσεις (ύψος και πλάτος), την επικάλυψη του σκυροδέματος, τη διάμετρο ή τις διαμέτρους των ράβδων του διαμήκους οπλισμού, το υλικό του σκυροδέματος και το υλικό του χάλυβα οπλισμού. Και σε αυτή την περίπτωση υπολογίζονται οι ιδιότητες του περισφιγμένου σκυροδέματος εντός της περιοχής των συνδετήρων, υπολογισμοί οι οποίοι παρουσιάζονται στο υποκεφάλαιο 4.7.2. Σημαντικό κομμάτι στην προσομοίωση των δοκών, αποτελεί ο υπολογισμός του συνεργαζόμενου πλάτους με τη συνεισφορά των γειτνιαζουσών πλακών. Εάν η δοκός γειτνιάζει με μια πλάκα, έχει σχήμα “Γ”, ενώ εάν γειτνιάζει με δύο πλάκες έχει σχήμα “Τ”. Στην εργασία αυτή, το συνεργαζόμενο πλάτος δεν υπολογίζεται βάσει της αναλυτικής μεθόδου η οποία αναπτύσσεται από τους Κανονισμούς Σκυροδέματος,

αλλά χάριν ευκολίας λαμβάνεται χονδρικά ίσο με το πάχος της εκάστοτε πλάκας επί 2. Επομένως, για τη σωστή προσομοίωση των δοκών, απαιτούνται επιπλέον στοιχεία όπως το συνεργαζόμενο πλάτος, το πάχος, η επικάλυψη και ο οπλισμός των πλακών (αριθμός, διάμετρος και απόσταση μεταξύ ραβδών) με τις οποίες γειτνιάζει η κάθε δοκός. Σημειώνεται ότι η εσωτερική περιοχή των πλακών δε λαμβάνεται περισφιγμένη. Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζονται οι διατομές ινών μερικών δοκών, όπως προσομοιώνονται στο OpenSEES. Όπως έχει προαναφερθεί, τα στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται στην ανάλυση είναι βασισμένα στην ευκαμψία (π.χ. Zeris et al. 2007).



Σχήμα 4.1. Διατομές ινών υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων.



Σχήμα 4.2. Διατομές ινών δοκών.

4.5. Κατανομή μαζών και φορτίων

Όλες οι πλάκες του κτιρίου έχουν πάχος 20cm. Το ειδικό βάρος του σκυροδέματος λαμβάνεται ίσο με 25 kN/m^3 , επομένως οι πλάκες φέρουν κατανεμημένο φορτίο λόγω του ιδιοβάρους τους ίσο με $0.2\text{m} * 25 \text{ kN/m}^3 = 5 \text{ kN/m}^2$. Το φορτίο λόγω δαπεδόστρωσης (επίστρωση μαρμάρου, μόνωση, υπηρεσίες) υπολογίζεται σε 0.5 kN/m^2 . Επομένως το συνολικό μόνιμο φορτίο πλακών λαμβάνεται ίσο με 5.5 kN/m^2 . Το κινητό φορτίο για τις πλάκες ορόφων εσωτερικού χώρου λαμβάνεται ίσο με 2.25 kN/m^2 . Στις πλάκες της οροφής του κτιρίου δεν τοποθετείται επίστρωση μαρμάρου παρά μόνο μόνωση οπότε το συνολικό μόνιμο φορτίο πλακών στην οροφή λαμβάνεται ίσο με 5.25 kN/m^2 . Το κινητό φορτίο στην οροφή λαμβάνεται ίσο με 1.25 kN/m^2 . Βάσει αυτών των φορτίων έχει γίνει από τον μελετητή η στατική ανάλυση και έχει υπολογιστεί ο οπλισμός των πλακών. Αυτός ο οπλισμός χρησιμοποιείται στην προσομοίωση των πλακοδοκών για τον καθορισμό του οπλισμού που τοποθετείται στο συνεργαζόμενο πλάτος κάθε δοκού. Επιπρόσθετα συνυπολογίζεται η κατανομή του βάρους λόγω των τοιχοπληρώσεων. Για τη μπατική τοιχοποιία

(εξωτερική) λαμβάνεται φορτίο 3.6 kN/m^2 ενώ για τη δρομική τοιχοποιία (εσωτερική) λαμβάνεται φορτίο 2.1 kN/m^2 .

Λαμβάνοντας τις διαστάσεις των διατομών ως τις ενδεδειγμένες στα σχέδια, θεωρώντας ότι η μάζα των δοκών και των υποστυλωμάτων είναι αμελητέα σε σχέση με τη μάζα των πλακών και εφαρμόζοντας όλους τους παραπάνω υπολογισμούς, γίνεται κατανομή των φορτίων από τις πλάκες στις δοκούς, ανάλογα με το αν μια πλάκα γειτνιάζει με άλλη ή αν είναι ελεύθερη, προκειμένου να υπολογιστούν οι σεισμικές μάζες οι οποίες τοποθετούνται στους κόμβους του κτιρίου και τα κατανεμημένα φορτία των δοκών. Η κατανομή των φορτίων αυτών παρουσιάζεται στο Σχέδιο Σ6 του Παραρτήματος Γ.

4.6. Προσομοίωση διαφραγματικής λειτουργίας πλακών

Στο OpenSEES, λόγω του ότι οι πλάκες δεν μπορούν να προσομοιωθούν ως είναι, προσομοιώνονται ελαστικά στοιχεία με μεγάλη αξονική ακαμψία και μικρή ροπή αδράνειας, τα οποία συνδέουν τον κόμβο που βρίσκεται στο κέντρο κάθε πλάκας με τους κόμβους οι οποίοι την περιβάλλουν, προκειμένου να εξασφαλιστεί η διαφραγματική λειτουργία των πλακών, δηλαδή το ότι οι πλάκες είναι άκαμπτες στο επίπεδο της μεγάλης τους διάστασης. Εντούτοις, λόγω αυτής της προσομοίωσης, με την επιβολή των βαρυτικών κατανεμημένων φορτίων στις δοκούς, αυτές λαμβάνουν μεγαλύτερες παραμορφώσεις από αυτές τις οποίες λαμβάνουν υπό κανονικές συνθήκες, με τη δημιουργία μεγάλων βελών κάμψης και την αύξηση του μήκους τους. Για το λόγο αυτό, εφαρμόζονται στους ακραίους κόμβους των δοκών οριζόντιες δυνάμεις προέντασης της τάξης του $5\% \sum A_i f_c$, όπου A η διατομή της δοκού και f_c η μέγιστη θλιπτική τάση του σκυροδέματος (Πίνακας 4.1), προτού εφαρμοστούν τα βαρυτικά φορτία, προκειμένου οι δοκοί να λάβουν τις πραγματικές τους παραμορφώσεις (Zeris et al. 2007).

4.7. Υπολογισμός συμπεριφοράς ινών σκυροδέματος σε αξονική τάση

Στον αντισεισμικό σχεδιασμό των δομικών στοιχείων ενός κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα και κυρίως των υποστυλωμάτων, οι περιοχές στις οποίες δύναται να δημιουργηθούν πλαστικές αρθρώσεις, πρέπει να σχεδιαστούν προσεκτικά για πλαστιμότητα, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η σεισμική κίνηση από ισχυρούς σεισμούς δεν θα προκαλέσει κατάρρευση του κτιρίου. Επίσης είναι απαραίτητη η επαρκής πλαστιμότητα των μελών ενός κτιρίου με απώτερο στόχο την

ανακατανομή των ροπών μετά τη δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων. Στις κρίσιμες περιοχές όπου ενδέχεται να δημιουργηθούν πλαστικές αρθρώσεις πρέπει να χρησιμοποιείται επαρκής εγκάρσιος οπλισμός (transverse reinforcement steel), κυκλικής, σπειροειδούς ή ορθογωνικής μορφής αναλόγως του σχήματος της διατομής, προκειμένου να αποφεύγεται ο λυγισμός του διαμήκους οπλισμού (longitudinal reinforcement steel) και κατά συνέπεια η διατμητική αστοχία.

Πειραματικές δοκιμές έχουν δείξει ότι η περίσφιξη του σκυροδέματος με τη κατάλληλη διάταξη εγκάρσιου οπλισμού, συντελεί σε σημαντική αύξηση της αντοχής και της πλαστιμότητας του περισφιγμένου σκυροδέματος (Mander et al. 1988). Συγκεκριμένα, η αύξηση της δύναμης από την περίσφιξη και η κλίση του φθίνοντα κλάδου έχουν σημαντική επιρροή στην καμπτική αντοχή και πλαστιμότητα των υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Με αυτό τον τρόπο, ενώ το σκυρόδεμα επικάλυψης που δεν είναι περισφιγμένο φτάνει στο ανώτατο όριο τάσης που μπορεί να δεχτεί και έπειτα παύει να είναι αποτελεσματικό, το σκυρόδεμα του πυρήνα που είναι περισφιγμένο συνεχίζει να παραλαμβάνει σημαντικά μεγαλύτερες τάσεις και παραμορφώσεις πέραν του ορίου διαρροής του.

Όπως έχει προαναφερθεί, κατά την προσομοίωση των υποστυλωμάτων και των δοκών στο OpenSEES, δεν υπάρχει η δυνατότητα για προσομοίωση του εγκάρσιου οπλισμού (συνδετήρες), παρά μόνο του διαμήκους οπλισμού. Επομένως, καθορίζονται δύο περιοχές στη διατομή των δομικών στοιχείων, η περιοχή της επικάλυψης, η οποία βρίσκεται εκτός του εγκάρσιου οπλισμού και η περιοχή του πυρήνα η οποία περικλείεται από τον εγκάρσιο οπλισμό. Για τις δύο αυτές περιοχές καθορίζονται δύο ξεχωριστά υλικά σκυροδέματος. Στην περιοχή επικάλυψης ανατίθεται υλικό που έχει τις ιδιότητες του μη περισφιγμένου σκυροδέματος, ενώ στην περιοχή του πυρήνα ανατίθεται υλικό που έχει τις ιδιότητες του περισφιγμένου σκυροδέματος, λαμβάνοντας με αυτόν τον τρόπο υπόψη την συνεισφορά του εγκάρσιου οπλισμού στο δομικό στοιχείο. Οι ιδιότητες του μη περισφιγμένου σκυροδέματος είναι οι γνωστές ιδιότητες του σκυροδέματος C25/30, όπως παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 4.1. Οι ιδιότητες του περισφιγμένου σκυροδέματος, υπολογίζονται μέσω ενός μοντέλου που αναπτύχθηκε από τους Mander et al. (1988). Πρόκειται για μια διαδικασία κατά την οποία αναπτύσσεται ένα μοντέλο τάσης-παραμόρφωσης για το σκυρόδεμα το οποίο υπόκειται σε μονοαξονική θλίψη ενώ περισφίγγεται από εγκάρσιο οπλισμό και υπολογίζεται ο λόγος περίσφιξης.

4.7.1. Περίσφιξη υποστυλωμάτων

Γίνονται οι υπολογισμοί περίσφιξης για κάθε τύπο υποστυλώματος που συναντάται στην κατασκευή και υπολογίζεται ένας μέσος όρος των λόγων περίσφιξης, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση των ιδιοτήτων του σκυροδέματος περίσφιξης του πυρήνα των υποστυλωμάτων. Οι ιδιότητες αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3. Ακολουθούν ενδεικτικοί υπολογισμοί για ένα υποστυλώμα διαστάσεων $b=50\text{cm}$ και $d=25\text{cm}$ από σκυρόδεμα C25/30 με διαμήκη οπλισμό 4Φ18/S500, 4Φ20/S500 και εγκάρσιο οπλισμό Φ8/100mm/S400.

θλιπτική αντοχή μη περισφιγμένου σκυροδέματος

$$f'_{co} = 25\text{MPa} \quad (4.1)$$

ανηγμένη παραμόρφωση (τροπή) μη περισφιγμένου σκυροδέματος στη θλιπτική αντοχή

$$e_{co} = 0.002 \quad (4.2)$$

μέτρο ελαστικότητας χάλυβα

$$E_{sl} = 210000\text{MPa} \quad (4.3)$$

τάση διαρροής διαμήκους οπλισμού

$$f_{yl} = 500\text{MPa} \quad (4.4)$$

τάση διαρροής εγκάρσιου οπλισμού

$$f_{yh} = 400\text{MPa} \quad (4.5)$$

πάχος επικάλυψης σκυροδέματος

$$c = 25\text{mm} = 0.025\text{m} \quad (4.6)$$

διάμετρος διαμήκους οπλισμού

$$d_{sl1} = 18mm = 0.018m \quad \text{και} \quad d_{sl2} = 20mm = 0.020m \quad (4.7)$$

διάμετρος εγκάρσιου οπλισμού

$$d_{sp} = 8mm = 0.008m \quad (4.8)$$

κάθετη απόσταση μεταξύ συνδετήρων

$$s = 100mm = 0.10m \quad (4.9)$$

εμβαδόν επιφάνειας εγκάρσιου οπλισμού στη x διεύθυνση (2Φ8)

$$A_{sx} = 2p \frac{d_{sp}^2}{4} = 2p \frac{(0.008m)^2}{4} = 1.01 \cdot 10^{-4} m^2 \quad (4.10)$$

εμβαδόν επιφάνειας εγκάρσιου οπλισμού στη y διεύθυνση (4Φ8)

$$A_{sy} = 2p \frac{d_{sp}^2}{4} = 4p \frac{(0.008m)^2}{4} = 2.02 \cdot 10^{-4} m^2 \quad (4.11)$$

συνολικό εμβαδόν επιφάνειας διαμήκους οπλισμού (8Φ16)

$$A_{sl} = 4p \frac{d_{sl1}^2}{4} + 4p \frac{d_{sl2}^2}{4} = 4p \frac{(0.018m)^2}{4} + 4p \frac{(0.020m)^2}{4} = 2.27 \cdot 10^{-3} m^2 \quad (4.12)$$

καθαρές αποστάσεις μεταξύ ράβδων διαμήκους οπλισμού

$$w_i = \begin{bmatrix} 0.119m & 0.119m & 0.119m & \\ 0.144m & & & 0.144m \\ & 0.119m & 0.119m & 0.119m \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

καθαρή κάθετη απόσταση μεταξύ συνδετήρων

$$s' = s - d_{sp} = 100mm - 8mm = 92mm \quad (4.14)$$

εμβαδόν επιφάνειας εγκάρσιου οπλισμού (μιας ράβδου Φ8)

$$A_{sp} = p \frac{d_{sp}^2}{4} = p \frac{(0.008m)^2}{4} = 5.03 \cdot 10^{-5} m^2 \quad (4.15)$$

μήκος πυρήνα (x διεύθυνση)

$$b_c = b - 2c - d_{sp} = 0.5m - 2 \cdot 0.025m - 0.008m = 0.44m \quad (4.16)$$

πλάτος πυρήνα (y διεύθυνση)

$$d_c = d - 2c - d_{sp} = 0.25m - 2 \cdot 0.025m - 0.008m = 0.19m \quad (4.17)$$

[παρατήρηση: $b_c > d_c$]

λόγος εμβαδού επιφάνειας διαμήκους οπλισμού προς εμβαδόν επιφάνεια πυρήνα

$$r_{cc} = \frac{A_{sl}}{b_c \cdot d_c} = \frac{2.27 \cdot 10^{-3} m^2}{0.44m \cdot 0.19m} = 2.68 \cdot 10^{-2} \quad (4.18)$$

συντελεστής αποτελεσματικότητας περίσφιξης

$$k_e = \frac{\left[1 - \sum_{i=1}^n \frac{(w_i)^2}{6b_c d_c} \right] \cdot \left(1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \cdot \left(1 - \frac{s'}{2d_c} \right)}{1 - r_{cc}} = 0.526 \quad (4.19)$$

λόγος διαμήκους οπλισμού στη x διεύθυνση

$$r_x = \frac{A_{sx}}{s \cdot d_c} = \frac{1.01 \cdot 10^{-4} m^2}{0.1m \cdot 0.19m} = 5.24 \cdot 10^{-3} \quad (4.20)$$

λόγος διαμήκους οπλισμού στη y διεύθυνση

$$r_y = \frac{A_{sy}}{s \cdot b_c} = \frac{2.02 \cdot 10^{-4} m^2}{0.1m \cdot 0.44m} = 4.55 \cdot 10^{-3} \quad (4.21)$$

συνολικός λόγος όγκου οπλισμού περίσφιξης προς όγκο πυρήνα σκυροδέματος

$$r_s = \frac{A_{sx} \cdot b_c + A_{sy} \cdot d_c}{b_c \cdot d_c \cdot s} = \frac{1.01 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot 0.44m + 2.02 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot 0.19m}{0.44m \cdot 0.19m \cdot 0.1m} = 0.0098 \quad (4.22)$$

$$f'_{lx} = k_e \cdot r_x \cdot f_{yh} = 0.526 \cdot 5.24 \cdot 10^{-3} \cdot 400MPa = 1.101MPa \quad (4.23)$$

$$f'_{ly} = k_e \cdot r_y \cdot f_{yh} = 0.526 \cdot 4.55 \cdot 10^{-3} \cdot 400MPa = 0.956MPa \quad (4.24)$$

μικρότερος λόγος τάσης περίσφιξης

$$ratio1 = \min\left(\frac{f'_{lx}}{f'_{co}}, \frac{f'_{ly}}{f'_{co}}\right) = \min\left(\frac{f'_{lx}}{f'_{co}}, \frac{f'_{ly}}{f'_{co}}\right) = 0.038 \quad (4.25)$$

μεγαλύτερος λόγος τάσης περίσφιξης

$$ratio2 = \max\left(\frac{f'_{lx}}{f'_{co}}, \frac{f'_{ly}}{f'_{co}}\right) = \max\left(\frac{f'_{lx}}{f'_{co}}, \frac{f'_{ly}}{f'_{co}}\right) = 0.044 \quad (4.26)$$

Από Mander et al. (1988), προκύπτει ότι ο λόγος περίσφιξης είναι

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 1.25 \quad (4.27)$$

μέγιστη θλιπτική αντοχή περισφιγμένου σκυροδέματος

$$f'_{cc} = 1.25 \cdot f'_{co} = 1.25 \cdot 25MPa = 31.25MPa \quad (4.28)$$

μέγιστη ανηγμένη παραμόρφωση περισφιγμένου σκυροδέματος

$$e_{cc} = e_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] = 0.002[1 + 5(1.25 - 1)] = 0.0045 \quad (4.29)$$

μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος

$$E_c = 5000\sqrt{f'_{co}} MPa = 25000 MPa \quad (4.30)$$

διαμήκης ανηγμένη παραμόρφωση θλιβόμενου σκυροδέματος στο στάδιο της πρώτης αστοχίας του εγκάρσιου οπλισμού

$$110r_s = \int_0^{e_{cu}} f_c de_c + r_{cc} \int_0^{e_{cu}} f_{sl} de_c - 0.017\sqrt{f'_{co}} MJ / m^3 \quad (4.31)$$

από αριθμητική επίλυση της εξίσωσης 4.31 προκύπτει

$$e_{cu} = 0.047 \quad (4.32)$$

Πίνακας 4.3. Ιδιότητες περισφιγμένου σκυροδέματος υποστυλωμάτων.

μέγιστη θλιπτική τάση	f_c	31.25 MPa
μέτρο ελαστικότητας	E	$5\sqrt{f_c}$ GPa
ανηγμένη παραμόρφωση στη μέγιστη τάση	ε_{cc}	0.0045
ανηγμένη παραμόρφωση στη τάση θραύσης	ε_{cu}	0.047

4.7.2. Περίσφιξη δοκών

Γίνονται οι υπολογισμοί περίσφιξης για κάθε τύπο δοκού που συναντάται στην κατασκευή και υπολογίζεται ένας μέσος όρος των λόγων περίσφιξης, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση των ιδιοτήτων του σκυροδέματος περίσφιξης του πυρήνα των δοκών. Οι ιδιότητες αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4. Ακολουθούν ενδεικτικοί υπολογισμοί για μια δοκό διαστάσεων $b=60\text{cm}$ και $d=25\text{cm}$ από σκυρόδεμα C25/30 με άνω διαμήκη οπλισμό 2Φ16/S500, κάτω διαμήκη οπλισμό 3Φ16/S500 και εγκάρσιο οπλισμό Φ8/100mm/S400.

θλιπτική αντοχή μη περισφινγμένου σκυροδέματος

$$f'_{co} = 25MPa \quad (4.33)$$

ανηγμένη παραμόρφωση (τροπή) μη περισφινγμένου σκυροδέματος στη θλιπτική αντοχή

$$e_{co} = 0.002 \quad (4.34)$$

μέτρο ελαστικότητας χάλυβα

$$E_{sl} = 210000MPa \quad (4.35)$$

τάση διαρροής διαμήκους οπλισμού

$$f_{yl} = 500MPa \quad (4.36)$$

τάση διαρροής εγκάρσιου οπλισμού

$$f_{yh} = 400MPa \quad (4.37)$$

πάχος επικάλυψης σκυροδέματος

$$c = 25mm = 0.025m \quad (4.38)$$

διάμετρος διαμήκους οπλισμού

$$d_{sl} = 16mm = 0.016m \quad (4.39)$$

διάμετρος εγκάρσιου οπλισμού

$$d_{sp} = 8mm = 0.008m \quad (4.40)$$

κάθετη απόσταση μεταξύ συνδετήρων

$$s = 100mm = 0.10m \quad (4.41)$$

εμβαδόν επιφάνειας εγκάρσιου οπλισμού στη x διεύθυνση (2Φ8)

$$A_{sx} = 2p \frac{d_{sp}^2}{4} = 2p \frac{(0.008m)^2}{4} = 1.01 \cdot 10^{-4} m^2 \quad (4.42)$$

εμβαδόν επιφάνειας εγκάρσιου οπλισμού στη y διεύθυνση (2Φ8)

$$A_{sy} = 2p \frac{d_{sp}^2}{4} = 2p \frac{(0.008m)^2}{4} = 1.01 \cdot 10^{-4} m^2 \quad (4.43)$$

συνολικό εμβαδόν επιφάνειας διαμήκους οπλισμού (5Φ16)

$$A_{sl} = 5p \frac{d_{sl}^2}{4} = 5p \frac{(0.016m)^2}{4} = 1.01 \cdot 10^{-3} m^2 \quad (4.44)$$

καθαρές αποστάσεις μεταξύ ράβδων διαμήκους οπλισμού

$$w_i = \begin{bmatrix} & 0.152m & \\ 0.502m & & 0.502m \\ & 0.068m & 0.068m \end{bmatrix} \quad (4.45)$$

καθαρή κάθετη απόσταση μεταξύ συνδετήρων

$$s' = s - d_{sp} = 100mm - 8mm = 92mm \quad (4.46)$$

εμβαδόν επιφάνειας εγκάρσιου οπλισμού (μιας ράβδου Φ8)

$$A_{sp} = p \frac{d_{sp}^2}{4} = p \frac{(0.008m)^2}{4} = 5.03 \cdot 10^{-5} m^2 \quad (4.47)$$

μήκος πυρήνα (x διεύθυνση)

$$b_c = b - 2c - d_{sp} = 0.6m - 2 \cdot 0.025m - 0.008m = 0.54m \quad (4.48)$$

πλάτος πυρήνα (y διεύθυνση)

$$d_c = d - 2c - d_{sp} = 0.25m - 2 \cdot 0.025m - 0.008m = 0.19m \quad (4.49)$$

[παρατήρηση: $b_c > d_c$]

λόγος εμβαδού επιφάνειας διαμήκους οπλισμού προς εμβαδόν επιφάνεια πυρήνα

$$r_{cc} = \frac{A_{sl}}{b_c \cdot d_c} = \frac{1.01 \cdot 10^{-3} m^2}{0.54m \cdot 0.19m} = 9.66 \cdot 10^{-3} \quad (4.50)$$

συντελεστής αποτελεσματικότητας περίσφιξης

$$k_e = \frac{\left[1 - \sum_{i=1}^n \frac{(w_i)^2}{6b_c d_c} \right] \cdot \left(1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \cdot \left(1 - \frac{s'}{2d_c} \right)}{1 - r_{cc}} = 0.099 \quad (4.51)$$

λόγος διαμήκους οπλισμού στη x διεύθυνση

$$r_x = \frac{A_{sx}}{s \cdot d_c} = \frac{1.01 \cdot 10^{-4} m^2}{0.1m \cdot 0.19m} = 5.24 \cdot 10^{-3} \quad (4.52)$$

λόγος διαμήκους οπλισμού στη y διεύθυνση

$$r_y = \frac{A_{sy}}{s \cdot b_c} = \frac{1.01 \cdot 10^{-4} m^2}{0.1m \cdot 0.54m} = 1.85 \cdot 10^{-3} \quad (4.53)$$

συνολικός λόγος όγκου οπλισμού περίσφιξης προς όγκο πυρήνα σκυροδέματος

$$r_s = \frac{A_{sx} \cdot b_c + A_{sy} \cdot d_c}{b_c \cdot d_c \cdot s} = \frac{1.01 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot 0.54m + 1.01 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot 0.19m}{0.54m \cdot 0.19m \cdot 0.1m} = 0.0071 \quad (4.54)$$

$$f'_{lx} = k_e \cdot r_x \cdot f_{yh} = 0.099 \cdot 5.24 \cdot 10^{-3} \cdot 400MPa = 0.207MPa \quad (4.55)$$

$$f'_{ly} = k_e \cdot r_y \cdot f_{yh} = 0.099 \cdot 1.85 \cdot 10^{-3} \cdot 400MPa = 0.073MPa \quad (4.56)$$

μικρότερος λόγος τάσης περίσφιξης

$$ratio1 = \min\left(\frac{f'_{lx}}{f'_{co}}, \frac{f'_{ly}}{f'_{co}}\right) = \min\left(\frac{f'_{lx}}{f'_{co}}, \frac{f'_{ly}}{f'_{co}}\right) = 0.003 \quad (4.57)$$

μεγαλύτερος λόγος τάσης περίσφιξης

$$ratio2 = \max\left(\frac{f'_{lx}}{f'_{co}}, \frac{f'_{ly}}{f'_{co}}\right) = \max\left(\frac{f'_{lx}}{f'_{co}}, \frac{f'_{ly}}{f'_{co}}\right) = 0.008 \quad (4.58)$$

Από Mander et al. (1988), προκύπτει ότι ο λόγος περίσφιξης είναι

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 1.02 \quad (4.59)$$

μέγιστη θλιπτική αντοχή περισφιγμένου σκυροδέματος

$$f'_{cc} = 1.00 \cdot f'_{co} = 1.02 \cdot 25MPa = 25.5MPa \quad (4.60)$$

μέγιστη ανηγμένη παραμόρφωση περισφιγμένου σκυροδέματος

$$e_{cc} = e_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] = 0.002[1 + 5(1.02 - 1)] = 0.0022 \quad (4.61)$$

μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος

$$E_c = 5000\sqrt{f'_{co}} MPa = 25000MPa \quad (4.62)$$

διαμήκης ανηγμένη παραμόρφωση θλιβόμενου σκυροδέματος στο στάδιο της πρώτης αστοχίας του εγκάρσιου οπλισμού

$$110r_s = \int_0^{e_{cu}} f_c de_c + r_{cc} \int_0^{e_{cu}} f_{sl} de_c - 0.017\sqrt{f'_{co}} MJ / m^3 \quad (4.63)$$

από αριθμητική επίλυση της εξίσωσης 4.63 προκύπτει

$$e_{cu} = 0.08 \quad (4.64)$$

Πίνακας 4.4. Ιδιότητες περισφιγμένου σκυροδέματος δοκών.

μέγιστη θλιπτική τάση	f_c	25.5 MPa
μέτρο ελαστικότητας	E	$5\sqrt{f_c}$ GPa
ανηγμένη παραμόρφωση στη μέγιστη τάση	ϵ_{cc}	0.0022
ανηγμένη παραμόρφωση στη τάση θραύσης	ϵ_{cu}	0.08

4.8. Καταγραφή αποτελεσμάτων

Αφού προσομοιωθεί το πολυώροφο κτίριο στο OpenSEES, επιλέγονται τα δεδομένα που θέλουμε να πάρουμε μέσα από την ανάλυση. Αυτή η διαδικασία γίνεται μέσω των Καταγραφών (Recorders). Οι καταγραφείς είναι “αντικείμενα” (objects) τα οποία παρακολουθούν και ελέγχουν (monitoring), τους κόμβους και τα στοιχεία ενός φορέα κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, ανάλογα με τις παραμέτρους που καθορίζονται από το χρήστη (Mazzoni et al. 2007). Τα δεδομένα τα οποία προκύπτουν, καταγράφονται και εξάγονται σε αρχεία προκειμένου ο χρήστης να αξιοποιήσει τα εξαγόμενα αποτελέσματα για το σκοπό που τα χρειάζεται.

Οι πιο διαδεδομένοι καταγραφείς που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο OpenSEES είναι:

- Ø καταγραφέας κόμβων (node recorder): Αυτός ο τύπος καταγραφέα αφορά τους κόμβους και εξάγει αποτελέσματα για τις μετατοπίσεις (displacements), ταχύτητες (velocities) και επιταχύνσεις (accelerations), τόσο μεταφορικές (translational) όσο και περιστροφικές (rotational).
- Ø καταγραφέας ανηγμένης σχετικής μετατόπισης (drift recorder): Αυτός ο τύπος καταγραφέα καταγράφει την ανηγμένη σχετική μετατόπιση μεταξύ δύο κόμβων, ως το λόγο της σχετικής μετατόπισης μεταξύ των δύο κόμβων προς τη μεταξύ τους αρχική απόσταση.
- Ø καταγραφέας μελών (element recorder): Αυτός ο τύπος καταγραφέα αφορά τα στοιχεία του φορέα και εξάγει αποτελέσματα για τις αποκρίσεις τους όπως είναι οι παραμορφώσεις

(deformation) και οι πλαστικές στροφές (plastic rotation) στα άκρα τους καθώς και για τις δυνάμεις (global and local force) που αναπτύσσονται σε αυτά.

Καταγραφέας πλαστικών αρθρώσεων μελών (Plastic Rotation Recorder)

Το μέτρο ζημιάς, βάσει του οποίου καθορίζεται σε ποια κατάσταση ζημιάς εισέρχονται τα υποστυλώματα και οι δοκοί, επιλέγεται να είναι η μέγιστη πλαστική στροφή (plastic rotation) που αναπτύσσεται στο κάθε άκρο τους. Επομένως γίνεται επιλογή της παρακολούθησης των πλαστικών αρθρώσεων των μελών.

Συγκεκριμένα, το OpenSEES, μέσω του καταγραφέα αυτού, για κάθε δομικό στοιχείο (element nonlinearBeamColumn), υποστύλωμα και δοκό, εξάγει ένα αρχείο το οποίο συνιστά ουσιαστικά ένα πίνακα με 7 στήλες και τόσες σειρές όσες είναι η χρονική διάρκεια της σεισμικής κίνησης διαιρεμένη με το χρονικό βήμα που χρησιμοποιείται για την ανάλυση. Στην πρώτη στήλη βρίσκεται η χρονική στιγμή (time) για την οποία εξάγονται τα δεδομένα. Στην δεύτερη στήλη βρίσκεται η πλαστική αξονική παραμόρφωση (plastic axial deformation), στην τρίτη η πλαστική στροφή γύρω από τον τοπικό άξονα z στο άκρο I (plastic rotation about local z-axis at end I), στην τέταρτη η πλαστική στροφή γύρω από τον τοπικό άξονα z στο άκρο J (plastic rotation about local z-axis at end J), στην πέμπτη η πλαστική στροφή γύρω από τον τοπικό άξονα y στο άκρο I (plastic rotation about local y-axis at end I), στην έκτη η πλαστική στροφή γύρω από τον τοπικό άξονα y στο άκρο J (plastic rotation about local y-axis at end J) και στην έβδομη η πλαστική στρεπτική παραμόρφωση (plastic torsional deformation). Γίνεται επιλογή από το χρήστη, οι πληροφορίες αυτές να εξάγονται σε αρχεία ανά όροφο και όχι ανά δομικό στοιχείο, δηλαδή οι πλαστικές στροφές των υποστυλωμάτων ή των δοκών που βρίσκονται σε ένα όροφο να εξάγονται σε ένα αρχείο.

Καταγραφέας μετακινήσεων κόμβων (Node Displacement Recorder)

Σε κάθε όροφο, επιλέγεται ένας κόμβος ο οποίος σε κάτοψη συμπίπτει με το κέντρο βάρους του ορόφου, ή βρίσκεται όσο πιο κοντά γίνεται σε αυτό. Για κάθε ένα από αυτούς τους κόμβους, μέσω του καταγραφέα μετακινήσεων κόμβων, το OpenSEES εξάγει ένα αρχείο το οποίο αποτελεί ουσιαστικά ένα πίνακα με 4 στήλες και τόσες σειρές όσες είναι η χρονική διάρκεια της σεισμικής κίνησης διαιρεμένη με το χρονικό βήμα που χρησιμοποιείται για την ανάλυση. Στην

πρώτη στήλη βρίσκεται η χρονική στιγμή (time) για την οποία εξάγονται τα δεδομένα, στην δεύτερη και τρίτη στήλη βρίσκονται οι οριζόντιες μετακινήσεις (displacements) του κόμβου στην x και y διεύθυνση αντίστοιχα, ενώ στην τέταρτη στήλη δίνεται η στροφή (rotation) του κόμβου γύρω από τον κατακόρυφο άξονα z.

Καταγραφέας επιταχύνσεων κόμβων (Node Acceleration Recorder)

Σε αντίστοιχα αρχεία, μέσω του καταγραφέα επιταχύνσεων κόμβων, εξάγονται τα δεδομένα για τις επιταχύνσεις των ίδιων κόμβων στους οριζόντιους άξονες. Συγκεκριμένα για κάθε ένα από αυτούς τους κόμβους, εξάγεται ένα αρχείο το οποίο αποτελείται από ένα πίνακα με 3 στήλες και τον ίδιο αριθμό σειρών όπως προηγουμένως. Στην πρώτη στήλη βρίσκεται ο χρόνος (time), ενώ στη δεύτερη και τρίτη στήλη βρίσκονται οι οριζόντιες επιταχύνσεις (accelerations) του κόμβου στη x και y διεύθυνση αντίστοιχα. Αυτό το είδος καταγραφής αξιοποιείται για τον υπολογισμό της μέγιστης επιτάχυνσης κάθε ορόφου, η οποία αποτελεί το μέτρο ζημιάς για τα διάφορα αντικείμενα εσωτερικού χώρου.

Καταγραφέας ανηγμένων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων (Drift Recorder)

Επιπρόσθετα, ζητείται από το OpenSEES, να εξάγει δεδομένα για τις ανηγμένες σχετικές μετατοπίσεις των ορόφων. Αυτό πραγματοποιείται, δίνοντας στο πρόγραμμα ως δεδομένα τους κόμβους που αποτελούν τα κέντρα βάρους των ορόφων, ανά ζεύγη, και ζητώντας του να υπολογίσει την ανηγμένη σχετική παραμόρφωση του ορόφου που καθορίζεται από το ζεύγος των κόμβων, στην επιθυμητή διεύθυνση. Έτσι εξάγονται δύο ξεχωριστά αρχεία για κάθε όροφο, με το πρώτο να περιλαμβάνει στην πρώτη του στήλη το χρόνο και στη δεύτερη τις ανηγμένες σχετικές παραμορφώσεις του ορόφου στη x διεύθυνση και το δεύτερο να περιλαμβάνει αντίστοιχα, το χρόνο με τις ανηγμένες σχετικές παραμορφώσεις του ορόφου στη y διεύθυνση.

Αυτά τα αρχεία αξιοποιούνται από το Matlab, προκειμένου να καθοριστούν τα μέτρα ζημιάς των τοιχοπληρώσεων, των πορτών και των παραθύρων. Για τις τοιχοπληρώσεις, ως μέτρο ζημιάς καθορίζεται η ανηγμένη παραμόρφωσή τους σε σχέση με τον όροφο στον οποίο βρίσκονται (Wall Drift Ratio). Για τις πόρτες και τα παράθυρα, ως μέτρο ζημιάς καθορίζεται η ανηγμένη παραμόρφωσή τους ανάλογα με το σε ποιον τοίχο είναι ενσωματωμένα. Αυτό πραγματοποιείται μέσω κατάλληλων μετασχηματισμών – τύπων, έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη η θέση του κάθε

στοιχείου στο χώρο, σε σχέση με τη θέση των κόμβων οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Ο λόγος είναι ότι η στροφή των ορόφων λόγω εκκεντρότητας κέντρου μάζας / κέντρου δυσκαμψίας ουσιαστικά δημιουργεί διαφορετικές πραγματικές μετακινήσεις σε διαφορετικά σημεία κάθε ορόφου. Έτσι απαιτείται η γνώση της ακριβούς θέσης κάθε στοιχείου για την εξακρίβωση των πραγματικών παραμορφώσεών του. Οι τύποι αυτοί παρουσιάζονται στο υποκεφάλαιο 6.1.9.

5. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕΛΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

5.1. Καθορισμός παραμέτρων τρωτότητας μελών κατασκευής

Για τη μελέτη των ζημιών που παθαίνουν τα μέλη της κατασκευής και για το κόστος επισκευής τους, δημιουργούνται πιθανοτικές κατανομές χρησιμοποιώντας πειραματικά δεδομένα προηγούμενων μελετητών και απόψεις ειδικών. Στην παγκόσμια βιβλιογραφία, για την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας του κόστους επισκευής και της τρωτότητας αναλόγως του επιπέδου ζημιάς στο οποίο βρίσκεται κάθε δομικό και μη δομικό στοιχείο της κατασκευής, χρησιμοποιούνται κατά κανόνα λογαριθμοκανονικές κατανομές (π.χ. Naeim et al. 2006, Goulet et al 2007). Οι καμπύλες οι οποίες προκύπτουν καλούνται καμπύλες σεισμικής τρωτότητας και κατέχουν σημαντική θέση στη σεισμική μηχανική και συγκεκριμένα στη διαδικασία προσομοίωσης του σεισμικού κινδύνου αφού συμβάλλουν στην εκτίμηση του βαθμού βλάβης μιας κατασκευής βάσει μιας δεδομένης σεισμικής διέγερσης ορισμένης έντασης.

Οι καμπύλες τρωτότητας καθορίζονται χρησιμοποιώντας τη διάμεση τιμή x_m της λογαριθμοκανονικής κατανομής (median value of lognormal distribution X) και την τυπική απόκλιση β των λογαρίθμων της κατανομής (standard deviation of the logs of distribution X), βάσει των οποίων ταξινομείται η ζημιά που έχει πάθει κάθε μέλος (Κεφάλαιο 2). Αυτές οι παράμετροι προσδιορίζονται για κάθε επίπεδο βλάβης ως προς το μέτρο απόκρισης EDP με το οποίο περιγράφεται η βλάβη αυτή, και αντιπροσωπεύουν κάθε ομάδα ομοειδών μελών της κατασκευής.

Αυτές οι καμπύλες αποτελούν την πιθανοτική έκφραση της αντοχής κάθε στοιχείου και αντιστοιχίζουν την απόκρισή του με διάφορα επίπεδα βλάβης, παράγοντας την πιθανότητα να φτάσει ή να υπερβεί κάθε επίπεδο ζημιάς. Έτσι, κάθε μέλος της κατασκευής, πέραν των φυσικών ιδιοτήτων του (διαστάσεις, υλικό κ.λπ.) διαθέτει επιπλέον πληροφορίες για τη ζημιά που έπαθε και το αναμενόμενο κόστος για την επισκευή του. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η μετέπειτα απεικόνιση των ζημιών με κατάλληλο χρωματισμό των μελών στο τρισδιάστατο μοντέλο της κατασκευής βάσει της μετασεισμικής κατάστασής τους, κάθε στάθμη επιτελεστικότητας χαρακτηρίζεται από ένα χρώμα.

Για τη συλλογή των δεδομένων που αφορούν την τρωτότητα των μελών του κτιρίου και συγκεκριμένα των υποστυλωμάτων, των δοκών, των τοιχοπληρώσεων, των πορτών και των παραθύρων, ετοιμάστηκε ένα ερωτηματολόγιο το οποίο αποστάληκε σε επιστήμονες και ερευνητές ειδικούς σε θέματα επισκευών κτιρίων. Το ερωτηματολόγιο παρουσιάζεται στο Παράρτημα Β και μέσα από αυτό ζητήθηκε να δοθούν μια μέση/διάμεση τιμή και μια τυπική απόκλιση των μέτρων αποκρίσεων EDP βάσει των οποίων καθορίζεται η τρωτότητα των μελών. Οι τιμές αυτές θεωρούνται ενδεικτικές αλλά επαρκώς ρεαλιστικές για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας. Λεπτομερής επεξεργασία πειραματικών δοκιμών θα δώσει στο μέλλον καλύτερες τιμές, ιδιαίτερα σε ότι αφορά τη διασπορά (Porter et al. 2007).

5.1.1. Καθορισμός παραμέτρων τρωτότητας υποστυλωμάτων και δοκών

Για τα υποστυλώματα και τις δοκούς, οι καμπύλες τρωτότητας καθορίζονται για τη μέγιστη εκ των δύο πλαστικών στροφών (plastic rotation) οι οποίες αναπτύσσονται στα άκρα τους. Οι στάθμες επιτελεστικότητας-επίπεδα ζημιάς για τα υποστυλώματα και τις δοκούς ορίζονται ως:

Ø ελάχιστη ζημιά (slight damage)

Σε αυτήν την περίπτωση τα μέλη έχουν υποστεί κάποιες ελαφρές ζημιές π.χ. κάποιες τριχοειδείς ρωγμές οι οποίες εντούτοις δεν επηρεάζουν την αντοχή τους. Αυτή η στάθμη αντιπροσωπεύεται με πράσινο χρώμα και ουσιαστικά η ενέργεια που απαιτείται για την επαναφορά των μελών στην αρχική τους κατάσταση, περιορίζεται σε κάποιο στοκάρισμα μόνο και μόνο για να μην είναι εμφανείς οι ζημιές και να προκαλούν ακαλαισθησία.

Ø μέτρια ζημιά (moderate damage)

Σε αυτήν την περίπτωση τα μέλη έχουν πάθει μέτριες ζημιές όπως για παράδειγμα ρωγμές της τάξης των 1-2mm, και τοπικές αστοχίες της επικάλυψης χωρίς αποδιοργάνωση του σκυροδέματος. Ο χάλυβας διαρρέει και εξαντλείται η παραμόρφωση του σκυροδέματος σε θλίψη. Αυτή η στάθμη αντιπροσωπεύεται με κίτρινο χρώμα και οι απαιτούμενες ενέργειες περιορίζονται στην αφαίρεση του σκυροδέματος επικάλυψης γύρω από την περιοχή της ρωγμής και την αντικατάστασή του.

Ø σοβαρή ζημιά (severe damage)

Σε αυτήν την περίπτωση τα μέλη έχουν πάθει εκτεταμένες ζημιές όπως για παράδειγμα ρωγμές της τάξης των 3-5mm, απώλεια επικάλυψης οπλισμών και λυγισμός χωρίς θραύση ράβδων οπλισμού, κάτι που καθιστά την επισκευή των στοιχείων αντιοικονομική. Αυτή η στάθμη αντιπροσωπεύεται με κόκκινο χρώμα και προτείνεται η πλήρης αντικατάσταση του κατεστραμμένου μέλους, αντί η επισκευή του.

Ø πλήρης απώλεια (collapse)

Σε αυτήν την περίπτωση τα στοιχεία παρουσιάζουν εκτεταμένες ρωγμές εύρους >5mm και ενδεχόμενη θραύση οπλισμών στις ρωγμές. Υπάρχει εκτεταμένη απώλεια επικάλυψης, πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος και λυγισμός των ράβδων οπλισμού. Αυτή η στάθμη αντιπροσωπεύεται με μαύρο χρώμα και η μόνη διέξοδος για την επισκευή των στοιχείων τα οποία ουσιαστικά έχουν καταστραφεί ολοκληρωτικά, είναι η πλήρης αντικατάσταση τους.

Στον Πίνακα 5.1, συνοψίζονται για τα υποστυλώματα και τις δοκούς, οι παράμετροι της κατανομής, βάσει των οποίων καθορίζονται τα επίπεδα ζημιάς. Βάσει των τιμών αυτών δημιουργούνται για τις τέσσερις στάθμες επιτελεστικότητας, οι καμπύλες τρωτότητας των υποστυλωμάτων και των δοκών οι οποίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.1. Στο πάνω σχήμα παρουσιάζεται η πιθανότητα ένα στοιχείο να φτάσει ή να έχει ξεπεράσει ένα επίπεδο ζημιάς, ενώ στο κάτω, παρουσιάζεται η πιθανότητα το στοιχείο να βρίσκεται σε κάθε επίπεδο ζημιάς.

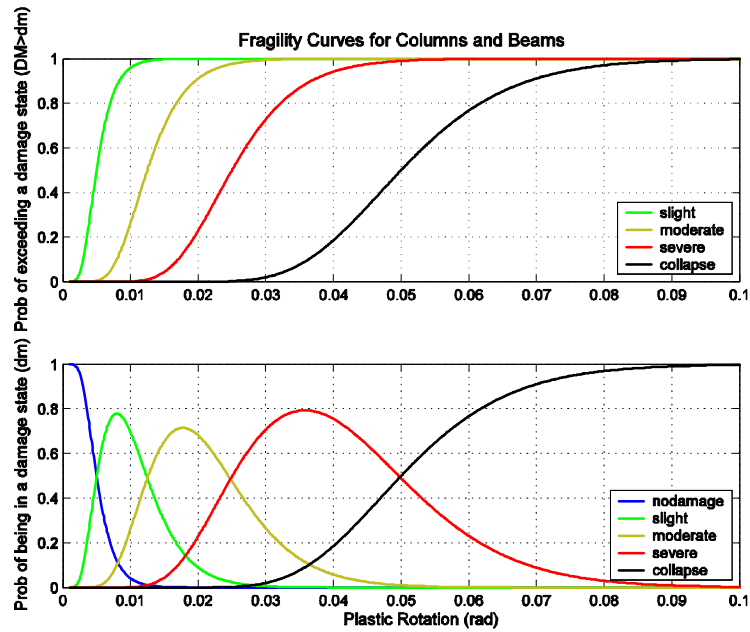
Για τα τοιχώματα, λόγω του ότι παθαίνουν πιο εύκολα ζημιές, οι τιμές αυτές λαμβάνονται στο 50% των τιμών που λαμβάνονται για τα συνήθη υποστυλώματα. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2. Βάσει των τιμών αυτών δημιουργούνται οι καμπύλες τρωτότητας των τοιχωμάτων οι οποίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.2.

Πίνακας 5.1. Παράμετροι τρωτότητας υποστυλωμάτων και δοκών σε όρους πλαστικής στροφής.

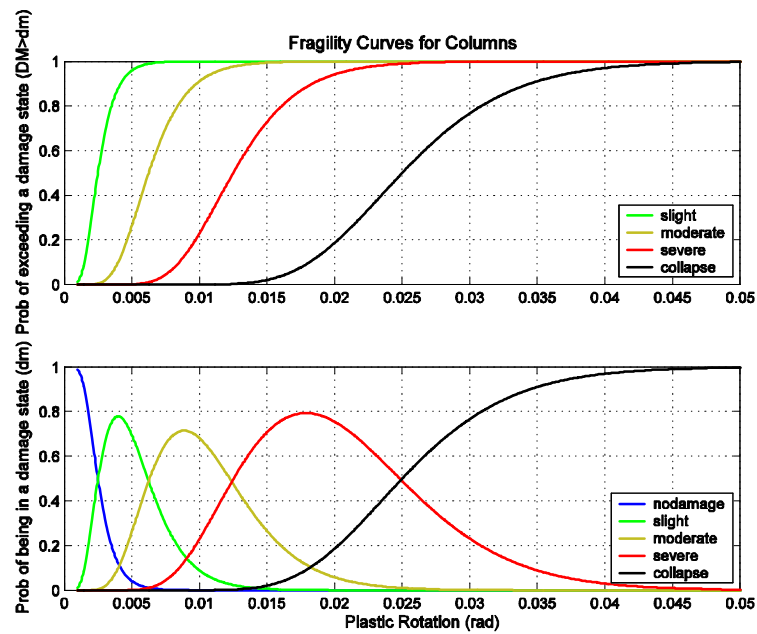
	Slight	Moderate	Severe	Collapse
διάμεση τιμή χ_m	0.5% rad	1.25% rad	2.5% rad	5.0% rad
τυπική απόκλιση β	0.40	0.35	0.30	0.25

Πίνακας 5.2. Παράμετροι τρωτότητας τοιχωμάτων σε όρους πλαστικής στροφής.

	<i>Slight</i>	<i>Moderate</i>	<i>Severe</i>	<i>Collapse</i>
διάμεση τιμή χ_m	0.25% rad	0.625% rad	1.25% rad	2.5% rad
τυπική απόκλιση β	0.40	0.35	0.30	0.25



Σχήμα 5.1. Καμπύλες τρωτότητας υποστυλωμάτων και δοκών.



Σχήμα 5.2. Καμπύλες τρωτότητας τοιχωμάτων.

5.1.2. Καθορισμός παραμέτρων τρωτότητας τοιχοπληρώσεων

Για τις τοιχοπληρώσεις, οι καμπύλες τρωτότητας καθορίζονται για την ανηγμένη σχετική μετατόπισή τους (interstory drift ratio IDR) σε σχέση με τον όροφο στον οποίο βρίσκονται και την θέση τους εντός του ορόφου αυτού. Οι στάθμες επιτελεστικότητας-επίπεδα ζημιάς για τις τοιχοπληρώσεις ορίζονται ως:

Ø ελάχιστη ζημιά (slight damage)

Σε αυτήν την περίπτωση οι τοίχοι έχουν υποστεί ελαφρές ζημιές π.χ. ελαφριά ρηγμάτωση των επιχρισμάτων. Αυτή η στάθμη αντιπροσωπεύεται με πράσινο χρώμα και απαιτείται κάποιο στοκάρισμα μόνο και μόνο για να μην είναι εμφανείς οι ζημιές και να προκαλούν ακαλαισθησία..

Ø μέτρια ζημιά (moderate damage)

Σε αυτήν την περίπτωση, στις τοιχοπληρώσεις παρουσιάζονται ρωγμές και αποκόλληση επιχρισμάτων, κάτι που τις καθιστά επισκευάσιμες. Η στάθμη αντιπροσωπεύεται με κίτρινο χρώμα και οι απαιτούμενες ενέργειες περιορίζονται στην αφαίρεση των επιχρισμάτων γύρω από την περιοχή των απωλειών, την αντικατάστασή τους και το βάψιμο του τοίχου.

Ø σοβαρή ζημιά (severe damage)

Σε αυτήν την περίπτωση τα μέλη έχουν πάθει εκτεταμένες ζημιές όπως για παράδειγμα μερική αποκόλληση του τοίχου από την οροφή (ή το κάτω μέρος της δοκού) χωρίς κατάρρευση, εκτεταμένες αποκολλήσεις και πτώση επιχρισμάτων. Αυτή η στάθμη αντιπροσωπεύεται με κόκκινο χρώμα και προτείνεται η πλήρης αντικατάσταση του κατεστραμμένου τμήματος του τοίχου, καθώς η επισκευή του κρίνεται αντισυμβατική.

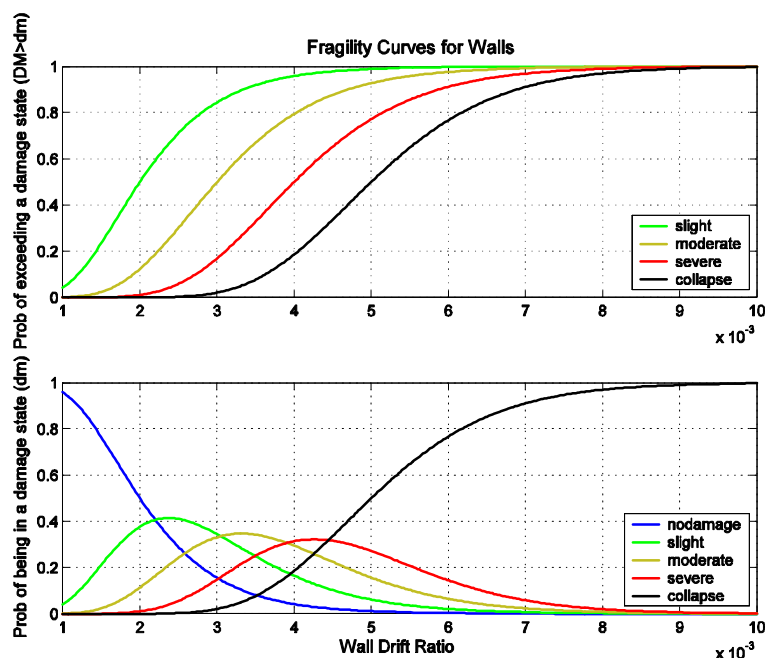
Ø πλήρης απώλεια (collapse)

Σε αυτήν την περίπτωση, οι τοίχοι παρουσιάζουν βαριές βλάβες, ολική αποκόλληση από την οροφή (ή το κάτω μέρος της δοκού) και πτώση. Επίσης υπάρχει συνολική απώλεια επιχρισμάτων και τούβλων. Αυτή η στάθμη αντιπροσωπεύεται με μαύρο χρώμα και η ολοκληρωτική καταστροφή καθιστά την αντικατάσταση της τοιχοπλήρωσης απαραίτητη.

Στον Πίνακα 5.3, συνοψίζονται για τις τοιχοπληρώσεις, οι παράμετροι της κατανομής, βάσει των οποίων καθορίζονται τα επίπεδα ζημιάς. Βάσει των τιμών αυτών δημιουργούνται για τις τέσσερις στάθμες επιτελεστικότητας, οι καμπύλες τρωτότητας των τοιχοπληρώσεων οι οποίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.3.

Πίνακας 5.3. Παράμετροι τρωτότητας τοιχοπληρώσεων σε όρους ανηγμένης σχετικής μετατόπισης ορόφων.

	<i>Slight</i>	<i>Moderate</i>	<i>Severe</i>	<i>Collapse</i>
διάμεση τιμή x_m	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%
τυπική απόκλιση β	0.40	0.35	0.30	0.25



Σχήμα 5.3. Καμπύλες τρωτότητας τοιχοπληρώσεων.

5.1.3. Καθορισμός παραμέτρων τρωτότητας πορτών

Για τις πόρτες, οι καμπύλες τρωτότητας καθορίζονται για την ανηγμένη παραμόρφωσή τους ανάλογα με το σε ποιον τοίχο βρίσκονται ενσωματωμένες. Οι στάθμες επιτελεστικότητας-επίπεδα ζημιάς για τις πόρτες ορίζονται ως:

Ø μέτρια ζημιά (moderate damage - bend frame)

Το πλαίσιο της πόρτας (παραστατός) έχει λυγίσει με αποτέλεσμα να μην είναι πλέον λειτουργική αφού δεν μπορεί να ανοιγοκλείσει. Η πόρτα δεν έχει πάθει καμιά ζημιά. Αυτή η στάθμη αντιπροσωπεύεται με κίτρινο χρώμα και είναι απαραίτητη η αντικατάσταση του πλαισίου.

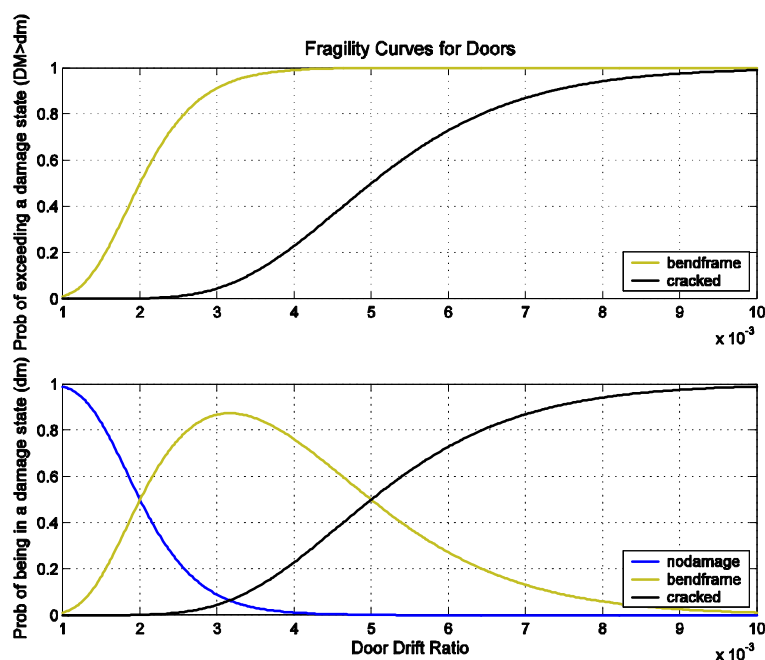
Ø πλήρης απώλεια (collapse - cracked)

Η πόρτα έχει καταστραφεί πλήρως και είναι απαραίτητη η αντικατάστασή της. Αυτή η στάθμη αντιπροσωπεύεται με μαύρο χρώμα.

Στον Πίνακα 5.4, συνοψίζονται για τις πόρτες, οι παράμετροι της κατανομής βάσει των οποίων καθορίζονται τα επίπεδα ζημιάς. Βάσει των τιμών αυτών δημιουργούνται για τις στάθμες επιτελεστικότητας οι καμπύλες τρωτότητας των πορτών όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.4.

Πίνακας 5.4. Παράμετροι τρωτότητας πορτών σε όρους ανηγμένης σχετικής μετατόπισης ορόφων.

	Moderate	Collapse
διάμεση τιμή x_m	0.2%	0.5%
τυπική απόκλιση β	0.30	0.30



Σχήμα 5.4. Καμπύλες τρωτότητας πορτών.

5.1.4. Καθορισμός παραμέτρων τρωτότητας παραθύρων

Για τα παράθυρα, οι καμπύλες τρωτότητας καθορίζονται για την ανηγμένη παραμόρφωσή τους ανάλογα με το σε ποιον τοίχο είναι ενσωματωμένα. Οι στάθμες επιτελεστικότητας-επίπεδα ζημιάς για τα παράθυρα ορίζονται ως:

Ø μέτρια ζημιά (moderate damage - bend frame)

Το πλαίσιο του παράθυρου που είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο έχει λυγίσει με αποτέλεσμα το παράθυρο να μην είναι πλέον λειτουργικό αφού δεν μπορεί να ανοιγοκλείσει. Το γυαλί δεν έχει πάθει καμιά ζημιά. Αυτή η στάθμη αντιπροσωπεύεται με κίτρινο χρώμα και είναι απαραίτητη η αντικατάσταση ή η επισκευή του αλουμινένιου πλαισίου.

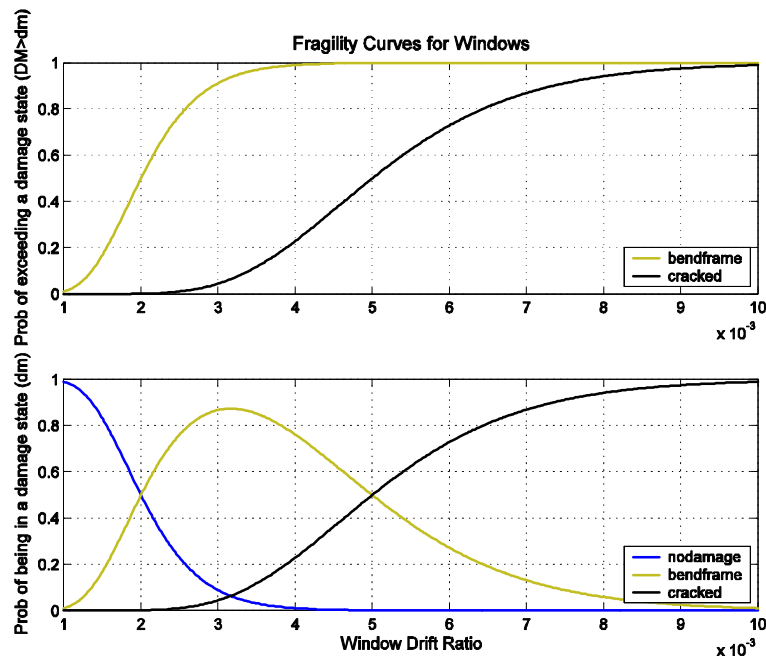
Ø πλήρης απώλεια (collapse - cracked)

Το παράθυρο έχει καταστραφεί πλήρως αφού το γυαλί έχει σπάσει. Αυτή η στάθμη αντιπροσωπεύεται με μαύρο χρώμα και είναι απαραίτητη η αντικατάσταση του παραθύρου.

Στον Πίνακα 5.5 συνοψίζονται για τα παράθυρα, οι παράμετροι της κατανομής βάσει των οποίων καθορίζονται τα επίπεδα ζημιάς. Βάσει των τιμών αυτών δημιουργούνται για τις δύο στάθμες επιτελεστικότητας, οι καμπύλες τρωτότητας των παραθύρων όπως φαίνονται στο Σχήμα 5.5.

Πίνακας 5.5. Παράμετροι τρωτότητας παραθύρων σε όρους ανηγμένης σχετικής μετατόπισης ορόφων.

	Moderate	Collapse
διάμεση τιμή x_m	0.2%	0.5%
τυπική απόκλιση β	0.30	0.30



Σχήμα 5.5. Καμπύλες τρωτότητας παραθύρων.

5.2. Καθορισμός παραμέτρων κόστους επισκευής μελών κατασκευής

Το κόστος επισκευής για κάθε μέλος, αλλά και για κάθε τύπο μελών ανάλογα με τις διαστάσεις τους και τα υλικά κατασκευής τους, χρησιμοποιείται για την κατασκευή των καμπύλων κόστους οι οποίες συνδυάζονται με τις καμπύλες τρωτότητας προκειμένου να υπολογιστεί το συνολικό κόστος επισκευής του κτιρίου. Αυτό το κόστος στην προκειμένη περίπτωση, για κάθε επίπεδο ζημιάς, μπορεί να διαχωριστεί σε κόστος καθαίρεσης (removing), αγοράς υλικών (buying) και εγκατάστασης-ενσωμάτωσης (installation). Αυτές οι τιμές κόστους χαρακτηρίζονται από μια μέση τιμή και μια τυπική απόκλιση, και κατά κανόνα θεωρείται ότι ακολουθούν λογαριθμοκανονική κατανομή (π.χ. Goulet et al. 2007).

Το κόστος καθαίρεσης περιλαμβάνει την αφαίρεση των υλικών, τα οποία έχουν πάθει ζημιές και πλέον δεν μπορούν να αποδώσουν όπως απέδιδαν πριν το σεισμό. Το κόστος αυτό αφορά κυρίως το εργατικό δυναμικό και τα μηχανήματα που θα χρησιμοποιηθούν για την αφαίρεση των υλικών. Το κόστος αγοράς υλικών περιλαμβάνει το κόστος των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για να αντικατασταθούν αυτά που έχουν πάθει ζημιές λόγω του σεισμού. Το κόστος αυτό μπορεί να προκύψει από μια έρευνα σε εταιρείες οι οποίες προμηθεύουν αυτά τα υλικά. Το κόστος αυτό δεν αφορά εργατικό δυναμικό και μηχανήματα, αλλά περιλαμβάνει τη μεταφορά των υλικών στο

χώρο όπου θα γίνουν οι επισκευές. Το κόστος εγκατάστασης-ενσωμάτωσης περιλαμβάνει την ενσωμάτωση των υλικών που έχουν αγοραστεί, στη θέση αυτών που έχουν πάθει ζημιές και έχουν αφαιρεθεί. Όπως και το κόστος καθαίρεσης, έτσι και το κόστος ενσωμάτωσης αφορά το εργατικό δυναμικό και τα μηχανήματα που θα χρησιμοποιηθούν για την ενσωμάτωση. Αυτό το κόστος περιλαμβάνει και τις διαδικασίες που πρέπει να γίνουν έτσι ώστε το ενσωματωμένο υλικό να βρίσκεται σε πλήρη αρμονία με το χώρο όπως για παράδειγμα το τελικό βάψιμο των τοίχων.

Για τη συλλογή των δεδομένων που αφορούν το κόστος επισκευής των μελών του κτιρίου και συγκεκριμένα των υποστυλωμάτων, των δοκών, των τοιχοπληρώσεων, των πορτών και των παραθύρων, ετοιμάστηκε ένα ερωτηματολόγιο το οποίο αποστάληκε σε μελετητές μηχανικούς και εργοληπτικές εταιρείες οι οποίες ειδικεύονται σε επισκευές κτιρίων. Το ερωτηματολόγιο παρουσιάζεται στο Παράρτημα Β. Για σκοπούς απλοποίησης των δεδομένων, ζητήθηκε να δοθούν τιμές συνολικού κόστους επισκευής για κάθε μέλος σε κάθε κατάσταση ζημιάς και να μην διαχωριστούν σε τρία τμήματα όπως έχει προαναφερθεί. Μέσα από το ερωτηματολόγιο αυτό, ζητούνται μια χαμηλή, μια κεντρική και μια υψηλή τιμή για το κόστος επισκευής των δομικών και μη στοιχείων για ένα τυπικό πολυώροφο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα και συγκεκριμένα για μια πολυκατοικία. Η χαμηλή και η υψηλή τιμή δεν αποτελούν τα χείριστα άκρα, αλλά μια εκτίμηση για το που αναμένεται να κυμανθούν οι τιμές του κόστους επισκευής για το κάθε στοιχείο, σε κάθε κατάσταση ζημιάς στην οποία ενδέχεται να βρίσκεται μετά από κάποιο πραγματικό σεισμό, αντιστοιχώντας περίπου στο 16% και 84% της κατανομής.

Οι απαντήσεις των ερωτηματολογίων αυτών έχουν αξιολογηθεί και έχουν ληφθεί οι τελικές τιμές, βάσει των οποίων θα εκτιμηθεί το κόστος επισκευής κάθε τύπου μελών. Συγκεκριμένα, από τις τρεις τιμές οι οποίες χαρακτηρίζουν κάθε κατάσταση ζημιάς, λαμβάνεται η διάμεση τιμή της λογαριθμοκανονικής κατανομής, x_m , ως ίση με τη κεντρική τιμή x_{50} (εξίσωση 5.1) και η τυπική απόκλιση των λογαρίθμων της κατανομής, β , ως το μισό της διαφοράς μεταξύ του λογαρίθμου της υψηλής τιμής x_{84} και του λογαρίθμου της χαμηλής τιμής x_{16} (εξίσωση 5.2) (π.χ. Benjamin & Cornell 1970).

$$x_m = x_{50} \quad (5.1)$$

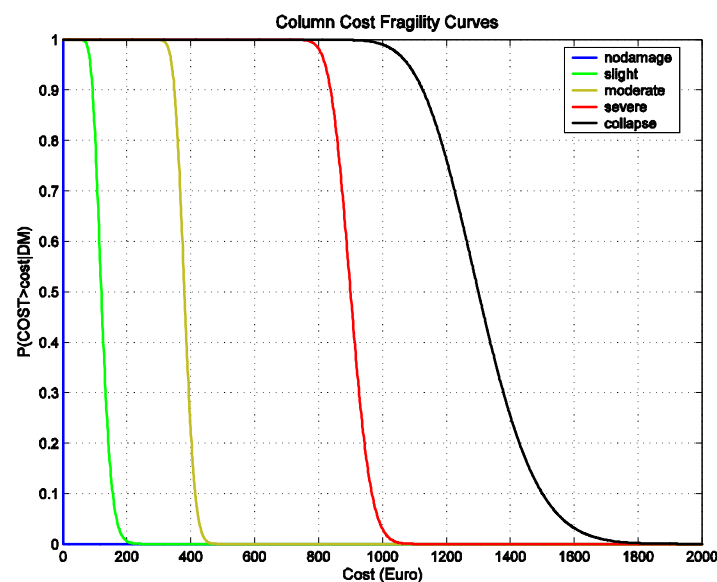
$$b = \frac{\ln(x_{84}) - \ln(x_{16})}{2} \quad (5.2)$$

5.2.1. Κόστος επισκευής υποστυλωμάτων

Οι τιμές οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6 λαμβάνονται για ένα τυπικό υποστύλωμα ύψους 3m και διαστάσεων 25cm/50cm με συνήθη οπλισμό. Οι τιμές για τα υπόλοιπα υποστυλώματα και τοιχώματα, λαμβάνονται ως οι τιμές οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6, επί τον όγκο του εκάστοτε υποστυλώματος/τοιχώματος διά τον όγκο για τον οποίο δίνονται οι τιμές αυτές και ο οποίος είναι ίσος με $3m \times 0.25m \times 0.50m = 0.375m^3$. Βάσει των τιμών αυτών δημιουργούνται για τα υποστυλώματα, οι καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους (CCDF) δεδομένης κατάστασης ζημιάς, οι οποίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.6.

Πίνακας 5.6. Τιμές κόστους επισκευής τυπικού υποστυλώματος όγκου $0.375m^3$ (€).

	χαμηλή τιμή	κεντρική τιμή	υψηλή τιμή	διάμεση τιμή	τυπική απόκλιση
	x_{16}	x_{50}	x_{84}	x_m	β
Slight	100	120	150	120	0.203
Moderate	350	380	400	380	0.067
Severe	850	900	950	900	0.056
Collapse	1200	1300	1500	1300	0.112



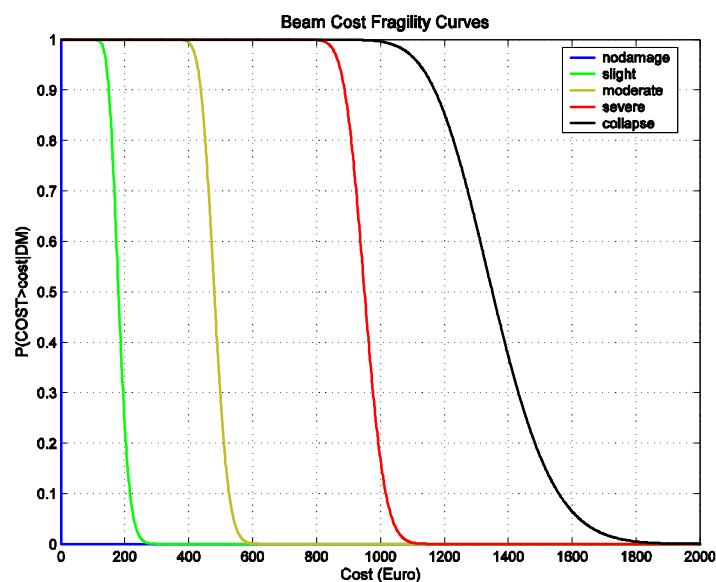
Σχήμα 5.6. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους υποστυλωμάτων.

5.2.2. Κόστος επισκευής δοκών

Οι τιμές οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.7, λαμβάνονται για μια τυπική δοκό ανοίγματος 5m με διαστάσεις 25cm/60cm με συνήθη οπλισμό. Οι τιμές για τις υπόλοιπες δοκούς, λαμβάνονται ως οι τιμές οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.7, επί τον όγκο της εκάστοτε δοκού διά τον όγκο για τον οποίο δίνονται οι τιμές αυτές και ο οποίος είναι ίσος με $5m \times 0.25m \times 0.60m = 0.75m^3$. Βάσει των τιμών αυτών δημιουργούνται για τις δοκούς, οι καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους δεδομένης κατάστασης ζημιάς, οι οποίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.7.

Πίνακας 5.7. Τιμές κόστους επισκευής τυπικής δοκού όγκου $0.75m^3$ (€).

	χαμηλή τιμή	κεντρική τιμή	υψηλή τιμή	διάμεση τιμή	τυπική απόκλιση
	x_{16}	x_{50}	x_{84}	x_m	β
Slight	150	180	200	180	0.144
Moderate	450	480	520	480	0.072
Severe	900	950	1000	950	0.053
Collapse	1200	1350	1500	1350	0.112



Σχήμα 5.7. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους δοκών.

5.2.3. Κόστος επισκευής τοιχοπληρώσεων

Οι τιμές λαμβάνονται για ένα τετραγωνικό μέτρο εσωτερικής τοιχοποιίας (δρομικής) πάχους 10cm και ένα τετραγωνικό μέτρο εξωτερικής τοιχοποιίας (μπατικής) πάχους 25cm (σημείωση: οι τοιχοπληρώσεις δεν είναι φέρουσες). Οι τιμές για τις τοιχοπληρώσεις του κτιρίου λαμβάνονται ως οι τιμές οι οποίες παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.8 και 5.9, επί την επιφάνεια κάθε τοιχοπλήρωσης, αναλόγως εάν αυτή είναι δρομική ή μπατική.

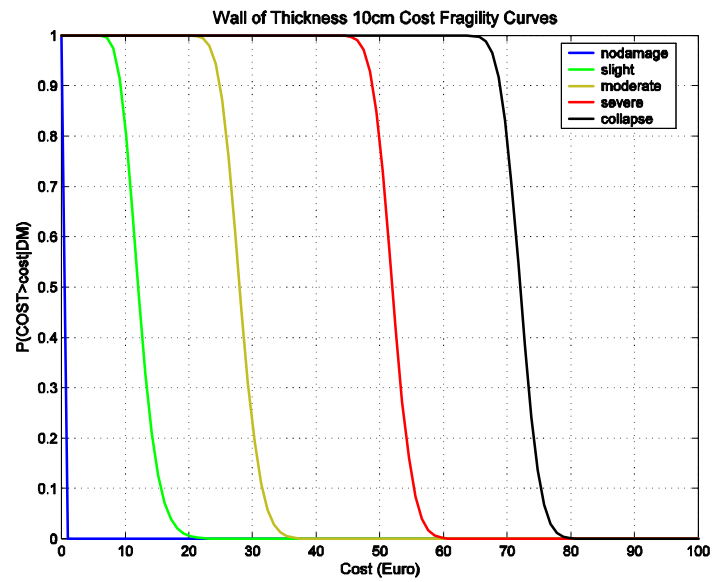
Βάσει των τιμών αυτών δημιουργούνται οι καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους δεδομένης κατάστασης ζημιάς, για τις δρομικές και μπατικές τοιχοπληρώσεις όπως παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.8 και 5.9, αντίστοιχα.

Πίνακας 5.8. Τιμές κόστους επισκευής ενός τετραγωνικού μέτρου δρομικής τοιχοποιίας (€).

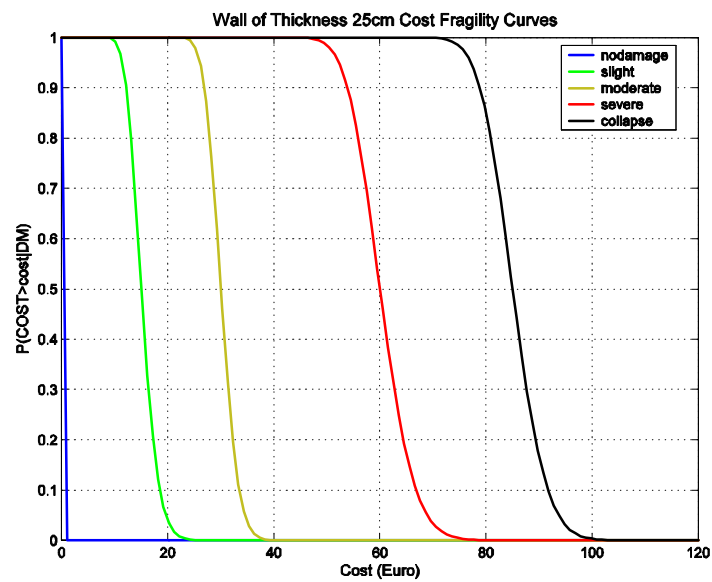
	χαμηλή τιμή	κεντρική τιμή	υψηλή τιμή	διάμεση τιμή	τυπική απόκλιση
	X_{16}	X_{50}	X_{84}	X_m	β
Slight	10	12	15	12	0.203
Moderate	25	28	30	28	0.091
Severe	50	52	55	52	0.048
Collapse	70	72	75	72	0.034

Πίνακας 5.9. Τιμές κόστους επισκευής ενός τετραγωνικού μέτρου μπατικής τοιχοποιίας (€).

	χαμηλή τιμή	κεντρική τιμή	υψηλή τιμή	διάμεση τιμή	τυπική απόκλιση
	X_{16}	X_{50}	X_{84}	X_m	β
Slight	13	15	18	15	0.163
Moderate	27	30	32	30	0.085
Severe	55	60	65	60	0.084
Collapse	80	85	90	85	0.059



Σχήμα 5.8. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους δρομικής τοιχοποιίας.



Σχήμα 5.9. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους μπατικής τοιχοποιίας.

5.2.4. Κόστος επισκευής πορτών

Οι τιμές λαμβάνονται για μια τυπική ξύλινη πόρτα εσωτερικού χώρου (π.χ. υπνοδωματίου), μια ξύλινη πόρτα κύριας εισόδου κατοικίας – διαμερίσματος, μια μεταλλική πόρτα από αλουμίνιο και μια κύρια πόρτα εισόδου πολυκατοικίας από γυαλί, όλες ύψους 2.10m. Οι τιμές παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.10 έως 5.13.

Πίνακας 5.10. Τιμές κόστους επισκευής ξύλινης πόρτας εσωτερικού χώρου (€).

	χαμηλή τιμή	κεντρική τιμή	υψηλή τιμή	διάμεση τιμή	τυπική απόκλιση
	x_{16}	x_{50}	x_{84}	x_m	β
Moderate	50	65	100	65	0.347
Collapse	150	175	250	175	0.255

Πίνακας 5.11. Τιμές κόστους επισκευής ξύλινης πόρτας κύριας εισόδου κατοικίας (€).

	χαμηλή τιμή	κεντρική τιμή	υψηλή τιμή	διάμεση τιμή	τυπική απόκλιση
	x_{16}	x_{50}	x_{84}	x_m	β
Moderate	70	100	150	100	0.381
Collapse	350	600	1000	600	0.525

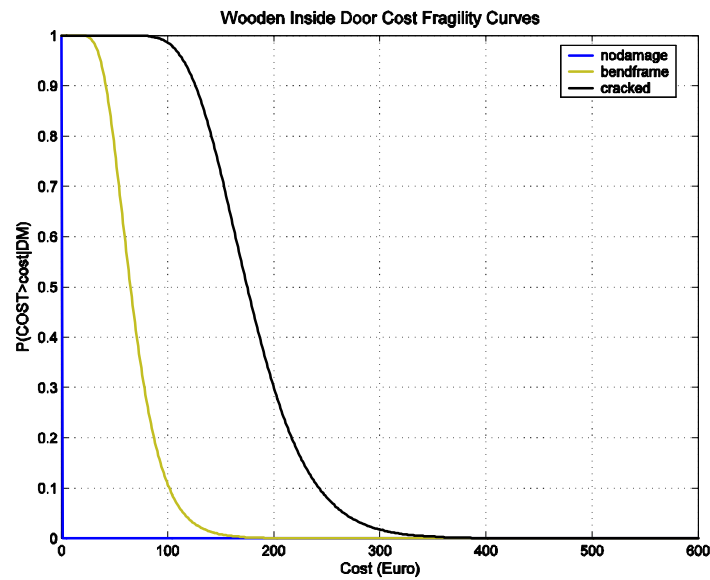
Πίνακας 5.12. Τιμές κόστους επισκευής μεταλλικής πόρτας από αλουμίνιο (€).

	χαμηλή τιμή	κεντρική τιμή	υψηλή τιμή	διάμεση τιμή	τυπική απόκλιση
	x_{16}	x_{50}	x_{84}	x_m	β
Moderate	60	80	120	80	0.347
Collapse	250	300	400	300	0.235

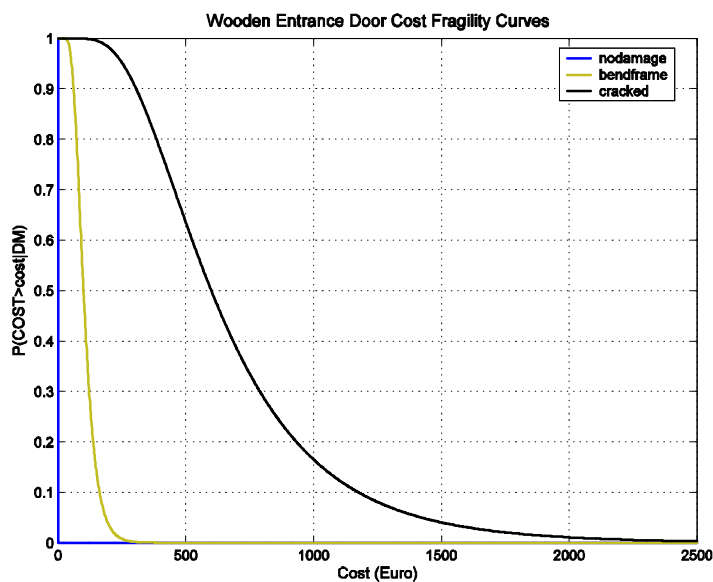
Πίνακας 5.13. Τιμές κόστους επισκευής πόρτας κύριας εισόδου πολυκατοικίας από γυαλί (€).

	χαμηλή τιμή	κεντρική τιμή	υψηλή τιμή	διάμεση τιμή	τυπική απόκλιση
	x_{16}	x_{50}	x_{84}	x_m	β
Moderate	150	200	250	200	0.255
Collapse	600	800	1200	800	0.347

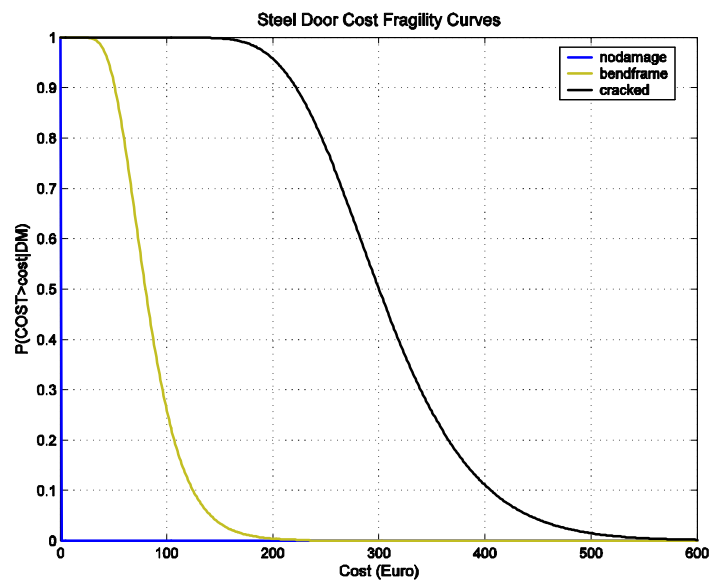
Βάσει των τιμών αυτών δημιουργούνται οι καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους δεδομένης κατάστασης ζημιάς για τους διάφορους τύπους πορτών, οι οποίες παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.10 έως 5.13.



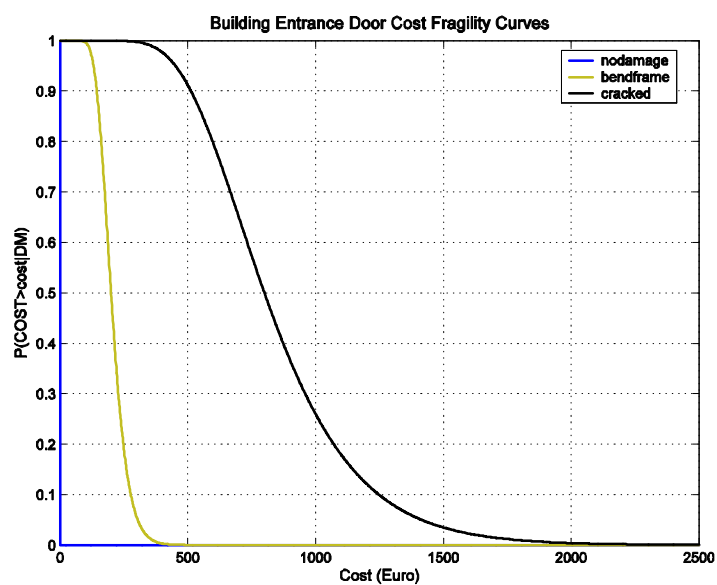
Σχήμα 5.10. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους ξύλινης πόρτας εσωτερικού χώρου.



Σχήμα 5.11. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους ξύλινης πόρτας κύριας εισόδου κατοικίας.



Σχήμα 5.12. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους μεταλλικής πόρτας από αλουμίνιο.



Σχήμα 5.13. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους πόρτας κύριας εισόδου πολυκατοικίας.

5.2.5. Κόστος επισκευής παραθύρων

Οι τιμές οι οποίες παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.14 και 5.15 λαμβάνονται για ένα τυπικό παράθυρο ενός τετραγωνικού μέτρου και ένα τυπικό πορτοπαράθυρο ύψους 2.10m και ανοίγματος 2m, από γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο. Οι τιμές για τα παράθυρα του κτιρίου, λαμβάνονται ως οι τιμές οι οποίες παρουσιάζονται στους πίνακες αυτούς, επί την επιφάνεια του εκάστοτε παραθύρου διά την επιφάνεια για την οποία δίνονται οι τιμές αυτές, αναλόγως εάν αυτό είναι παράθυρο ή πορτοπαράθυρο.

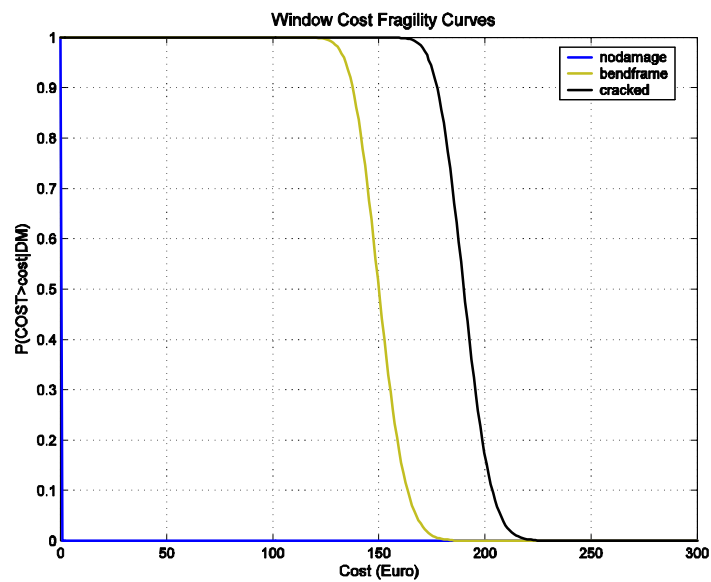
Βάσει των τιμών αυτών δημιουργούνται οι καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους δεδομένης κατάστασης ζημιάς για τα παράθυρα και τα πορτοπαράθυρα, οι οποίες παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.14 και 5.15, αντίστοιχα.

Πίνακας 5.14. Τιμές κόστους επισκευής τυπικού παραθύρου ενός τετραγωνικού μέτρου (€).

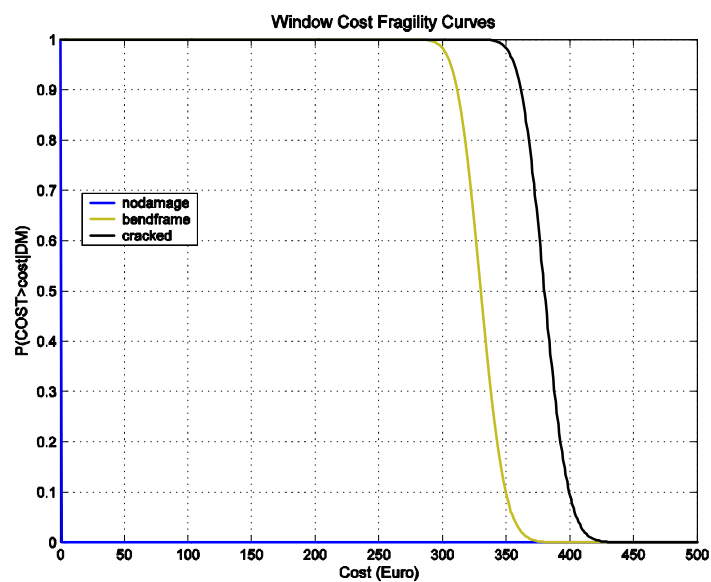
	χαμηλή τιμή	κεντρική τιμή	υψηλή τιμή	διάμεση τιμή	τυπική απόκλιση
	x_{16}	x_{50}	x_{84}	x_m	β
Moderate	140	150	160	150	0.067
Collapse	180	190	200	190	0.053

Πίνακας 5.15. Τιμές κόστους επισκευής τυπικού πορτοπαράθυρου διαστάσεων 2.10m $\times$ 2m (€).

	χαμηλή τιμή	κεντρική τιμή	υψηλή τιμή	διάμεση τιμή	τυπική απόκλιση
	x_{16}	x_{50}	x_{84}	x_m	β
Moderate	320	330	350	330	0.045
Collapse	370	380	400	380	0.039



Σχήμα 5.14. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους παραθύρων.



Σχήμα 5.15. Καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους πορτοπαρθύρων.

6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΖΗΜΙΩΝ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΜΕΛΩΝ

Για την ανάλυση των ζημιών και τον υπολογισμό του κόστους επισκευής των μελών της κατασκευής, έχουν δημιουργηθεί κατάλληλα προγράμματα στη γλώσσα Matlab (MathWorks 2002). Σε αυτά τα προγράμματα εισάγονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τις δομικές αποκρίσεις της κατασκευής από την ανάλυση στο OpenSEES, πίνακες με δεδομένα που αφορούν τα μέλη της κατασκευής των οποίων θα μελετηθεί η τρωτότητα και το κόστος επισκευής, καθώς και οι παράμετροι των πιθανοτικών κατανομών για την τρωτότητα και το κόστος επισκευής των μελών αυτών.

Μέσα από την ανάλυση η οποία πραγματοποιείται μέσω του Matlab, εξάγονται αρχεία με αναλυτική περιγραφή των πιθανών ζημιών και του αναμενόμενου κόστους για κάθε μέλος της κατασκευής, όπως επίσης και πληροφορίες οι οποίες αφορούν τις ιδιοπεριόδους, τις αποκρίσεις του εδάφους και του κτιρίου όπως επίσης πίνακες και γραφήματα με το αναμενόμενο κόστος επισκευής ανά ομάδα μελών, ανά όροφο και για το κτίριο συνολικά.

6.1. Προγράμματα ανάλυσης αποκρίσεων κτιρίου, ζημιών και κόστους επισκευής μελών

Για κάθε τύπο στοιχείων, υποστυλώματα, δοκούς, τοιχοπληρώσεις, πόρτες και παράθυρα, έχει δημιουργηθεί ξεχωριστό πρόγραμμα ανάλυσης ως συνάρτηση (function) του Matlab. Προκειμένου όλη η διαδικασία να είναι αυτοματοποιημένη, όλα αυτά τα προγράμματα ανάλυσης – συναρτήσεις αποτελούν υποπρογράμματα ενός κεντρικού προγράμματος ανάλυσης. Από αυτό το κεντρικό πρόγραμμα αποστέλλονται δεδομένα στα υποπρογράμματα και αφού πραγματοποιηθεί η ανάλυση κάθε τύπου στοιχείων σε κάθε υποπρόγραμμα ξεχωριστά, επιστρέφονται τα τελικά αποτελέσματα στο κεντρικό για περαιτέρω επεξεργασία.

6.1.1. Κεντρικό Πρόγραμμα Ανάλυσης Ζημιών και Υπολογισμού Κόστους Επισκευής

Το κεντρικό πρόγραμμα της διαδικασίας ανάλυσης ζημιών και υπολογισμού κόστους επισκευής ονομάζεται "run_analysis.m" (Παράρτημα Δ). Σε αυτό το πρόγραμμα καθορίζονται αρχικά πέντε αρχιεθικές (folders). Η πρώτη αρχιεθική "multistory_3Ddyn_data" περιλαμβάνει τα αρχεία στα οποία αποθηκεύονται τα δεδομένα της ανάλυσης που εξάγονται από το OpenSEES, δηλαδή τα αρχεία μορφής ".out" με τις αποκρίσεις των μελών του κτιρίου. Στη δεύτερη αρχιεθική

“in_out_data” βρίσκονται τα αρχεία μορφής “.txt” τα οποία εξάγονται από το ArchiCAD με δεδομένα που αφορούν τα μέλη της κατασκευής για τα οποία θα γίνει η ανάλυση ζημιών, όπως η ταυτότητά τους, οι διαστάσεις τους, η θέση τους στο κτίριο κ.λπ. Επιπρόσθετα, σε αυτήν την αρχαιοθήκη, αποθηκεύονται τα αρχεία μορφής “.txt” τα οποία δημιουργούνται από το λογισμικό με πληροφορίες για τις ζημιές που παθαίνουν τα μέλη του κτιρίου και το κόστος επισκευής τους. Η τρίτη αρχαιοθήκη “records” περιλαμβάνει ζεύγη επιταχυνσιογραφημάτων (καταγραφές χρονοϊστοριών) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση. Στην τέταρτη αρχαιοθήκη “fgr_fibersections” αποθηκεύονται σχήματα με τις διατομές των υποστυλωμάτων, των τοιχωμάτων και των δοκών και στην πέμπτη αρχαιοθήκη “figures” αποθηκεύονται διαγράμματα τα οποία αφορούν γενικά τις αποκρίσεις του κτιρίου.

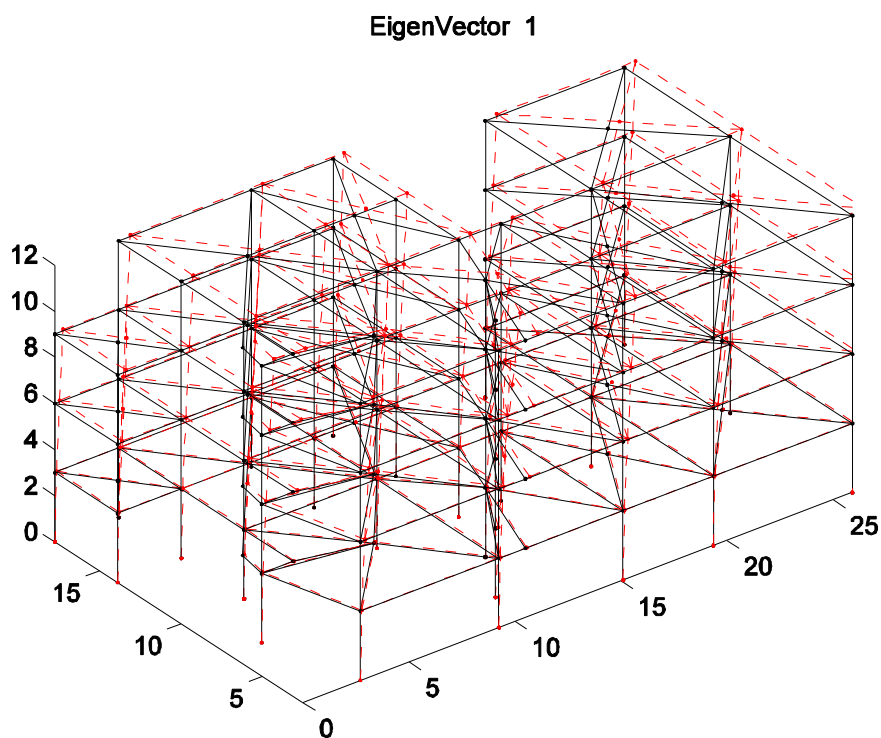
Δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει ο ίδιος το ζεύγος των επιταχυνσιογραφημάτων για τα οποία θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση του κτιρίου. Τα δύο αυτά επιταχυνσιογραφήματα, ένα για τη οριζόντια διεύθυνση x και ένα για τη οριζόντια διεύθυνση y εισάγονται ως μεταβλητές “recx” και “recy”. Δεδομένου ότι το κτίριο θα αναλυθεί για ένα σενάριο, επιλέγεται ένα ζεύγος επιταχυνσιογραφημάτων, το οποίο θα εφαρμοστεί στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις. Συγκεκριμένα, επιλέγονται οι καταγραφές “HOL090” και “HOL360” για να εφαρμοστούν στη x οριζόντια διεύθυνση και y οριζόντια διεύθυνση, αντίστοιχα. Τα δύο αυτά επιταχυνσιογραφήματα αποτελούν καταγραφές του σεισμού που συνέβηκε στις 17 Ιανουαρίου 1994 στο Northridge στο Los Angeles όπως καταγράφηκε από το σταθμό HOLLYWOOD STORAGE FF, 090 (CDMG STATION 24303). Οι χρονοϊστορίες αυτές είναι σε μονάδες g (9.81m/sec^2) και έχουν διάρκεια 40 δευτερόλεπτα με χρονικό βήμα Δt , 0.02 δευτερόλεπτα (PEER NGA database, PEER 2007).

Επιπλέον, καθορίζεται από το χρήστη, υπό τη μορφή της μεταβλητής “mode_direction”, η διεύθυνση της πρώτης ιδιομορφής, μιας και η κλιμάκωση των πιο πάνω επιταχυνσιογραφημάτων θα πραγματοποιηθεί βάσει της φασματικής επιτάχυνσης η οποία αντιστοιχεί στην πρώτη ιδιομορφή $S_a(T_1)$ (μέτρο έντασης IM). Επομένως κρίνεται σκόπιμο να γνωρίζουμε εάν ο συντελεστής σχεδιασμού θα υπολογιστεί βάσει της αντίστοιχης επιτάχυνσης της καταγραφής η οποία εφαρμόζεται στη x ή στη y διεύθυνση. Οι δύο πρώτες ιδιομορφές εξάγονται από το OpenSEES και σχεδιάζονται από το Matlab όπως παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.1 και 6.2. Για το συγκεκριμένο κτίριο η πρώτη ιδιομορφή είναι μεταφορική στη x διεύθυνση και η δεύτερη ιδιομορφή είναι μεταφορική στη y διεύθυνση.

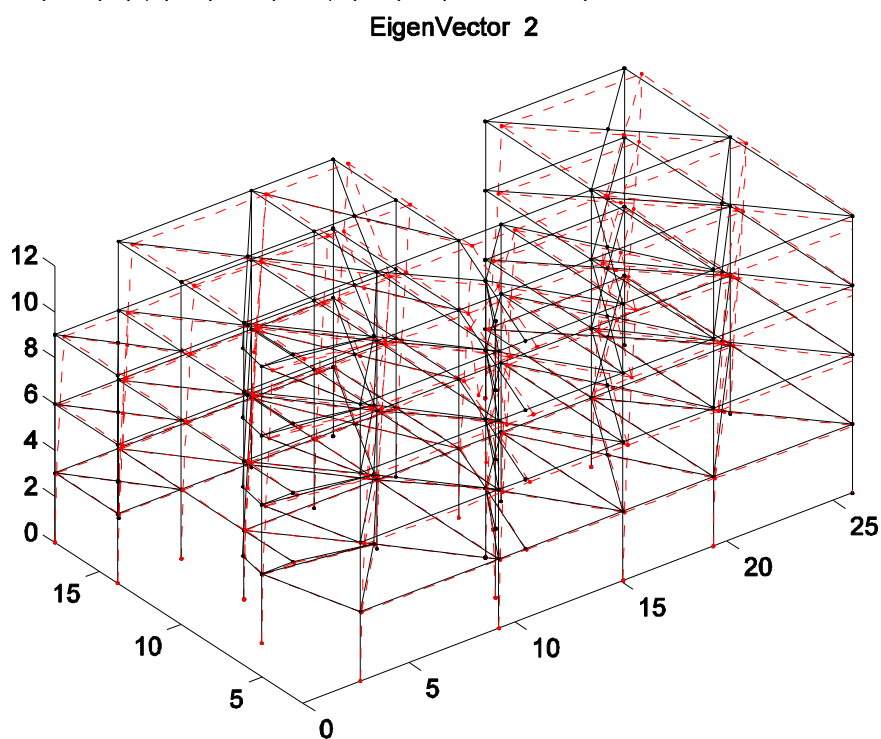
Υπό τη μορφή της μεταβλητής "nstory", καθορίζεται ο συνολικός αριθμός των ορόφων για τους οποίους θα γίνει η ανάλυση ζημιών και ο υπολογισμός του κόστους επισκευής. Για το συγκεκριμένο κτίριο, λόγω του ότι είναι τετραώροφο, η μεταβλητή αυτή τίθεται ίση με 4. Σε αυτό το σημείο ολοκληρώνεται η εισαγωγή δεδομένων από το χρήστη καθώς η υπόλοιπη διαδικασία είναι πλήρως αυτοματοποιημένη. Πρώτο βήμα της διαδικασίας αυτής αποτελεί ο καθορισμός, για κάθε ένα όροφο, των αρχείων τα οποία εξάγονται από το OpenSEES, προκειμένου να αναγνωριστούν και να εισαχθούν στο Matlab. Τα αρχεία αυτά αφορούν τις μετατοπίσεις (displacements) και τις επιταχύνσεις (accelerations) του κεντρικού κόμβου κάθε ορόφου, τις ανηγμένες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων (interstory drift ratio) σε κάθε διεύθυνση, όπως επίσης και τις πλαστικές στροφές (plastic rotation) των υποστυλωμάτων και των δοκών σε κάθε όροφο.

Το πρώτο υποπρόγραμμα είναι το "fgr_fibersections.m", και είναι υπεύθυνο για το σχεδιασμό των διατομών ινών των φέροντων στοιχείων του κτιρίου όπως καθορίζονται στο OpenSEES. Το δεύτερο υποπρόγραμμα είναι το "eurocode_spectrum.m", και μέσω αυτού σχεδιάζεται το κατάλληλο φάσμα του Ευρωκώδικα για τη περιοχή μελέτης και υπολογίζονται οι ψευδοεπιταχύνσεις σχεδιασμού για τις δύο πρώτες ιδιομορφές.

Το τρίτο υποπρόγραμμα είναι το "ground_response.m", και σε αυτό δημιουργούνται γραφήματα με τις χρονοϊστορίες αποκρίσεων του εδάφους και τα φάσματα απόκρισης ενώ υπολογίζεται και ο συντελεστής σχεδιασμού (design factor) α_{des} . Το υποπρόγραμμα ανάλυσης "slab_response.m" είναι υπεύθυνο για τον υπολογισμό και τη απεικόνιση των αποκρίσεων των ορόφων συναρτήσει του χρόνου ενώ το υποπρόγραμμα "floor_IDR.m" κάνει μια προκαταρκτική ανάλυση των ζημιών που παθαίνουν οι όροφοι, λαμβάνοντας ως μέτρο απόκρισης τις ανηγμένες σχετικές μετακινήσεις τους. Τα υποπρογράμματα "column.m", "beam.m", "wall.m", "window.m" και "door.m", είναι υπεύθυνα για την ανάλυση των ζημιών και τον υπολογισμό του κόστους των υποστυλωμάτων, των δοκών, των τοιχοπληρώσεων, των παραθύρων και των πορτών, αντίστοιχα.



Σχήμα 6.1. Πρώτη ιδιομορφή κτιρίου, μεταφορική στη x διεύθυνση.



Σχήμα 6.2. Δεύτερη ιδιομορφή κτιρίου, μεταφορική στη y διεύθυνση.

Για τους σκοπούς της ανάλυσης, οι καταγραφές κλιμακώνονται βάσει του συντελεστή σχεδιασμού προκειμένου να φθάσουν στην επιθυμητή ένταση η οποία χαρακτηρίζει την περιοχή μελέτης. Επιπρόσθετα ο συντελεστής αυτός μπορεί να πολλαπλασιαστεί με κάποιο αριθμό μικρότερο ή μεγαλύτερο της μονάδας, προκειμένου να μελετηθούν και οι περιπτώσεις σεισμικών δονήσεων μικρότερης ή μεγαλύτερης σεισμικής έντασης, αντίστοιχα. Οι συντελεστές αυτοί καλούνται συντελεστές κλιμάκωσης, και η σεισμική ανάλυση πραγματοποιείται για κάθε ένα από αυτούς. Οι συντελεστές κλιμάκωσης των επιταχυνσιογραφημάτων εισάγονται στο διάνυσμα "sc_factor".

Μέσα από δοκιμές αναλύσεων για διάφορους συντελεστές κλιμάκωσης έχει προκύψει ότι για συντελεστές κλιμάκωσης ίσης ή μικρότερης έντασης του $\frac{1}{4} \tilde{z}_{a_{des}}$ τα μέλη του κτιρίου δεν υπερβαίνουν τις οριακές τους καταστάσεις και δεν εισέρχονται σε κάποια από τις ανώτερες στάθμες επιτελεστικότητας, με αποτέλεσμα να προκύπτει πρακτικά μηδενικό κόστος επισκευής τους. Εν αντιθέσει, για συντελεστές κλιμάκωσης ίσης ή μεγαλύτερης έντασης του $4 \tilde{z}_{a_{des}}$ τα πλείστα μέλη καταρρέουν και ουσιαστικά απαιτείται αντικατάσταση του κτιρίου. Για το λόγο αυτό, μελετώνται οι περιπτώσεις μισής, ίσης και διπλάσιας σεισμικής έντασης σε σχέση με αυτήν η οποία καθορίζεται από το φάσμα σχεδιασμού του Ευρωκώδικα και τον συντελεστή σχεδιασμού. Πιο συγκεκριμένα, επιλέγονται τρεις συντελεστές κλιμάκωσης οι οποίοι είναι $\frac{1}{2} \tilde{z}_{a_{des}}$, $1 \tilde{z}_{a_{des}}$ και $2 \tilde{z}_{a_{des}}$.

Μέσα από μια επαναληπτική διαδικασία, η ανάλυση του κτιρίου πραγματοποιείται τόσες φορές όσες και το μέγεθος του διανύσματος "sc_factor". Για κάθε συντελεστή κλιμάκωσης δημιουργείται το αρχείο "myrecord.tcl" στο οποίο καταγράφονται τα επιταχυνσιογραφήματα με τους αντίστοιχους συντελεστές που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση. Το αρχείο αυτό εισάγεται στο αρχείο ανάλυσης του OpenSEES, και η ανάλυση ξεκινά να πραγματοποιείται μέσω εξωτερικής εντολής που δίδεται από το Matlab.

Αφού δημιουργηθούν τα αρχεία μορφής ".out" στα οποία αποθηκεύονται οι δομικές αποκρίσεις που εξάγονται από το OpenSEES, και των οποίων οι ονομασίες έχουν καθοριστεί από προηγουμένως, αναγνωρίζονται και μεταφέρονται αυτόματα σε μια αρχαιοθήκη η οποία λαμβάνει το όνομά της από τα τρία αρχικά γράμματα των καταγραφών και τον συντελεστή κλιμάκωσης. Για παράδειγμα, εάν οι καταγραφές οι οποίες χρησιμοποιούνται στην ανάλυση είναι

οι “HOL090” και “HOL360”, για συντελεστή κλιμάκωσης 1.128, τότε η αρχειοθήκη θα ονομαστεί “HOLsc1.128”. Σε αυτόν το φάκελο μεταφέρονται τα εξαγόμενα αρχεία του OpenSEES, προκειμένου όταν η ανάλυση θα πραγματοποιηθεί για άλλες καταγραφές ή άλλο συντελεστή κλιμάκωσης να μη χαθούν. Επιπλέον δημιουργείται σε κάθε μια από αυτές τις αρχειοθήκες, ένας επιπρόσθετος φάκελος με το όνομα “figures” στον οποίο αποθηκεύονται όλα τα διαγράμματα και σχήματα τα οποία προκύπτουν μέσα από την κάθε ανάλυση ξεχωριστά.

Σε αυτό τον κύκλο επανάληψης αναλύσεων για τον κάθε συντελεστή κλιμάκωσης αποστέλλονται δεδομένα από το κεντρικό πρόγραμμα στα υποπρογράμματα ανάλυσης, όπου πραγματοποιούνται οι αναλύσεις οι οποίες έχουν προαναφερθεί και επιστρέφονται τα τελικά αποτελέσματα στο κεντρικό, για περαιτέρω επεξεργασία. Προφανώς σε αυτήν την επαναληπτική διαδικασία, δεν περιλαμβάνονται τα υποπρογράμματα “fgr_fibersections.m”, “eurocode_spectrum.m” και “ground_response.m”, σε αντίθεση με τα υποπρογράμματα ανάλυσης “slab_response”, “floor_IDR”, “column.m”, “beam.m”, “wall.m”, “window.m” και “door.m” στα οποία η ανάλυση επαναλαμβάνεται για κάθε συντελεστή κλιμάκωσης.

Από τα πέντε υποπρογράμματα τα οποία είναι υπεύθυνα για την ανάλυση κάθε ομάδας μελών, επιστρέφονται στο κεντρικό πρόγραμμα, το αναμενόμενο κόστος επισκευής τους και η τυπική απόκλιση του κόστους αυτού. Βάσει του επιμέρους κόστους των μελών, γίνεται εφαρμογή των δύο μεθόδων οι οποίες αναπτύχθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο και υπολογίζεται το αναμενόμενο κόστος επισκευής ανά όροφο αλλά και για το κτίριο συνολικά. Στο τέλος, σχεδιάζεται η καμπύλη του αναμενόμενου συνολικού κόστους επισκευής του κτιρίου για τα τρία επίπεδα έντασης της σεισμικής δόνησης, μαζί με δύο επιπρόσθετες καμπύλες οι οποίες αναπαριστούν την τυπική απόκλιση του κόστους αυτού.

6.1.2. Πρόγραμμα σχεδίασης διατομών ινών

Το πρώτο υποπρόγραμμα είναι το “fgr_fibersections.m” (Παράρτημα Δ), το οποίο διαβάζει τα δεδομένα των διατομών ινών των υποστυλωμάτων, των τοιχωμάτων και των δοκών όπως καθορίζονται στο OpenSEES για τη προσομοίωση της στατικής δομής του κτιρίου και τις σχεδιάζει. Αυτό το πρόγραμμα έχει δημιουργηθεί αποκλειστικά για λόγους σχεδίασης και δεν εξυπηρετεί στους υπολογισμούς οι οποίοι πραγματοποιούνται στα υπόλοιπα υποπρογράμματα.

Στα Σχήματα 4.1 και 4.2, έχουν παρουσιαστεί κάποια ενδεικτικά παραδείγματα διατομών υποστυλωμάτων, τοιχωμάτων και δοκών.

6.1.3. Πρόγραμμα σχεδίασης φάσματος Ευρωκώδικα

Στο υποπρόγραμμα "eurocode_spectrum.m" (Παράρτημα Δ), εισάγονται οι παράμετροι του φάσματος του Ευρωκώδικα, όπως αυτοί έχουν καθοριστεί στο υποκεφάλαιο 3.3, προκειμένου να σχεδιαστεί το κατάλληλο φάσμα σχεδιασμού για τη περιοχή μελέτης, η οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η περιοχή Λευκωσίας. Στο Σχήμα 3.2, έχει παρουσιαστεί το φάσμα του Ευρωκώδικα, όπως επίσης και η τιμή της ψευδοφασματικής επιτάχυνσης σχεδιασμού που αντιστοιχεί στην πρώτη ιδιομορφή, βάσει της οποίας θα υπολογιστεί ο συντελεστής σχεδιασμού για την κλιμάκωση του ζεύγους επιταχυνσιογραφημάτων που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση.

Το πρόγραμμα αυτό, μέσω των μεταβλητών "period_T1" και "period_T2", διαβάζει τις πρώτες δύο ιδιοπεριόδους του κτιρίου T_1 και T_2 , όπως αυτές εξάγονται από το OpenSEES στο αρχείο "multistory_periods.txt". Χρησιμοποιώντας γραμμική παρεμβολή μεταξύ των προ-υπολογισθέντων τιμών φάσματος του Ευρωκώδικα, υπολογίζονται οι δύο ψευδοφασματικές επιταχύνσεις σχεδιασμού $S_a(T_1)$ και $S_a(T_2)$, οι οποίες αποθηκεύονται στις μεταβλητές "Se_T1_design" και "Se_T2_design", αντίστοιχα. Στον Πίνακα 6.1. συνοψίζονται τα αποτελέσματα όπως προκύπτουν μέσα από την ανάλυση.

Πίνακας 6.1. Ιδιοπερίοδοι και Επιταχύνσεις Σχεδιασμού του Κτιρίου.

	Διεύθυνση	Ιδιοπερίοδος T	Ψευδοφασματική επιτάχυνση σχεδιασμού S_a
Πρώτη ιδιομορφή	x	$T_1 = 0.369 \text{ sec}$	$S_a(T_1) = 0.60 \text{ g}$
Δεύτερη ιδιομορφή	y	$T_2 = 0.331 \text{ sec}$	$S_a(T_2) = 0.60 \text{ g}$

Βάσει της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου T_1 του κτιρίου, η οποία είναι ίση με 0.369sec, υπολογίζεται η αντίστοιχη ψευδοφασματική επιτάχυνση σχεδιασμού $S_a(T_1)$ για την πρώτη ιδιομορφή, η οποία είναι μεταφορική κατά τη x διεύθυνση. Αυτή η ψευδοφασματική επιτάχυνση προκύπτει ίση με 0.60g και αποτελεί το μέτρο έντασης IM, για το οποίο έγινε εκτενής αναφορά στο Κεφάλαιο 2 και βάσει του οποίου θα κλιμακωθεί το επιλεγμένο ζεύγος επιταχυνσιογραφημάτων (Jalayer & Cornell 2002).

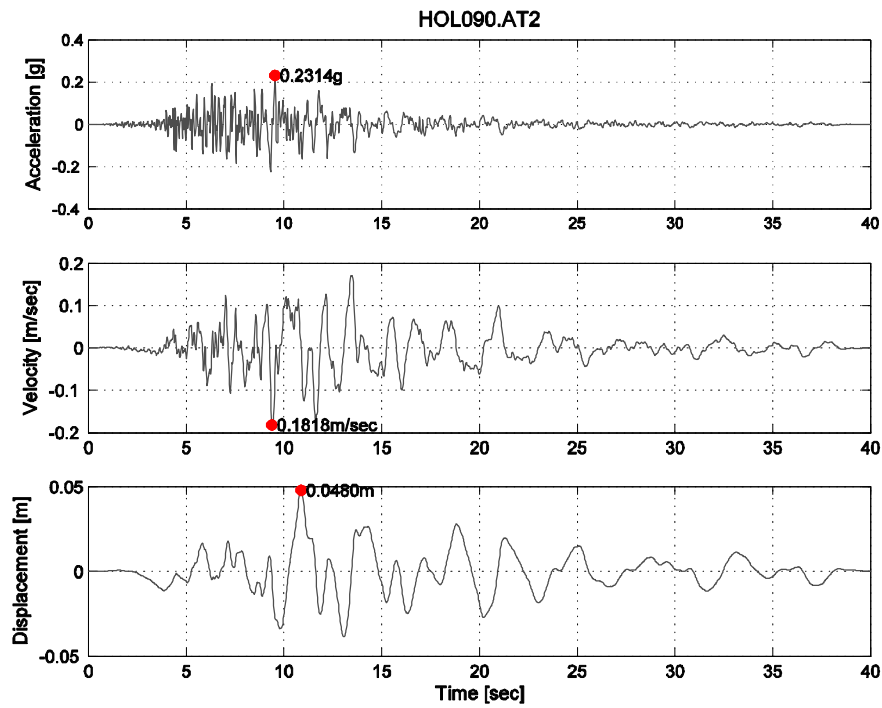
6.1.4. Πρόγραμμα ανάλυσης εδαφικών αποκρίσεων

Το υποπρόγραμμα ανάλυσης εδαφικών αποκρίσεων “ground_response.m” (Παράρτημα Δ), διαβάζει τα επιταχυνσιογραφήματα που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση και υπολογίζει τις αποκρίσεις του εδάφους τις οποίες στο τέλος εξάγει στο αρχείο “ground_response_data.txt”. Έχοντας ως δεδομένες τις τιμές της επιτάχυνσης του εδάφους συναρτήσει του χρόνου όπως εισάγονται στο κεντρικό πρόγραμμα από τις καταγραφές “HOL090” και “HOL360”, με ολοκλήρωση προκύπτουν οι τιμές της ταχύτητας και με μια ακόμη ολοκλήρωση προκύπτουν οι τιμές της μετατόπισης του εδάφους συναρτήσει του χρόνου. Με ανάλυση των δεδομένων αυτών, υπολογίζονται η μέγιστη επιτάχυνση, η μέγιστη ταχύτητα και η μέγιστη μετατόπιση του εδάφους για τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις. Οι υπολογισμοί αυτοί αφορούν τις δύο καταγραφές χωρίς οποιαδήποτε κλιμάκωση στο επιθυμητό επίπεδο έντασης. Δεδομένου ότι οι παραπάνω υπολογισμοί είναι γραμμικοί, οι τιμές οι οποίες προκύπτουν, με τον κατάλληλο συντελεστή κλιμάκωσης δίνουν τις πραγματικές αποκρίσεις του εδάφους, για το επιθυμητό επίπεδο έντασης. Οι υπολογισμοί αυτοί δεν εξυπηρετούν στον υπολογισμό του κόστους επισκευής του κτιρίου, αλλά πραγματοποιούνται για εποπτικούς λόγους.

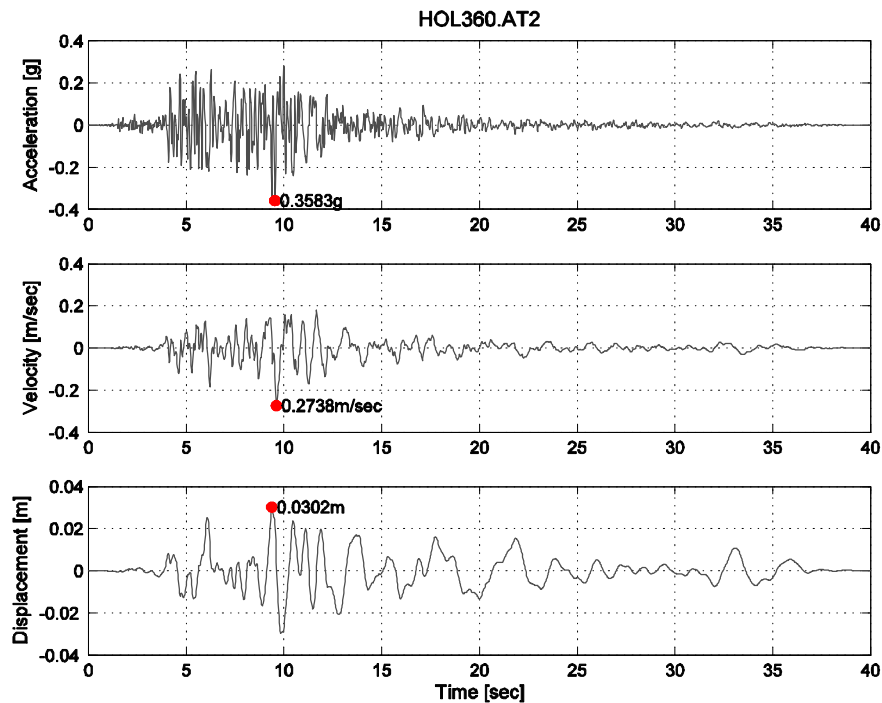
Οι μέγιστες αποκρίσεις του εδάφους για συντελεστή κλιμάκωσης 1, δηλαδή ουσιαστικά τα χαρακτηριστικά των επιταχυνσιογραφημάτων “HOL090” και “HOL360”, όπως εξάγονται στο αρχείο “ground_response_data.txt”, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2 για τη x και y διεύθυνση, αντίστοιχα. Στα Σχήματα 6.3 και 6.4 παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες των επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων του εδάφους για τη x και τη y διεύθυνση, αντίστοιχα, για συντελεστή κλιμάκωσης 1. Στα σχήματα αυτά εμφανίζονται και οι μέγιστες εδαφικές αποκρίσεις.

Πίνακας 6.2. Χαρακτηριστικά επιταχυνσιογραφημάτων “HOL090” και “HOL360” για συντελεστή κλιμάκωσης $1 \cdot \alpha_{des}$.

	x διεύθυνση “HOL090”	y διεύθυνση “HOL360”
μέγιστη εδαφική επιτάχυνση	0.2314 g	0.3583 g
μέγιστη εδαφική ταχύτητα	0.1818 m/sec	0.2738 m/sec
μέγιστη εδαφική μετατόπιση	0.0480 m	0.0302 m

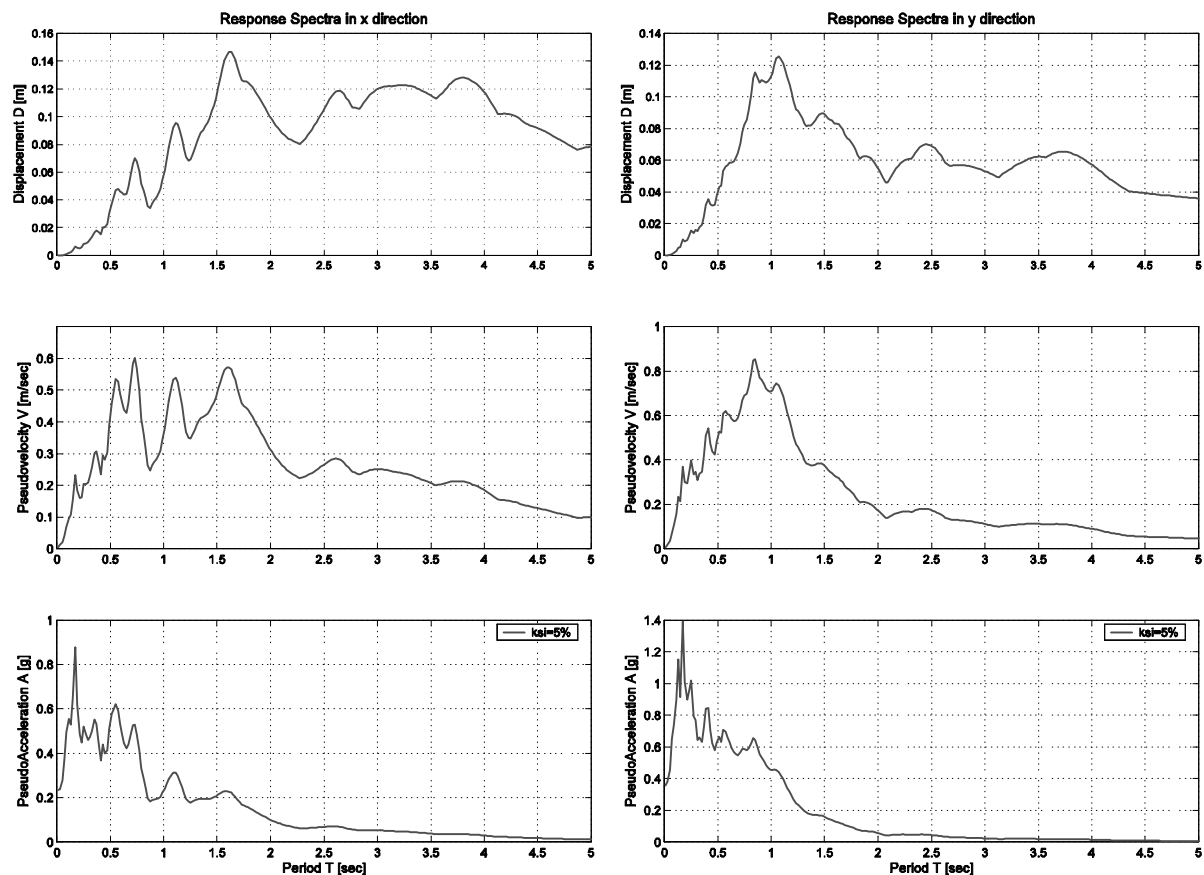


Σχήμα 6.3. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων εδάφους στη x διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{a}_{des}$.



Σχήμα 6.4. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων εδάφους στη y διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{a}_{des}$.

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Newmark (υποπρόγραμμα “newmark.m”), υπολογίζονται τα φάσματα απόκρισης των καταγραφών αυτών και ακολούθως οι ψευδοφασματικές επιταχύνσεις οι οποίες αντιστοιχούν στις ιδιοπεριόδους των δύο πρώτων ιδιομορφών του κτιρίου, $PSa_x(T_1, 5\%)$ και $PSa_y(T_2, 5\%)$. Οι επιταχύνσεις αυτές αποθηκεύονται στις μεταβλητές “PSa_record_1” και “PSa_record_2”, αντίστοιχα. Ο συντελεστής σχεδιασμού a_{des} υπολογίζεται ως ο λόγος της ψευδοεπιτάχυνσης σχεδιασμού $S_a(T_1)$ όπως προκύπτει από το φάσμα του Ευρωκώδικα προς τη ψευδοεπιτάχυνση $PSa_x(T_1, 5\%)$ από το φάσμα απόκρισης της καταγραφής για τη διεύθυνση που αντιστοιχεί στην πρώτη ιδιομορφή (μεταφορική στη x διεύθυνση). Ο συντελεστής σχεδιασμού προκύπτει $a_{des}=0.6/0.532=1.1281$. Στο Σχήμα 6.5, παρουσιάζονται τα φάσματα απόκρισης των καταγραφών “HOL090” και “HOL360”.



Σχήμα 6.5. Φάσματα αποκρίσεων επιταχυνσιογραφημάτων HOL090 (x-dir) και HOL360 (y-dir) για απόσβεση 5% και συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{a}_{des}$.

6.1.5. Πρόγραμμα ανάλυσης αποκρίσεων πλακών ορόφων

Το υποπρόγραμμα ανάλυσης “slab_response.m” (Παράρτημα Δ), εκτός από τα επιταχυνσιογραφήματα και τους συντελεστές κλιμάκωσης, διαβάζει τα αρχεία που εξάγονται από το OpenSEES με τις μετατοπίσεις και τις επιταχύνσεις των κόμβων που αποτελούν τα κέντρα βάρους των πλακών των ορόφων, όπως επίσης και τις ανηγμένες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων. Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζονται οι μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ανάλυση σε αυτό το αρχείο και οι οποίες ουσιαστικά αποτελούν διανύσματα στα οποία αποθηκεύονται οι πληροφορίες αυτές.

Πίνακας 6.3. Διανυσματικές μεταβλητές για την ανάλυση των πλακών.

διάνυσμα	περιλαμβάνει
<i>time</i>	χρόνος
<i>disp_x</i>	μετακινήσεις πλακών ορόφων στη x οριζόντια διεύθυνση
<i>disp_y</i>	μετακινήσεις πλακών ορόφων στη y οριζόντια διεύθυνση
<i>rot_z</i>	στροφές πλακών ορόφων γύρω από την z κατακόρυφη διεύθυνση
<i>accel_x</i>	επιταχύνσεις πλακών ορόφων στη x οριζόντια διεύθυνση
<i>totaccel_x</i>	απόλυτες επιταχύνσεις πλακών ορόφων στη x οριζόντια διεύθυνση
<i>accel_y</i>	επιταχύνσεις πλακών ορόφων στη y οριζόντια διεύθυνση
<i>totaccel_y</i>	απόλυτες επιταχύνσεις πλακών ορόφων στη y οριζόντια διεύθυνση
<i>idr_x</i>	ανηγμένες σχετικές μετακινήσεις πλακών ορόφων στη x διεύθυνση
<i>idr_y</i>	ανηγμένες σχετικές μετακινήσεις πλακών ορόφων στη y διεύθυνση
<i>accel_groundx_new</i>	επιταχύνσεις εδάφους στη x οριζόντια διεύθυνση
<i>accel_groundy_new</i>	επιταχύνσεις εδάφους στη y οριζόντια διεύθυνση

Οι απόλυτες επιταχύνσεις για κάθε πλάκα του κτιρίου, υπολογίζονται ως το άθροισμα των σχετικών επιταχύνσεων όπως αυτές προκύπτουν από το OpenSEES συν τις επιταχύνσεις του εδάφους όπως προκύπτουν από τις καταγραφές πολλαπλασιασμένες επί τον συντελεστή κλιμάκωσης, για την κάθε διεύθυνση ξεχωριστά. Για παράδειγμα, οι απόλυτες επιταχύνσεις μιας πλάκας στη x διεύθυνση, για συντελεστή κλιμάκωσης 2, προκύπτουν πολλαπλασιάζοντας επί 2 το διάνυσμα με τις επιταχύνσεις εδάφους της καταγραφής που εφαρμόζεται στη x διεύθυνση “accel_groundx_new” και προσθέτοντας σε αυτό, το διάνυσμα “accel_x” το οποίο περιλαμβάνει

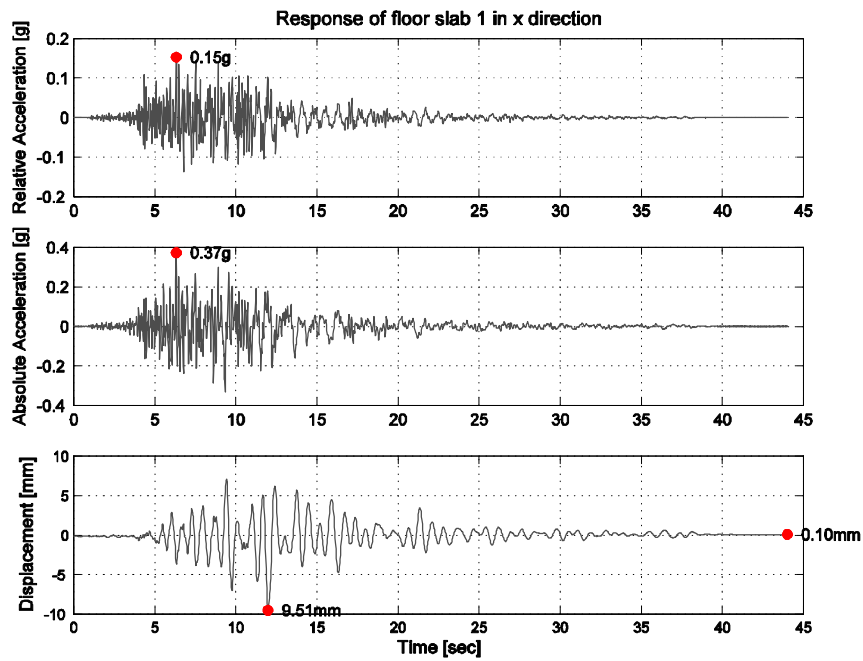
τις επιταχύνσεις του κόμβου που αποτελεί το κέντρο βάρους της συγκεκριμένης πλάκας όπως προκύπτει από την κατάλληλη ανάλυση στο OpenSEES. Οι απόλυτες επιταχύνσεις αξιοποιούνται ως το μέτρο απόκρισης EDP στην περίπτωση μελέτης της τρωτότητας των περιεχομένων του κτιρίου. Αν και αυτό δεν αποτελεί αντικείμενο έρευνας της παρούσας εργασίας, έχει εισαχθεί για μελλοντική χρήση.

Μέσα από το πρόγραμμα αυτό, υπολογίζονται οι μέγιστες αποκρίσεις των πλακών του κτιρίου ως οι μέγιστες απόλυτες τιμές από το κάθε διάνυσμα. Συγκεκριμένα, για κάθε πλάκα του κτιρίου υπολογίζονται η μέγιστη μεταφορική μετακίνηση “disprxmax”, επιτάχυνση “accelxmax”, απόλυτη επιτάχυνση “totaccelxmax” και ανηγμένη σχετική μετατόπιση “maxidrx” στη x οριζόντια διεύθυνση, η μέγιστη μεταφορική μετακίνηση “disprymax”, επιτάχυνση “accelymax”, απόλυτη επιτάχυνση “totaccelymax” και ανηγμένη σχετική μετατόπιση “maxidry” στη y οριζόντια διεύθυνση όπως επίσης και η μέγιστη στροφή “rotzmax” γύρω από τον z κατακόρυφο άξονα. Λόγω του ότι, με τη λήξη της ανάλυσης, το κτίριο δεν παύει να κινείται αλλά στην πραγματικότητα συνεχίζει να ταλαντώνεται για κάποιο μικρό διάστημα, προσομοιώνεται στο OpenSEES ένας αριθμός επιπλέον βημάτων όπου το έδαφος δεν μετακινείται αλλά το κτίριο τείνει να έρθει σε κατάσταση ηρεμίας σε ελεύθερη ταλάντωση. Έτσι, υπολογίζονται επίσης οι παραμένουσες μετακινήσεις “disprxrem” και “dispyrem”, παραμένουσα στροφή “rotzrem” και ανηγμένες σχετικές μετατοπίσεις “remxidrx” και “remidry” των πλακών των ορόφων. Στον Πίνακα 6.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όπως προκύπτουν μέσα από την ανάλυση και τα οποία αποθηκεύονται στο αρχείο “Slab_Response_Data.txt”.

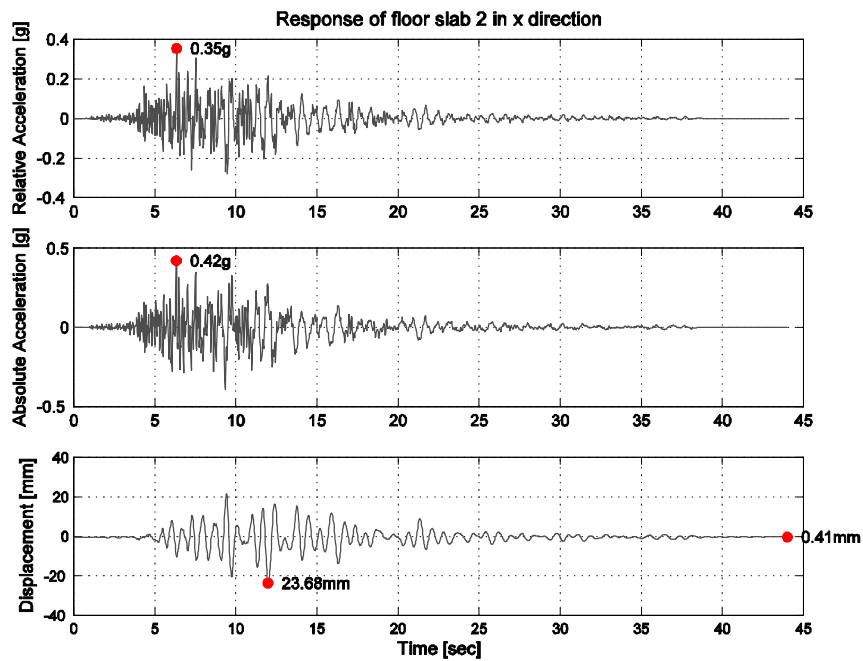
Στα Σχήματα 6.6 έως 6.9, παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες των μετακινήσεων, επιταχύνσεων και απόλυτων επιταχύνσεων, για συντελεστή κλιμάκωσης $1\bar{z}_{des}$, στη x διεύθυνση των πλακών του 1^{ου}, 2^{ου}, 3^{ου} και 4^{ου} ορόφου αντίστοιχα, ενώ στα Σχήματα 6.10 έως 6.13 παρουσιάζονται οι χρονοϊστορίες των μετακινήσεων, επιταχύνσεων και απόλυτων επιταχύνσεων στη y διεύθυνση, όπως επίσης και των στροφών γύρω από τον z άξονα των πλακών του 1^{ου}, 2^{ου}, 3^{ου} και 4^{ου} ορόφου αντίστοιχα, για τον ίδιο συντελεστή κλιμάκωσης. Στα σχήματα αυτά εμφανίζονται οι μέγιστες και οι παραμένουσες αποκρίσεις των πλακών των ορόφων.

Πίνακας 6.4. Μέγιστες και παραμένουσες αποκρίσεις των πλακών ορόφων του κτιρίου για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\lambda}_{des}$.

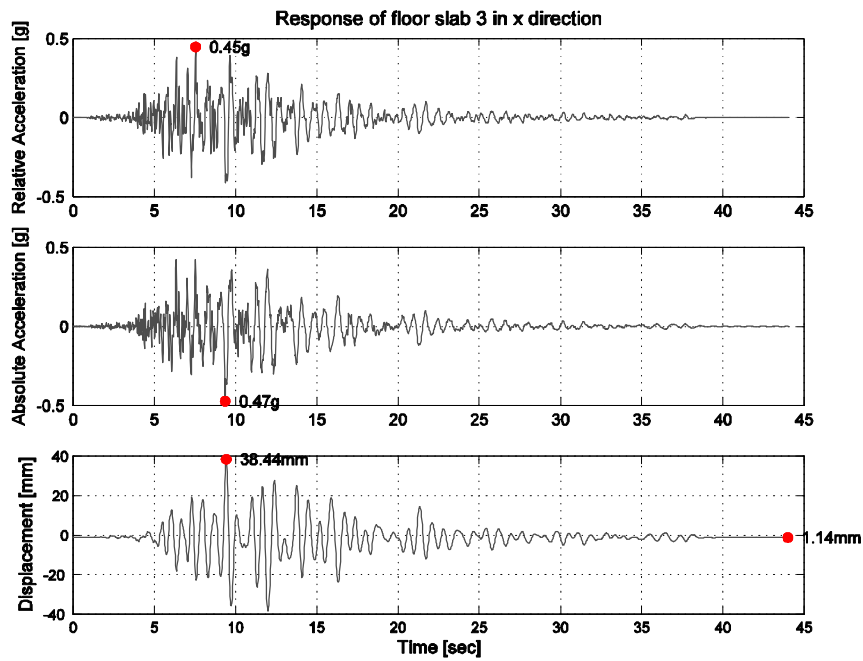
αποκρίσεις	1ος όροφος	2ος όροφος	3ος όροφος	4ος όροφος
<i>dispxmax (mm)</i>	9.51	23.68	38.44	55.10
<i>dispxrem (mm)</i>	0.10	0.41	1.14	1.92
<i>dispymax (mm)</i>	9.48	24.51	39.94	54.05
<i>dispyrem (mm)</i>	0.25	0.07	0.24	0.59
<i>rotzmax (% rad)</i>	0.003	0.005	0.006	0.007
<i>rotzrem (% rad)</i>	0	0	0	0
<i>accelxmax (g)</i>	0.153	0.354	0.447	0.675
<i>totaccelxmax (g)</i>	0.373	0.420	0.474	0.606
<i>accelymax (g)</i>	0.135	0.329	0.504	0.687
<i>totaccelymax (g)</i>	0.436	0.536	0.543	0.628
<i>maxidrx (%)</i>	0.32	0.48	0.56	0.56
<i>remxidrx (%)</i>	0	0.02	0.02	0.03
<i>maxidry (%)</i>	0.32	0.51	0.52	0.47
<i>remidry (%)</i>	0.01	0.01	0.01	0.01



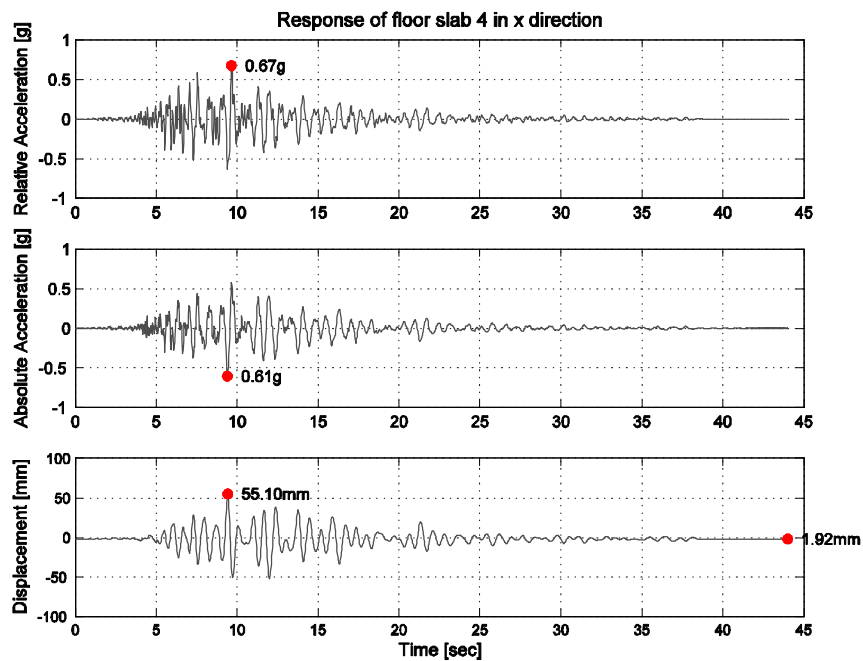
Σχήμα 6.6. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων και μετακινήσεων πλάκας 1^{ου} ορόφου στη x διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.



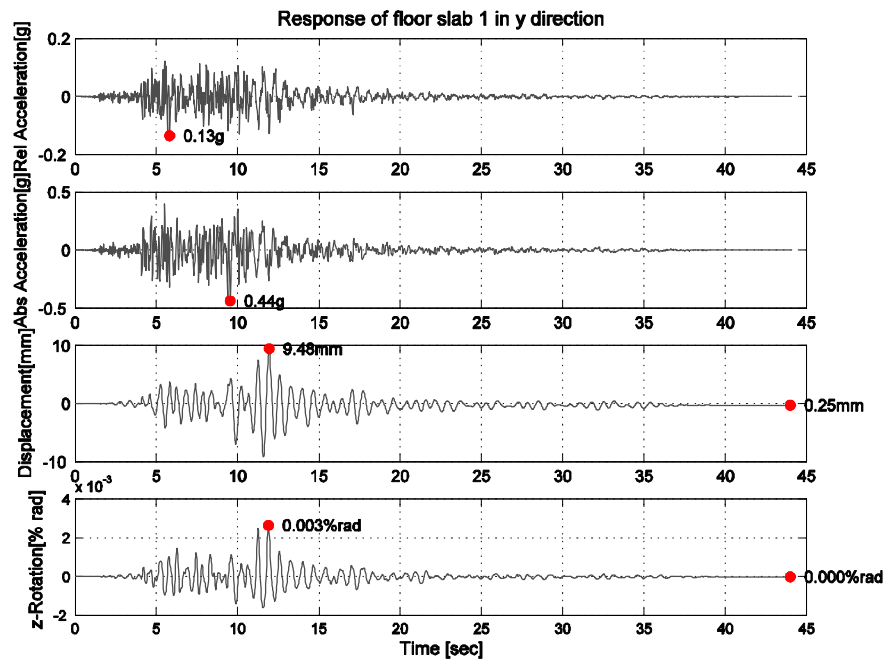
Σχήμα 6.7. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων και μετακινήσεων πλάκας 2^{ου} ορόφου στη x διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.



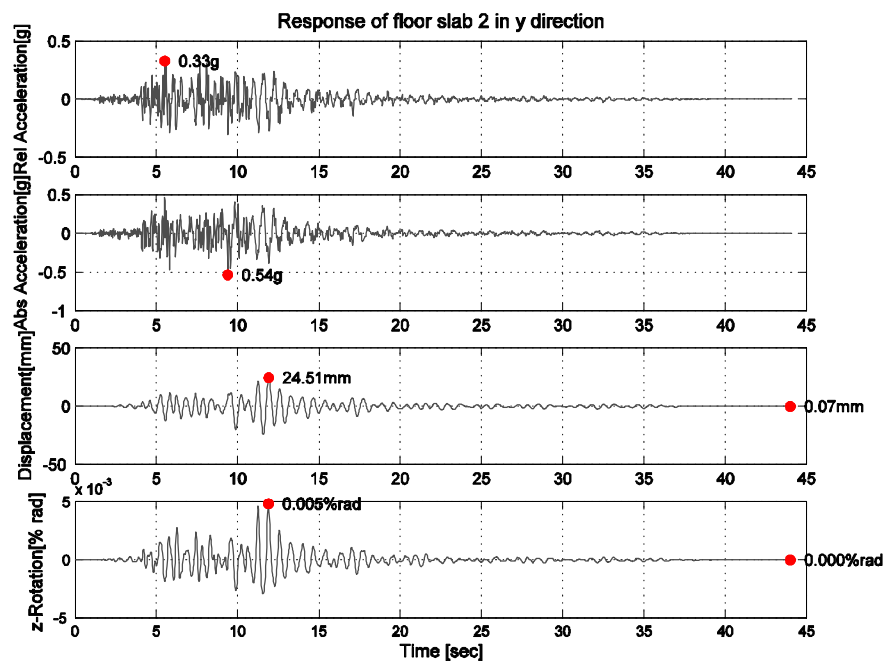
Σχήμα 6.8. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων και μετακινήσεων πλάκας 3^{ου} ορόφου στη x διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{a}_{des}$.



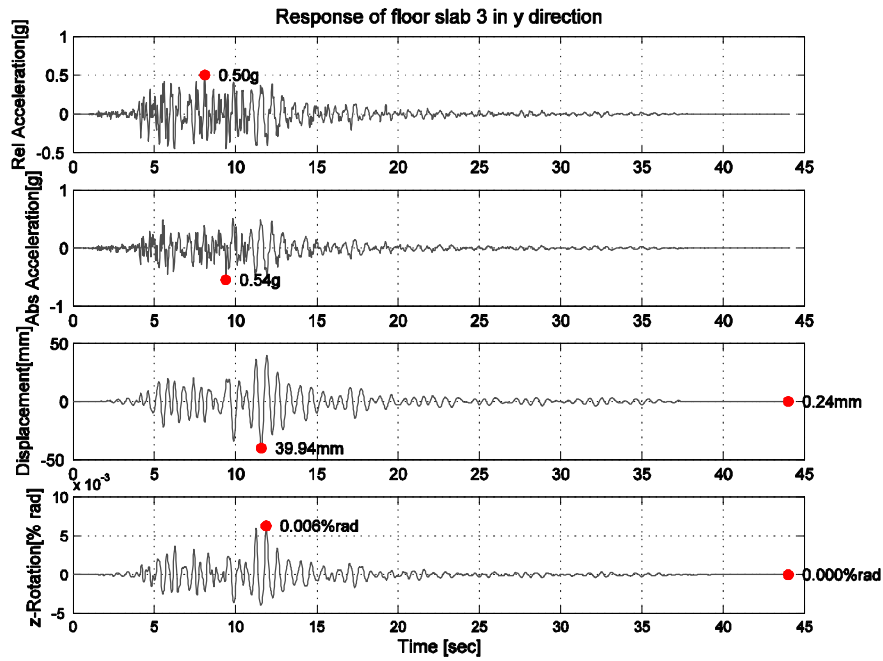
Σχήμα 6.9. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων και μετακινήσεων πλάκας 4^{ου} ορόφου στη x διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{a}_{des}$.



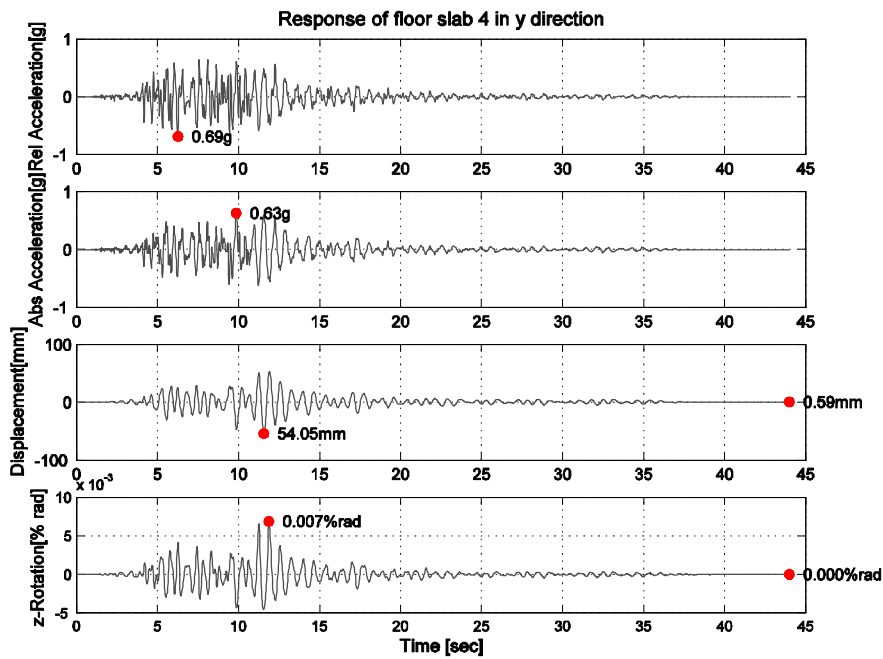
Σχήμα 6.10. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων, μετακινήσεων στη y διεύθυνση και στροφών γύρω από τον z άξονα πλάκας 1^{ov} ορόφου για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}a_{des}$.



Σχήμα 6.11. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων, μετακινήσεων στη y διεύθυνση και στροφών γύρω από τον z άξονα πλάκας 2^{ov} ορόφου για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}a_{des}$.



Σχήμα 6.12. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων, μετακινήσεων στη y διεύθυνση και στροφών γύρω από τον z άξονα πλάκας $3^{ου}$ ορόφου για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}a_{des}$.



Σχήμα 6.13. Χρονοϊστορία επιταχύνσεων, απόλυτων επιταχύνσεων, μετακινήσεων στη y διεύθυνση και στροφών γύρω από τον z άξονα πλάκας $4^{ου}$ ορόφου για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}a_{des}$.

6.1.6. Πρόγραμμα ανάλυσης ζημιών ορόφων

Το υποπρόγραμμα ανάλυσης “floor_IDR.m” (Παράρτημα Δ), διαβάζει τα αρχεία που εξάγονται από το OpenSEES με τις ανηγμένες σχετικές μετακινήσεις όλων των πλακών των ορόφων και κάνει μια προκαταρκτική χονδρική ανάλυση των ζημιών που παθαίνει ο κάθε όροφος, χρησιμοποιώντας ως μέτρο απόκρισης τη μέγιστη ανηγμένη σχετική μετακίνηση κάθε ορόφου (Interstory Drift Ratio).

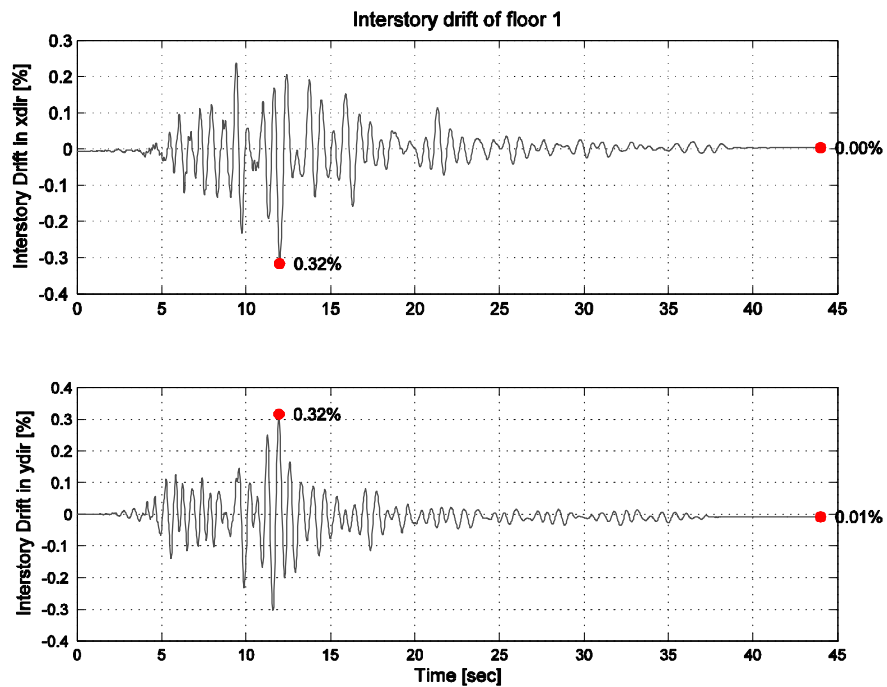
Το αρχείο αυτό, αφού διαβάσει τις ανηγμένες σχετικές μετακινήσεις κάθε ορόφου, υπολογίζει τη μέγιστη εν χρόνω σχετική μετακίνηση για κάθε όροφο στις δύο διευθύνσεις, IDR_{x_i} και IDR_{y_i} ($i=1, 2, 3, 4$) και τις αποθηκεύει στα διανύσματα “max_idr_x_all” και “max_idr_y_all”, αντίστοιχα. Η μέγιστη ανηγμένη σχετική μετακίνηση από τις δύο διευθύνσεις για κάθε όροφο, IDR_i , αποθηκεύεται στο διάνυσμα “maximax_idr”. Οι χρονοϊστορίες των ανηγμένων σχετικών μετακινήσεων των ορόφων στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.14 έως 6.17. Στα σχήματα αυτά εμφανίζονται οι μέγιστες και οι παραμένουσες ανηγμένες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων.

Στη συνέχεια, καθορίζονται ενδεικτικά τέσσερις στάθμες επιτελεστικότητας, και για κάθε στάθμη ορίζονται οι παράμετροι τρωτότητας οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.5.

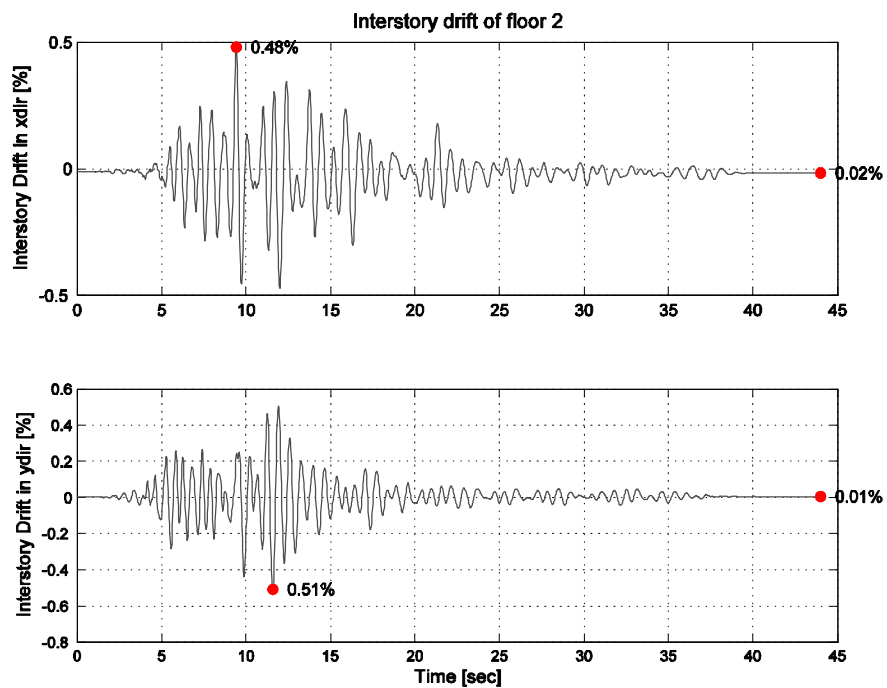
Πίνακας 6.5. Παράμετροι τρωτότητας ορόφων σε όρους ανηγμένης σχετικής μετακίνησης ορόφων.

IDR	Slight	Moderate	Severe	Collapse
x_m	0.01	0.02	0.04	0.07
β	0.2	0.2	0.2	0.2

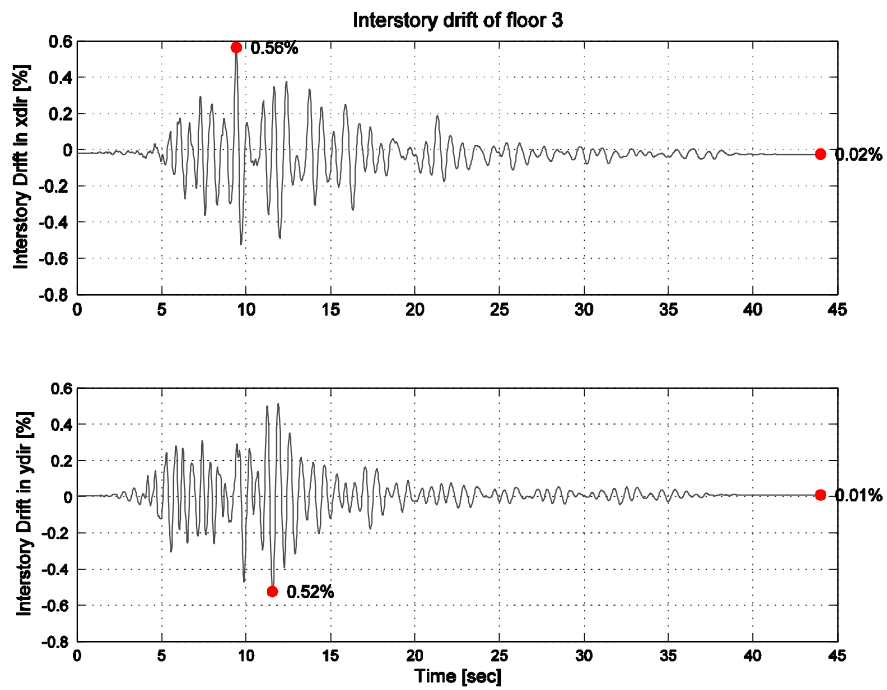
Στο Σχήμα 6.18 παρουσιάζονται οι καμπύλες τρωτότητας για τις τέσσερις στάθμες επιτελεστικότητας οι οποίες αφορούν την ανηγμένη σχετική μετακίνηση κάθε ορόφου. Στο πάνω σχήμα παρουσιάζονται οι πιθανότητες ένας όροφος να φτάσει ή να ξεπεράσει κάθε επίπεδο ζημιάς (reaching or exceeding a damage state). Αφαιρώντας τα διαδοχικά επίπεδα ζημιάς, προκύπτει το κάτω σχήμα στο οποίο παρουσιάζονται οι πιθανότητες ένας όροφος να βρίσκεται σε κάθε επίπεδο ζημιάς (being in a damage state).



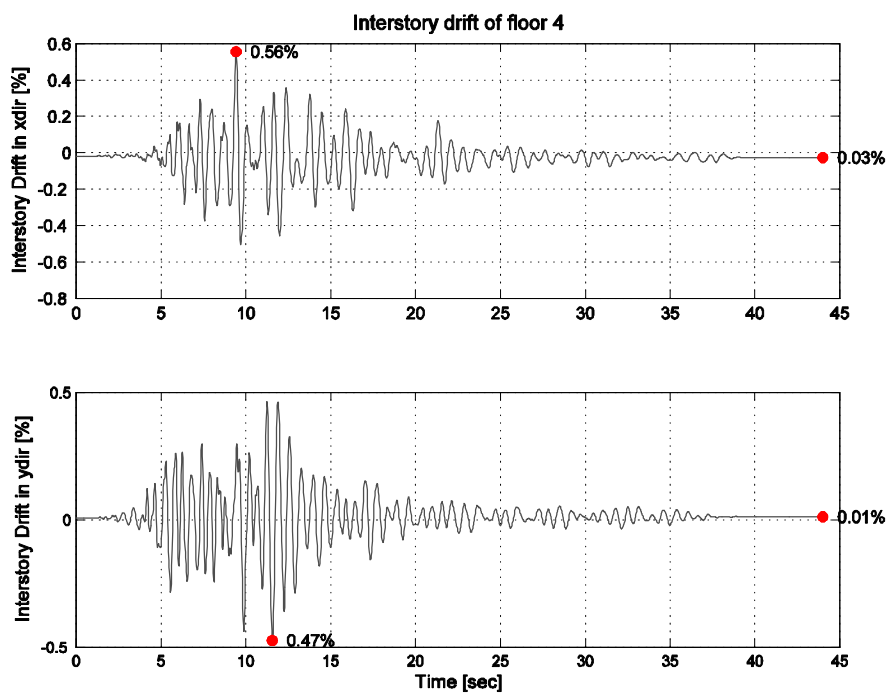
Σχήμα 6.14. Χρονοϊστορία ανηγμένων σχετικών μετακινήσεων 1^{ov} ορόφου στη x και y διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.



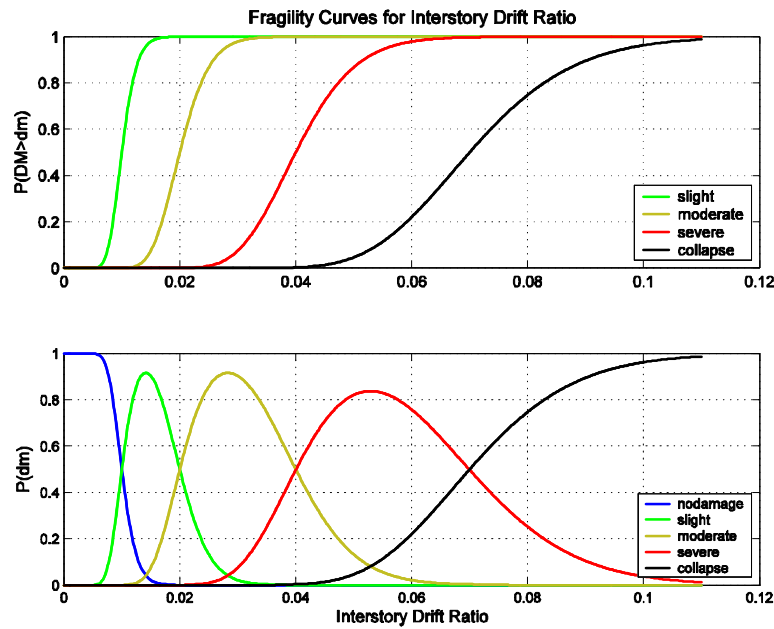
Σχήμα 6.15. Χρονοϊστορία ανηγμένων σχετικών μετακινήσεων 2^{ov} ορόφου στη x και y διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.



Σχήμα 6.16. Χρονοϊστορία σχετικών μετακινήσεων 3^{ου} ορόφου στη x και y διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.



Σχήμα 6.17. Χρονοϊστορία σχετικών μετακινήσεων 4^{ου} ορόφου στη x και y διεύθυνση για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.



Σχήμα 6.18. Καμπύλες τρωτότητας ορόφων.

Ακολουθώς υπολογίζονται αριθμητικά, οι πιθανότητες κάθε όροφος να φτάσει ή να ξεπεράσει κάθε επίπεδο ζημιάς, όπως επίσης και οι πιθανότητες να βρίσκεται σε κάθε επίπεδο ζημιάς. Οι πιθανότητες αυτές για όλους τους ορόφους αποθηκεύονται στους πίνακες “p_idr_exc_all” και “p_idr_bng_all”, αντίστοιχα και παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.6 και 6.7.

Πίνακας 6.6. Πιθανότητες ορόφων υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\tilde{\alpha}_{des}$.

όροφος	IDR [%]	G(slight) [%]	G(moderate) [%]	G(severe) [%]	G(collapse) [%]
1ος	0.32	0.0	0.0	0.0	0.0
2ος	0.51	0.0	0.0	0.0	0.0
3ος	0.56	0.2	0.0	0.0	0.0
4ος	0.56	0.2	0.0	0.0	0.0

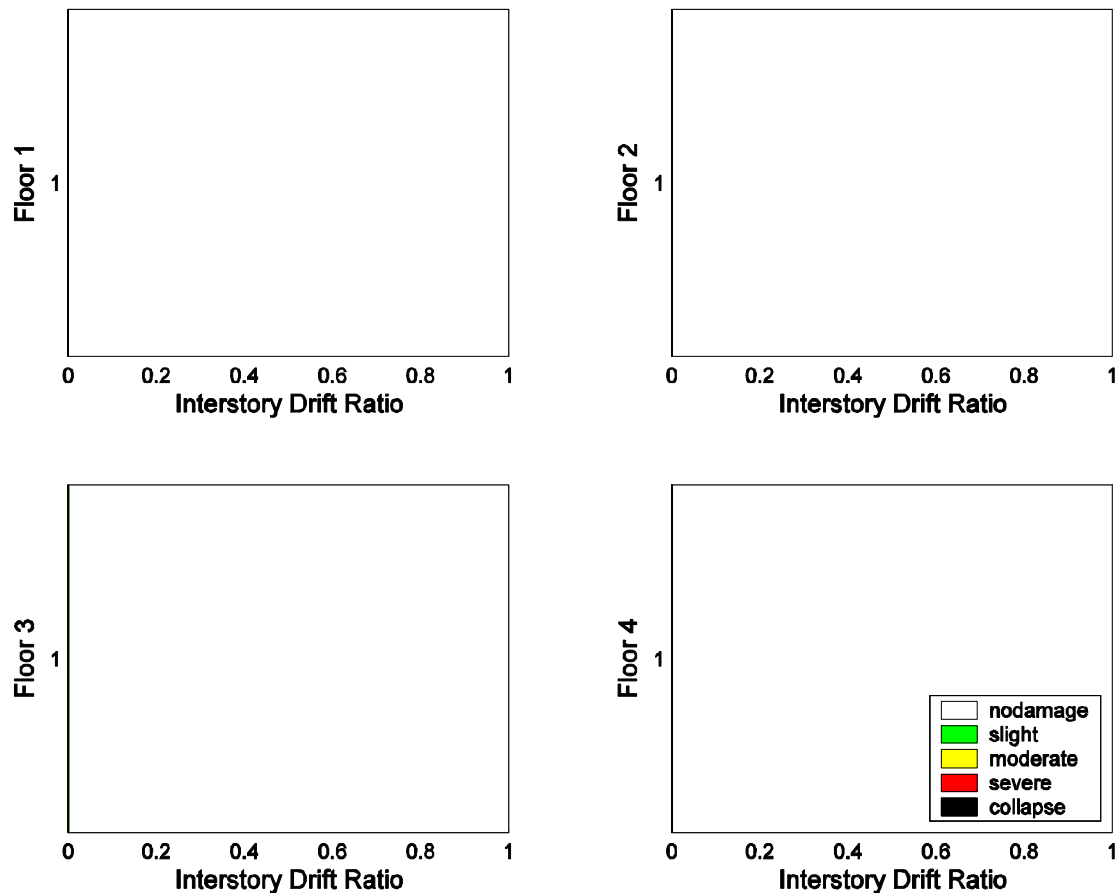
Πίνακας 6.7. Πιθανότητες ορόφων να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\tilde{\alpha}_{des}$.

όροφος	P(nodamage) [%]	P(slight) [%]	P(moderate) [%]	P(severe) [%]	P(collapse) [%]	damage	color
1ος	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
2ος	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
3ος	98.8	0.2	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
4ος	98.8	0.2	0.0	0.0	0.0	nodamage	white

Αναλόγως των πιθανοτήτων να βρίσκεται σε κάθε κατάσταση ζημιάς, καθορίζεται η ζημιά “damage_flr” την οποία έχει πάθει όπως και το χρώμα “color_flr”. Για παράδειγμα, για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$, ο τέταρτος όροφος έχει μέγιστη ανηγμένη σχετική μετατόπιση 0.56%. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.18 (πάνω) αλλά και στον Πίνακα 6.6, ο τέταρτος όροφος έχει πιθανότητα 0.2% να φτάσει ή να ξεπεράσει το επίπεδο ελαφρών ζημιών και 0% να φτάσει ή να ξεπεράσει το επίπεδο μέτριων ζημιών. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.18 (κάτω) αλλά και στον Πίνακα 6.7, προκύπτει ότι ο τέταρτος όροφος έχει πιθανότητα 98.8% να μην έχει πάθει καθόλου ζημιές, 0,2% να βρίσκεται στο επίπεδο ελαφρών ζημιών και 0% να βρίσκεται στο επίπεδο μέτριων ή σοβαρών ζημιών ή να έχει καταρρεύσει. Στον όροφο αυτό, λόγω του ότι έχει τις περισσότερες πιθανότητες να βρίσκεται στο επίπεδο καθόλου ζημιών, ανατίθεται η αντίστοιχη κατάσταση ζημιών και χρώμα άσπρο.

Στο Σχήμα 6.19, παρουσιάζονται διαγραμματικά οι πιθανότητες των τεσσάρων ορόφων να φτάσουν ή να ξεπεράσουν κάθε κατάσταση ζημιάς. Το κάθε χρώμα υποδηλώνει την πιθανότητα κάθε όροφος να βρίσκεται στην αντίστοιχη κατάσταση ζημιάς. Λόγω του άσπρου χρώματος, προκύπτει ότι από αυτήν την προκαταρκτική ανάλυση ζημιών βάσει των ανηγμένων σχετικών μετακινήσεων των ορόφων, δεν έχουν προκληθεί ζημιές στους ορόφους. Εντούτοις όπως θα παρατηρηθεί στη συνέχεια, οι ζημιές οι οποίες ανατίθενται στους ορόφους βάσει των μέγιστων ανηγμένων σχετικών μετακινήσεων, συνδέονται άμεσα με το φορέα του κτιρίου, δηλαδή τα υποστυλώματα και τις δοκούς και όχι με τους τοίχους, τις πόρτες και τα παράθυρα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η κατάσταση καθόλου ζημιών η οποία ανατίθεται στους ορόφους επαληθεύεται παρακάτω, αφού η ίδια κατάσταση ζημιών ανατίθεται στα φέροντα στοιχεία του κτιρίου, σε αντίθεση με τα μη φέροντα στοιχεία, για τα οποία δε ανταποκρίνεται η παραπάνω ανάλυση.

Η ανάλυση αυτή είναι χρήσιμη στην περίπτωση απουσίας επαρκών δεδομένων για το κτίριο, με αποτέλεσμα να εφαρμόζεται μια απλοποιητική προσέγγιση για την εκτίμηση των ζημιών σε γενικό επίπεδο ορόφων. Στη δική μας περίπτωση αυτό δεν ισχύει αφού θα πραγματοποιηθεί αναλυτική εκτίμηση των ζημιών και υπολογισμός του κόστους επισκευής για κάθε ξεχωριστό μέλος του κτιρίου.



Σχήμα 6.19. Διαγραμματικές πιθανότητες ορόφων να ξεπεράσουν ή να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\alpha_{des}$.

6.1.7. Πρόγραμμα ανάλυσης ζημιών και κόστους επισκευής υποστυλωμάτων

Το υποπρόγραμμα ανάλυσης “column.m” (Παράρτημα Δ), διαβάζει τα αρχεία τα οποία εξάγονται από το OpenSEES με τις πλαστικές στροφές στα άκρα των υποστυλωμάτων. Συγκεκριμένα, από την ανάλυση στο OpenSEES, δημιουργούνται τέσσερα αρχεία, τα “colPlasticRot_01_all.out”, “colPlasticRot_02_all.out”, “colPlasticRot_03_all.out” και “colPlasticRot_04_all.out”, με τις πλαστικές στροφές σε όλα τα υποστυλώματα και τοιχώματα για κάθε όροφο ξεχωριστά.

Το αρχείο ανάλυσης μέσα από μια επαναληπτική διαδικασία, διαβάζει αρχικά κάθε ένα από αυτά τα αρχεία και δημιουργεί τον πίνακα “col_plRot_all” με τα δεδομένα που περιέχει το αρχείο αυτό. Σε κάθε αρχείο, στην αρχική στήλη βρίσκεται ο χρόνος για τον οποίο εξάγονται τα

αποτελέσματα, ενώ ακολουθεί ένα πλήθος στηλών, με κάθε 6 στήλες να αντιστοιχούν σε κάθε υποστυλώμα. Βάσει αυτής της λογικής, υπολογίζεται ο αριθμός των υποστυλωμάτων που βρίσκονται σε κάθε όροφο και ο αριθμός αυτός αποθηκεύεται στο διάνυσμα “ncol_all”.

Εξαιρουμένου του χρόνου που παρουσιάζεται στην πρώτη στήλη, η ανάλυση πραγματοποιείται για τις υπόλοιπες στήλες, οι οποίες αναφέρονται στα υποστυλώματα. Για κάθε υποστυλώμα, στην πρώτη στήλη βρίσκεται η πλαστική αξονική παραμόρφωση, στη δεύτερη η πλαστική στροφή γύρω από τον τοπικό άξονα z στο άκρο I (κόμβος αρχής), στην τρίτη η πλαστική στροφή γύρω από τον τοπικό άξονα z στο άκρο J (κόμβος τέλους), στην τέταρτη η πλαστική στροφή γύρω από τον τοπικό άξονα y στο άκρο I, στη πέμπτη η πλαστική στροφή γύρω από τον τοπικό άξονα y στο άκρο J και στην έκτη η πλαστική στρεπτική παραμόρφωση.

Το ενδιαφέρον μας επικεντρώνεται στις πλαστικές στροφές, επομένως η πρώτη και η έκτη στήλη εξαιρούνται. Επιπλέον, λόγω του ότι μας ενδιαφέρει η πλαστική στροφή σε κάθε άκρο, ανεξαρτήτως γύρω από ποιον άξονα στρέφεται αυτή, πρέπει να υπολογιστεί η μέγιστη απόλυτη τιμή από τη δεύτερη και την τέταρτη στήλη, για το άκρο I και η μέγιστη απόλυτη τιμή από την τρίτη και τη πέμπτη στήλη, για το άκρο J. Οι μέγιστες απόλυτες τιμές για το άκρο I αποθηκεύονται στον πίνακα “max_col_plRot_i” και οι μέγιστες απόλυτες τιμές για το άκρο J αποθηκεύονται στον πίνακα “max_col_plRot_j”. Οι πίνακες αυτοί έχουν τόσες γραμμές όσοι είναι οι όροφοι του κτιρίου δηλαδή τέσσερεις και τόσες στήλες όσες ο μέγιστος αριθμός των υποστυλωμάτων σε ένα όροφο.

Για απλοποίηση της διαδικασίας υπολογισμού της ζημιάς που παθαίνει το κάθε μέλος, λαμβάνεται η μέγιστη εκ των μέγιστων πλαστικών στροφών που συμβαίνουν σε καθένα από τα δύο άκρα του. Έτσι κάθε υποστυλώμα, χαρακτηρίζεται από ένα μέτρο απόκρισης EDP βάσει του οποίου θα καθοριστεί το μέγεθος της ζημιάς που έχει πάθει. Αυτές οι τιμές αποθηκεύονται στον πίνακα “maximax_col_plRot” ο οποίος έχει τόσες γραμμές όσες είναι ο αριθμός των ορόφων και στήλες όσες ο μέγιστος αριθμός υποστυλωμάτων σε ένα όροφο.

Επιπλέον το αρχείο ανάλυσης διαβάζει τα αρχεία “Column_1f_List.txt”, “Column_2f_List.txt”, “Column_3f_List.txt” και “Column_4f_List.txt” τα οποία εξάγονται από το τρισδιάστατο μοντέλο του κτιρίου στο ArchiCAD (Graphisoft 2006) με πίνακες οι οποίοι περιέχουν

πληροφορίες για τα υποστυλώματα και για τα οποία έγινε αναφορά στο υποκεφάλαιο 3.5.1 (Παράρτημα Α.1).

Για τα υποστυλώματα, θεωρούμε 4 επίπεδα ζημιάς, για κάθε ένα από τα οποία καθορίζεται η διάμεση τιμή και η λογαριθμική τυπική απόκλιση προκειμένου να δημιουργηθούν οι καμπύλες τρωτότητας βάσει των οποίων θα καθοριστεί η ζημιά που παθαίνει το κάθε υποστυλώμα. Αυτές οι τιμές, θεωρούνται οι ίδιες για όλα τα υποστυλώματα, ανεξαρτήτως διαστάσεων, μορφής και κατασκευαστικών υλικών και έχουν παρουσιαστεί στον Πίνακα 5.1. Η διαφοροποίηση στις παραμέτρους αυτές γίνεται στα τοιχώματα τα οποία είναι πιο ευαίσθητα στις παραμορφώσεις και οι παράμετροι αυτές έχουν παρουσιαστεί στον Πίνακα 5.2. Βάσει των τιμών αυτών, δημιουργούνται για τις τέσσερις στάθμες επιτελεστικότητας, οι καμπύλες τρωτότητας οι οποίες έχουν παρουσιαστεί στα Σχήματα 5.1 και 5.2.

Για κάθε υποστυλώμα, υπολογίζονται αριθμητικά οι τέσσερις πιθανότητες να έχει φτάσει ή να έχει ξεπεράσει κάθε μια από αυτές τις τέσσερις στάθμες. Αφαιρώντας τα διαδοχικά επίπεδα ζημιάς, προκύπτουν οι πέντε πιθανότητες για κάθε υποστυλώμα να βρίσκεται σε κάθε στάθμη ξεχωριστά. Οι πιθανότητες αυτές για όλα τα υποστυλώματα σε όλους τους ορόφους αποθηκεύονται στους πίνακες "p_col_plRot_exc_all" και "p_col_plRot_bng_all". Για έλεγχο, αθροίζοντας τις πέντε αυτές πιθανότητες, για κάθε υποστυλώμα, προκύπτει αποτέλεσμα ίσο με τη μονάδα. Υπολογίζεται η μέγιστη εκ των πέντε πιθανοτήτων, και βάσει αυτής καθορίζεται η ζημιά που παθαίνει το κάθε υποστυλώμα "damage_col" και ανατίθεται σε αυτό το χρώμα ζημιάς του "color_col". Τα αποτελέσματα αυτά εξάγονται ανά όροφο στα αρχεία τύπου "Column_Output_List.txt" και παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.8 έως 6.15, όπου με $G(\tilde{z})$ συμβολίζεται η πιθανότητα το κάθε υποστυλώμα να φτάσει ή να υπερβεί κάθε κατάσταση ζημιάς και με $P(\tilde{z})$ συμβολίζεται η πιθανότητα το κάθε υποστυλώμα να βρίσκεται σε κάθε κατάσταση ζημιάς.

Στη συνέχεια, για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας, καθορίζεται μια διάμεση τιμή και μια λογαριθμική τυπική απόκλιση για το κόστος επισκευής των υποστυλωμάτων, δεδομένης της κατάστασης ζημιάς. Οι παράμετροι αυτές παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 5.6. Όπως έχει προαναφερθεί οι τιμές για κάθε υποστυλώμα, υπολογίζονται αναλογικά με τον όγκο του τυπικού υποστυλώματος για τον οποίο έχουν δοθεί οι τιμές, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οικονομίες

κλίμακας. Βάσει αυτών των παραμέτρων, σχεδιάζονται οι καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους (CCDF) για δεδομένη κατάσταση ζημιάς και έχουν παρουσιαστεί στο Σχήμα 5.6.

Για τον υπολογισμό του κόστους επισκευής, εφαρμόζονται οι δύο μέθοδοι οι οποίες έχουν περιγραφεί αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 2.2.2. Συνοπτικά, στην πρώτη μέθοδο, η πιθανότητα το κόστος επισκευής ενός υποστυλώματος, να φτάνει ή να ξεπερνά μια τιμή, υπολογίζεται ως το άθροισμα των γινομένων της πιθανότητας το υποστυλώμα να βρίσκεται σε μια κατάσταση ζημιάς, δεδομένου του μέτρου απόκρισης $P[DM|EDP]$, επί την πιθανότητα το κόστος να ξεπερνά κάθε τιμή κόστους, δεδομένης της κατάστασης ζημιάς $G[C_i|DM]$. Από το άθροισμα των γινομένων προκύπτει η καμπύλη CCDF για κάθε υποστυλώμα και με αφαίρεση από τη μονάδα και κατόπιν παραγωγή προκύπτει η καμπύλη PDF για κάθε υποστυλώμα. Εφαρμόζοντας τις εξισώσεις 2.27 έως 2.34, υπολογίζεται αριθμητικά το αναμενόμενο κόστος επισκευής κάθε υποστυλώματος ξεχωριστά αλλά και όλων των υποστυλωμάτων του κτιρίου συνολικά όπως και οι διασπορές του κόστους επισκευής αυτών.

Στη δεύτερη μέθοδο, η οποία γίνεται με προσομοίωση Monte Carlo, επιλέγεται το μέγεθος του δείγματος “Ntrials”. Συγκεκριμένα, μετά από πολλές δοκιμές έχει παρατηρηθεί ότι για πλήθος τιμών μεγαλύτερο από 5000, τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση. Ως εκ τούτου, επιλέγεται να πραγματοποιηθεί η ανάλυση για 5000 πιθανά σενάρια ζημιών, κάτι το οποίο παρέχει πλήρη αξιοπιστία τελικών αποτελεσμάτων. Για κάθε μια τιμή από τις 5000 επιλέγεται ένας αριθμός από την ομοιόμορφη κατανομή $[0,1]$, ο οποίος ουσιαστικά αντιστοιχεί στην πιθανότητα υπέρβασης κάθε τιμής κόστους και μέσω γραμμικής παρεμβολής υπολογίζεται η τιμή του κόστους, η οποία δεν ξεπερνιέται με τη συγκεκριμένη πιθανότητα. Αφού επιλεγεί αυτός ο αριθμός προκύπτουν οι 5000 συνδυασμοί πιθανότητας-κόστους, για κάθε υποστυλώμα. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε υποστυλώμα και στο τέλος προκύπτει ένας συνολικός πίνακας όπου κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε κάθε υποστυλώμα και κάθε στήλη σε κάθε δοκιμή (Πίνακας 2.1). Αυτός ο πίνακας ο οποίος ουσιαστικά περιέχει τιμές κόστους, έχει τόσες γραμμές όσες ο αριθμός “Ntrials” και τόσες στήλες όσες ο συνολικός αριθμός υποστυλωμάτων του κτιρίου. Αθροίζοντας κάθε γραμμή προκύπτει το αναμενόμενο κόστος επισκευής των υποστυλωμάτων και κτιρίου και επιπρόσθετα υπολογίζεται η διασπορά αυτού του κόστους. Ουσιαστικά δηλαδή έχουμε ένα δείγμα 5000 τυχαίων τιμών κόστους για κάθε υποστυλώμα ξεχωριστά αλλά και για το συνολικό κόστος των υποστυλωμάτων του κτιρίου. Τα συνολικά

κόστη για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$ παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.48 και 6.49 για την πρώτη και δεύτερη μέθοδο αντίστοιχα.

Τα πλείστα υποστυλώματα σε όλους τους ορόφους δεν έχουν πάθει ζημιές. Εξαίρεση αποτελούν τα τοιχώματα πυρήνα γύρω από τον ανελκυστήρα και το τοίχωμα γύρω από το κλιμακοστάσιο στον πρώτο όροφο όπως επίσης και πέντε άλλα ακραία υποστυλώματα στους τρεις πρώτους ορόφους, τα οποία έχουν πάθει ελαφρές ζημιές. Έχουν δηλαδή ουσιαστικά εμφανιστεί σε αυτά τριχοειδείς ρωγμές, οι οποίες δεν επηρεάζουν την αντοχή τους αλλά απαιτείται στοκάρισμα για να μην είναι εμφανείς.

Για μεγαλύτερους συντελεστές κλιμάκωσης, παρατηρείται εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων στα πλείστα υποστυλώματα σε όλους τους ορόφους, με αποτέλεσμα να έχουν πάθει μέτριες ζημιές, ενώ μικρός αριθμός υποστυλωμάτων έχει πάθει ελαφρές ζημιές. Στην περίπτωση τετραπλάσιου επιπέδου έντασης, στον πρώτο όροφο, το τοίχωμα γύρω από το κλιμακοστάσιο καταστρέφεται ολοκληρωτικά, ενώ τα τοιχώματα πυρήνα γύρω από τον ανελκυστήρα παθαίνουν σοβαρές ζημιές. Αυτές οι ζημιές, επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι δεν έχει γίνει ικανοτικός σχεδιασμός των κόμβων προκειμένου να εξασφαλιστεί επαρκής πλαστιμότητα και να αποτραπεί η εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων στα υποστυλώματα.

Πίνακας 6.8. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 1^{ov} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Column ID	plRotation [%rad]	G(Slight) [%]	G(Moderate) [%]	G(Severe) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
CL001	1.28	0.26	4.7	0.0	0.0	nodamage	white
CL002	1.40	0.30	9.6	0.0	0.0	nodamage	white
CL003	1.64	0.32	12.7	0.0	0.0	nodamage	white
CL004	1.82	0.37	22.3	0.0	0.0	nodamage	white
CL005	2.18	0.42	33.8	0.1	0.0	nodamage	white
CL006	3.13	0.42	90.4	12.9	0.0	slight	green
CL007	1.21	0.25	3.9	0.0	0.0	nodamage	white
CL008	1.44	0.26	55.6	0.7	0.0	slight	green
CL009	1.15	0.21	1.7	0.0	0.0	nodamage	white
CL010	1.28	0.22	1.9	0.0	0.0	nodamage	white
CL011	1.38	0.22	2.1	0.0	0.0	nodamage	white
CL012	1.46	0.25	3.9	0.0	0.0	nodamage	white
CL013	1.72	0.32	12.9	0.0	0.0	nodamage	white
CL014	2.16	0.42	32.1	0.1	0.0	nodamage	white
CL015	1.16	0.21	1.4	0.0	0.0	nodamage	white
CL016	1.14	0.25	3.9	0.0	0.0	nodamage	white
CL017	1.32	0.26	5.2	0.0	0.0	nodamage	white
CL018	1.40	0.24	3.1	0.0	0.0	nodamage	white

CL019	1.76	0.39	26.1	0.0	0.0	nodamage	white
CL020	2.22	0.51	51.9	0.5	0.0	slight	green
CL021	1.17	0.21	1.5	0.0	0.0	nodamage	white
CL022	1.15	0.26	4.7	0.0	0.0	nodamage	white
CL023	1.17	0.25	3.7	0.0	0.0	nodamage	white
CL024	1.24	0.23	2.7	0.0	0.0	nodamage	white

Πίνακας 6.9. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 1^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\lambda}_{des}$.

Column	P(Nodamage)	P(Slight)	P(Moderate)	P(Severe)	P(Collapse)	Expected Cost
ID	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[€]
CL001	95.3	4.7	0.0	0.0	0.0	17.8
CL002	90.4	9.6	0.0	0.0	0.0	11.7
CL003	87.3	12.7	0.0	0.0	0.0	15.5
CL004	77.7	22.3	0.0	0.0	0.0	27.7
CL005	66.2	33.7	0.1	0.0	0.0	42.1
CL006	9.6	77.4	12.9	0.0	0.0	1234.4
CL007	96.1	3.9	0.0	0.0	0.0	9.1
CL008	44.4	54.9	0.7	0.0	0.0	1016.0
CL009	98.3	1.7	0.0	0.0	0.0	2.0
CL010	98.1	1.9	0.0	0.0	0.0	2.3
CL011	97.9	2.1	0.0	0.0	0.0	2.5
CL012	96.1	3.9	0.0	0.0	0.0	4.9
CL013	87.1	12.9	0.0	0.0	0.0	15.8
CL014	67.9	32.0	0.1	0.0	0.0	39.6
CL015	98.6	1.4	0.0	0.0	0.0	1.8
CL016	96.1	3.9	0.0	0.0	0.0	4.8
CL017	94.8	5.2	0.0	0.0	0.0	6.4
CL018	96.9	3.1	0.0	0.0	0.0	3.8
CL019	73.9	26.0	0.0	0.0	0.0	31.9
CL020	48.1	51.4	0.5	0.0	0.0	65.3
CL021	98.5	1.5	0.0	0.0	0.0	1.9
CL022	95.3	4.7	0.0	0.0	0.0	5.6
CL023	96.3	3.7	0.0	0.0	0.0	4.6
CL024	97.3	2.7	0.0	0.0	0.0	3.4

Πίνακας 6.10. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 2^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\lambda}_{des}$.

Column	plRotation	G(Slight)	G(Moderate)	G(Severe)	G(Collapse)	Damage	Color
ID	[%rad]	[%]	[%]	[%]	[%]		
CL101	0.31	11.6	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL102	0.39	25.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL103	0.36	19.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL104	0.45	39.9	0.2	0.0	0.0	nodamage	white
CL105	0.47	43.3	0.2	0.0	0.0	nodamage	white
CL106	0.16	12.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL107	0.31	12.3	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL108	0.07	0.1	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL109	0.25	4.3	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL110	0.31	11.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL111	0.25	4.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL112	0.29	8.3	0.0	0.0	0.0	nodamage	white

CL113	0.42	33.1	0.1	0.0	0.0	nodamage	white
CL114	0.50	49.1	0.4	0.0	0.0	nodamage	white
CL115	0.31	10.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL116	0.29	8.6	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL117	0.39	25.9	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL118	0.32	14.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL119	0.51	52.9	0.6	0.0	0.0	slight	green
CL120	0.56	61.3	1.1	0.0	0.0	slight	green
CL121	0.31	12.2	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL122	0.28	7.4	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL123	0.34	16.4	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL124	0.30	10.6	0.0	0.0	0.0	nodamage	white

Πίνακας 6.11. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 2^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\lambda}_{des}$.

Column	P(Nodamage)	P(Slight)	P(Moderate)	P(Severe)	P(Collapse)	Expected Cost
ID	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	€]
CL101	88.4	11.6	0.0	0.0	0.0	43.3
CL102	74.2	25.8	0.0	0.0	0.0	31.6
CL103	80.2	19.8	0.0	0.0	0.0	24.3
CL104	60.1	39.8	0.2	0.0	0.0	49.3
CL105	56.7	43.0	0.2	0.0	0.0	53.5
CL106	87.2	12.8	0.0	0.0	0.0	135.8
CL107	87.7	12.3	0.0	0.0	0.0	29.1
CL108	99.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.6
CL109	95.7	4.3	0.0	0.0	0.0	5.3
CL110	89.0	11.0	0.0	0.0	0.0	13.5
CL111	96.0	4.0	0.0	0.0	0.0	4.9
CL112	91.7	8.3	0.0	0.0	0.0	10.0
CL113	66.9	33.0	0.1	0.0	0.0	41.0
CL114	50.9	48.7	0.4	0.0	0.0	61.0
CL115	89.2	10.8	0.0	0.0	0.0	13.2
CL116	91.4	8.6	0.0	0.0	0.0	10.5
CL117	74.1	25.9	0.0	0.0	0.0	31.7
CL118	86.0	14.0	0.0	0.0	0.0	17.2
CL119	47.1	52.4	0.6	0.0	0.0	66.9
CL120	38.7	60.2	1.1	0.0	0.0	78.0
CL121	87.8	12.2	0.0	0.0	0.0	14.9
CL122	92.6	7.4	0.0	0.0	0.0	9.2
CL123	83.6	16.4	0.0	0.0	0.0	20.0
CL124	89.4	10.6	0.0	0.0	0.0	13.0

Πίνακας 6.12. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 3^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\lambda}_{des}$.

Column	plRotation	G(Slight)	G(Moderate)	G(Severe)	G(Collapse)	Damage	Color
ID	[%rad]	[%]	[%]	[%]	[%]		
CL201	0.29	8.9	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL202	0.38	24.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL203	0.38	23.6	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL204	0.42	34.2	0.1	0.0	0.0	nodamage	white
CL205	0.43	34.8	0.1	0.0	0.0	nodamage	white
CL206	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white

CL207	0.29	8.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL208	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL209	0.23	2.5	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL210	0.30	10.6	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL211	0.22	1.9	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL212	0.28	7.7	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL213	0.41	31.7	0.1	0.0	0.0	nodamage	white
CL214	0.42	32.7	0.1	0.0	0.0	nodamage	white
CL215	0.31	11.9	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL216	0.28	8.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL217	0.37	21.7	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL218	0.31	11.6	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL219	0.54	58.2	0.9	0.0	0.0	slight	green
CL220	0.52	53.2	0.6	0.0	0.0	slight	green
CL221	0.30	9.7	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL222	0.27	6.4	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL223	0.34	16.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL224	0.29	8.3	0.0	0.0	0.0	nodamage	white

Πίνακας 6.13. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 3^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\lambda}_{des}$

Column	P(Nodamage)	P(Slight)	P(Moderate)	P(Severe)	P(Collapse)	Expected Cost
ID	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	€]
CL201	91.1	8.9	0.0	0.0	0.0	32.7
CL202	76.0	23.9	0.0	0.0	0.0	29.5
CL203	76.4	23.6	0.0	0.0	0.0	29.0
CL204	65.8	34.1	0.1	0.0	0.0	42.0
CL205	65.2	34.7	0.1	0.0	0.0	42.7
CL206	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
CL207	92.0	8.0	0.0	0.0	0.0	19.3
CL208	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
CL209	97.5	2.5	0.0	0.0	0.0	3.2
CL210	89.4	10.6	0.0	0.0	0.0	12.9
CL211	98.1	1.9	0.0	0.0	0.0	2.4
CL212	92.3	7.7	0.0	0.0	0.0	9.4
CL213	68.3	31.6	0.1	0.0	0.0	39.1
CL214	67.3	32.6	0.1	0.0	0.0	40.2
CL215	88.1	11.9	0.0	0.0	0.0	14.6
CL216	92.0	8.0	0.0	0.0	0.0	10.0
CL217	78.3	21.6	0.0	0.0	0.0	26.6
CL218	88.4	11.6	0.0	0.0	0.0	14.1
CL219	41.8	57.4	0.9	0.0	0.0	73.9
CL220	46.8	52.6	0.6	0.0	0.0	66.6
CL221	90.3	9.7	0.0	0.0	0.0	11.9
CL222	93.6	6.4	0.0	0.0	0.0	7.8
CL223	84.0	16.0	0.0	0.0	0.0	19.9
CL224	91.7	8.3	0.0	0.0	0.0	10.0

Πίνακας 6.14. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 4^{ov} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Column ID	plRotation [%rad]	G(Slight) [%]	G(Moderate) [%]	G(Severe) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
CL301	0.35	19.1	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL302	0.37	22.6	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL303	0.37	21.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL304	0.35	18.7	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL305	0.35	18.3	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL306	0.03	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL307	0.29	8.9	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL308	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL309	0.21	1.5	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL310	0.29	8.4	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL311	0.23	2.7	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL312	0.31	11.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL313	0.33	14.4	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL314	0.31	10.9	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL316	0.27	5.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL317	0.34	17.4	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL318	0.30	9.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL319	0.42	32.8	0.1	0.0	0.0	nodamage	white
CL320	0.38	25.2	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL322	0.25	4.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL323	0.31	11.6	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
CL324	0.27	5.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white

Πίνακας 6.15. Πιθανότητες υποστυλωμάτων 4^{ov} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Column ID	P(Nodamage) [%]	P(Slight) [%]	P(Moderate) [%]	P(Severe) [%]	P(Collapse) [%]	Expected Cost [€]
CL301	80.9	19.1	0.0	0.0	0.0	72.4
CL302	77.4	22.6	0.0	0.0	0.0	27.8
CL303	78.2	21.8	0.0	0.0	0.0	27.0
CL304	81.3	18.6	0.0	0.0	0.0	22.9
CL305	81.7	18.3	0.0	0.0	0.0	22.5
CL306	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CL307	91.1	8.8	0.0	0.0	0.0	21.1
CL308	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
CL309	98.5	1.5	0.0	0.0	0.0	1.8
CL310	91.6	8.4	0.0	0.0	0.0	10.5
CL311	97.3	2.7	0.0	0.0	0.0	3.4
CL312	89.0	11.0	0.0	0.0	0.0	13.6
CL313	85.6	14.4	0.0	0.0	0.0	17.8
CL314	89.1	10.9	0.0	0.0	0.0	13.5
CL316	94.2	5.8	0.0	0.0	0.0	7.1
CL317	82.6	17.4	0.0	0.0	0.0	21.2
CL318	90.2	9.8	0.0	0.0	0.0	12.0
CL319	67.2	32.7	0.1	0.0	0.0	40.7
CL320	74.8	25.2	0.0	0.0	0.0	30.9
CL322	96.0	4.0	0.0	0.0	0.0	4.9
CL323	88.4	11.6	0.0	0.0	0.0	14.2
CL324	94.2	5.8	0.0	0.0	0.0	7.0

6.1.8. Πρόγραμμα ανάλυσης ζημιών και κόστους επισκευής δοκών

Το αρχείο ανάλυσης “beam.m” (Παράρτημα Δ), διαβάζει τα αρχεία που εξάγονται από το OpenSEES με τις πλαστικές στροφές στα άκρα των δοκών. Συγκεκριμένα, από την ανάλυση στο OpenSEES, δημιουργούνται τέσσερα αρχεία, τα “beamPlasticRot_01_all.out”, “beamPlasticRot_02_all.out”, “beamPlasticRot_03_all.out” και “beamPlasticRot_04_all.out”, με τις πλαστικές στροφές σε όλες τις δοκούς για κάθε όροφο ξεχωριστά.

Σε αυτό το αρχείο πραγματοποιείται η ίδια ανάλυσης η οποία γίνεται στο αρχείο ανάλυσης των υποστλωμάτων. Συνοπτικά, μέσα από μια επαναληπτική διαδικασία, διαβάζονται τα αρχεία τα οποία εξάγονται από το OpenSEES και δημιουργείται ο πίνακας “beam_plRot_all” με τα δεδομένα που περιέχουν τα αρχεία αυτά. Επιπλέον υπολογίζεται ο αριθμός των δοκών που βρίσκονται σε κάθε όροφο και ο αριθμός αυτός αποθηκεύεται στο διάνυσμα “nbeam_all”.

Υπολογίζονται, οι μέγιστες απόλυτες τιμές πλαστικής στροφής για το άκρο I και το άκρο J και αποθηκεύονται στους πίνακες “max_beam_plRot_i” και “max_beam_plRot_j”, αντίστοιχα. Και σε αυτήν την περίπτωση λαμβάνεται για κάθε δοκό η μέγιστη εκ των μέγιστων πλαστικών στροφών που συμβαίνουν σε καθένα από τα δύο άκρα της, έτσι ώστε κάθε δοκός να χαρακτηρίζεται από μια τιμή απόκρισης βάσει της οποίας θα καθοριστεί το μέγεθος της ζημιάς που έχει πάθει. Αυτές οι τιμές αποθηκεύονται στον πίνακα “maximax_beam_plRot”.

Επιπλέον το αρχείο αυτό διαβάζει τα αρχεία “Beam_1f_List.txt”, “Beam_2f_List.txt”, “Beam_3f_List.txt” και “Beam_4f_List.txt” τα οποία εξάγονται από το τρισδιάστατο μοντέλο του κτιρίου στο ArchiCAD με πίνακες οι οποίοι περιέχουν πληροφορίες για τις δοκούς και για τα οποία έγινε αναφορά στο Κεφάλαιο 3.5.1 (Παράρτημα Α.2).

Καθορίζεται η διάμεση τιμή και η λογαριθμική τυπική απόκλιση για τα 4 επίπεδα ζημιάς προκειμένου να δημιουργηθούν οι καμπύλες τρωτότητας βάσει των οποίων θα καθοριστεί η ζημιά που παθαίνει η κάθε δοκός. Αυτές οι τιμές, θεωρούνται οι ίδιες για όλα τις δοκούς, ανεξαρτήτως διαστάσεων, μορφής και κατασκευαστικών υλικών και έχουν παρουσιαστεί στον Πίνακα 5.1. Βάσει των τιμών αυτών δημιουργούνται για τις τέσσερις στάθμες επιτελεστικότητας, οι καμπύλες τρωτότητας οι οποίες έχουν παρουσιαστεί στο Σχήμα 5.1.

Ακολουθώντας, για κάθε δοκό, υπολογίζονται αριθμητικά οι τέσσερις πιθανότητες να έχει φτάσει ή να έχει ξεπεράσει κάθε μια από αυτές τις τέσσερις στάθμες και οι πέντε πιθανότητες να βρίσκεται σε κάθε στάθμη ξεχωριστά. Αυτές οι πιθανότητες για όλες τις δοκούς σε όλους τους ορόφους αποθηκεύονται στους πίνακες "p_beam_plRot_exc_all" και "p_beam_plRot_bng_all". Υπολογίζεται η μέγιστη εκ των πέντε πιθανοτήτων, και βάσει αυτής καθορίζεται η ζημιά που παθαίνει η κάθε δοκός "damage_beam" και ανατίθεται σε αυτή το χρώμα ζημιάς της "color_beam". Τα αποτελέσματα αυτά εξάγονται ανά όροφο στα αρχεία τύπου "Beam_Output_List.txt" και παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.16 έως 6.23, όπου με $G(\tilde{z})$ συμβολίζεται η πιθανότητα η κάθε δοκός να φτάσει ή να υπερβεί κάθε κατάσταση ζημιάς και με $P(\tilde{z})$ συμβολίζεται η πιθανότητα η κάθε δοκός να βρίσκεται σε κάθε κατάσταση ζημιάς.

Στη συνέχεια, για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας, καθορίζεται μια διάμεση τιμή και μια λογαριθμική τυπική απόκλιση για το κόστος επισκευής των δοκών, δεδομένης της κατάστασης ζημιάς. Οι παράμετροι αυτές παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 5.7. Όπως έχει προαναφερθεί οι τιμές για κάθε δοκό, υπολογίζονται αναλογικά με τον όγκο της τυπικής δοκού για την οποία έχουν δοθεί οι τιμές, χωρίς να λαμβάνονται υπόψην οικονομίες κλίμακας. Βάσει αυτών των παραμέτρων, σχεδιάζονται οι καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους (CCDF) για δεδομένη κατάσταση ζημιάς και έχουν παρουσιαστεί στο Σχήμα 5.7.

Εφαρμόζοντας κάθε μέθοδο υπολογισμού του κόστους επισκευής, υπολογίζεται αριθμητικά το αναμενόμενο κόστος επισκευής κάθε δοκού ξεχωριστά αλλά και όλων των δοκών του κτιρίου συνολικά όπως και οι διασπορές των κοστών αυτών. Τα συνολικά κόστη για συντελεστή κλιμάκωσης $1\tilde{\alpha}_{des}$, παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.48 και 6.49 για την πρώτη και δεύτερη μέθοδο αντίστοιχα.

Παρατηρείται ότι οι δοκοί σε όλους τους ορόφους δεν έχουν πάθει καθόλου ζημιές. Για μεγαλύτερους συντελεστές κλιμάκωσης και συγκεκριμένα για τετραπλάσιο επίπεδο έντασης παρατηρείται ισοζύγιο δοκών χωρίς ζημιές και δοκών με ελαφρές ζημιές, χωρίς ωστόσο σε καμιά περίπτωση να παθαίνουν εκτεταμένες ζημιές.

Πίνακας 6.16. Πιθανότητες δοκών 1^{ov} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Beam ID	plRotation [%rad]	G(Slight) [%]	G(Moderate) [%]	G(Severe) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
BM051	0.36	21.5	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM052	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM053	0.08	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM054	0.44	38.5	0.2	0.0	0.0	nodamage	white
BM055	0.03	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM056	0.28	7.5	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM057	0.11	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM058	0.09	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM059	0.08	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM060	0.33	15.2	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM061	0.14	0.1	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM062	0.47	43.5	0.3	0.0	0.0	nodamage	white
BM063	0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM064	0.21	1.4	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM065	0.09	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM066	0.25	4.2	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM067	0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM068	0.27	6.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM069	0.36	20.4	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM070	0.30	9.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM071	0.35	18.6	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM072	0.14	0.1	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM073	0.10	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM074	0.10	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM075	0.26	4.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM076	0.30	10.6	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM077	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM078	0.04	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM079	0.08	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM080	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM081	0.12	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white

Πίνακας 6.17. Πιθανότητες δοκών 1^{ov} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Beam ID	P(Nodamage) [%]	P(Slight) [%]	P(Moderate) [%]	P(Severe) [%]	P(Collapse) [%]	Expected Cost [€]
BM051	78.5	21.5	0.0	0.0	0.0	91.2
BM052	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM053	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM054	61.5	38.3	0.2	0.0	0.0	178.1
BM055	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM056	92.5	7.5	0.0	0.0	0.0	32.2
BM057	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
BM058	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM059	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM060	84.8	15.2	0.0	0.0	0.0	69.6
BM061	99.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
BM062	56.5	43.2	0.3	0.0	0.0	200.5
BM063	99.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2

BM064	98.6	1.4	0.0	0.0	0.0	5.7
BM065	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM066	95.8	4.2	0.0	0.0	0.0	13.3
BM067	99.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2
BM068	94.0	6.0	0.0	0.0	0.0	29.5
BM069	79.6	20.4	0.0	0.0	0.0	104.0
BM070	90.2	9.8	0.0	0.0	0.0	50.3
BM071	81.4	18.6	0.0	0.0	0.0	94.9
BM072	99.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3
BM073	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
BM074	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM075	95.2	4.8	0.0	0.0	0.0	20.8
BM076	89.4	10.6	0.0	0.0	0.0	45.3
BM077	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM078	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM079	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM080	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM081	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1

Πίνακας 6.18. Πιθανότητες δοκών 2^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\lambda}_{des}$

Beam ID	plRotation [%rad]	G(Slight) [%]	G(Moderate) [%]	G(Severe) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
BM151	0.39	27.6	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM152	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM153	0.10	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM154	0.44	37.3	0.1	0.0	0.0	nodamage	white
BM155	0.04	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM156	0.30	10.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM157	0.16	0.2	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM158	0.13	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM159	0.13	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM160	0.34	17.3	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM161	0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM162	0.46	42.7	0.2	0.0	0.0	nodamage	white
BM163	0.17	0.3	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM164	0.23	2.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM165	0.11	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM166	0.27	6.1	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM167	0.18	0.5	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM168	0.28	6.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM169	0.35	17.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM170	0.31	11.5	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM171	0.36	20.9	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM172	0.17	0.4	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM173	0.12	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM174	0.12	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM175	0.25	3.7	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM176	0.29	8.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM177	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM178	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM179	0.08	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM180	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM181	0.12	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white

Πίνακας 6.19. Πιθανότητες δοκών 2^{ov} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\lambda}_{des}$.

Beam ID	P(Nodamage) [%]	P(Slight) [%]	P(Moderate) [%]	P(Severe) [%]	P(Collapse) [%]	Expected Cost [€]
BM151	72.4	27.6	0.0	0.0	0.0	118.9
BM152	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM153	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM154	62.7	37.1	0.1	0.0	0.0	172.3
BM155	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM156	89.2	10.8	0.0	0.0	0.0	45.4
BM157	99.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.7
BM158	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
BM159	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
BM160	82.7	17.3	0.0	0.0	0.0	51.4
BM161	99.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2
BM162	57.3	42.5	0.2	0.0	0.0	196.7
BM163	99.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.6
BM164	97.2	2.8	0.0	0.0	0.0	11.7
BM165	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM166	93.9	6.1	0.0	0.0	0.0	19.4
BM167	99.5	0.5	0.0	0.0	0.0	1.1
BM168	93.2	6.8	0.0	0.0	0.0	34.4
BM169	82.2	17.8	0.0	0.0	0.0	90.9
BM170	88.5	11.5	0.0	0.0	0.0	58.4
BM171	79.1	20.9	0.0	0.0	0.0	107.2
BM172	99.6	0.4	0.0	0.0	0.0	1.0
BM173	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
BM174	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
BM175	96.3	3.7	0.0	0.0	0.0	15.9
BM176	91.2	8.8	0.0	0.0	0.0	37.7
BM177	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM178	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM179	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM180	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM181	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1

Πίνακας 6.20. Πιθανότητες δοκών 3^{ov} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\lambda}_{des}$.

Beam ID	plRotation [%rad]	G(Slight) [%]	G(Moderate) [%]	G(Severe) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
BM251	0.42	32.6	0.1	0.0	0.0	nodamage	white
BM252	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM253	0.10	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM254	0.47	44.2	0.3	0.0	0.0	nodamage	white
BM255	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM256	0.32	12.5	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM257	0.16	0.2	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM258	0.14	0.1	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM259	0.17	0.3	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM260	0.36	20.6	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM261	0.15	0.1	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM262	0.45	39.1	0.2	0.0	0.0	nodamage	white
BM263	0.17	0.3	0.0	0.0	0.0	nodamage	white

BM264	0.24	3.6	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM265	0.11	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM266	0.23	2.5	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM267	0.17	0.3	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM268	0.26	5.5	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM269	0.34	17.2	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM270	0.28	7.5	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM271	0.28	7.1	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM272	0.17	0.4	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM273	0.12	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM274	0.12	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM275	0.22	1.8	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM276	0.26	5.5	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM277	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM278	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM279	0.08	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM280	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM281	0.13	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white

Πίνακας 6.21. Πιθανότητες δοκών 3^{ov} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\lambda}_{des}$.

Beam ID	P(Nodamage) [%]	P(Slight) [%]	P(Moderate) [%]	P(Severe) [%]	P(Collapse) [%]	Expected Cost [€]
BM251	67.4	32.5	0.1	0.0	0.0	140.9
BM252	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM253	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM254	55.8	43.9	0.3	0.0	0.0	203.9
BM255	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM256	87.5	12.5	0.0	0.0	0.0	53.3
BM257	99.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.5
BM258	99.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
BM259	99.7	0.3	0.0	0.0	0.0	1.0
BM260	79.4	20.5	0.0	0.0	0.0	60.6
BM261	99.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2
BM262	60.9	38.9	0.2	0.0	0.0	180.6
BM263	99.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.5
BM264	96.4	3.6	0.0	0.0	0.0	15.3
BM265	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM266	97.5	2.5	0.0	0.0	0.0	7.9
BM267	99.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.6
BM268	94.5	5.5	0.0	0.0	0.0	28.4
BM269	82.8	17.2	0.0	0.0	0.0	87.8
BM270	92.5	7.5	0.0	0.0	0.0	38.3
BM271	92.9	7.1	0.0	0.0	0.0	36.5
BM272	99.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.9
BM273	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
BM274	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
BM275	98.2	1.8	0.0	0.0	0.0	8.0
BM276	94.5	5.5	0.0	0.0	0.0	23.7
BM277	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM278	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM279	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
BM280	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM281	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2

Πίνακας 6.22. Πιθανότητες δοκών 4^{ov} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Beam ID	plRotation [%rad]	G(Slight) [%]	G(Moderate) [%]	G(Severe) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
BM351	0.26	5.1	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM352	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM353	0.10	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM354	0.30	10.3	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM355	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM356	0.19	0.7	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM357	0.13	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM358	0.11	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM359	0.14	0.1	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM360	0.21	1.7	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM362	0.27	6.7	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM364	0.18	0.5	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM365	0.10	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM366	0.18	0.6	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM367	0.09	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM368	0.19	0.7	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM369	0.20	1.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM370	0.19	0.7	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM371	0.16	0.2	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM372	0.10	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM373	0.07	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM374	0.07	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM375	0.07	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM376	0.10	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM378	0.07	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM379	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM380	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white
BM381	0.11	0.0	0.0	0.0	0.0	nodamage	white

Πίνακας 6.23. Πιθανότητες δοκών 4^{ov} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Beam ID	P(Nodamage) [%]	P(Slight) [%]	P(Moderate) [%]	P(Severe) [%]	P(Collapse) [%]	Expected Cost [€]
BM351	94.9	5.1	0.0	0.0	0.0	21.4
BM352	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM353	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM354	89.7	10.3	0.0	0.0	0.0	47.8
BM355	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM356	99.3	0.7	0.0	0.0	0.0	2.7
BM357	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
BM358	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM359	99.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2
BM360	98.3	1.7	0.0	0.0	0.0	4.9
BM362	93.3	6.7	0.0	0.0	0.0	30.8
BM364	99.5	0.5	0.0	0.0	0.0	2.1
BM365	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM366	99.4	0.6	0.0	0.0	0.0	2.0
BM367	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM368	99.3	0.7	0.0	0.0	0.0	3.8

BM369	99.0	1.0	0.0	0.0	0.0	5.2
BM370	99.3	0.7	0.0	0.0	0.0	3.5
BM371	99.8	0.2	0.0	0.0	0.0	1.1
BM372	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM373	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM374	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM375	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM376	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM378	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM379	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM380	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM381	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM351	94.9	5.1	0.0	0.0	0.0	21.4
BM352	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BM353	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

6.1.9. Πρόγραμμα ανάλυσης ζημιών και κόστους επισκευής τοιχοπληρώσεων

Στο αρχείο ανάλυσης “wall.m” (Παράρτημα Δ), εισάγονται τα αρχεία που εξάγονται από το OpenSEES με τις οριζόντιες μετακινήσεις στη x και y διεύθυνση και τη στροφή γύρω από τον κατακόρυφο άξονα z, των κόμβων οι οποίοι βρίσκονται στο κέντρο βάρους της πλάκας του κάθε ορόφου και τις αποθηκεύει ως διανύσματα στις μεταβλητές “dispx”, “dispy” και “rotz”. Οι πίνακες “dispx_all”, “dispy_all” και “rotz_all”, περιλαμβάνουν τις μετατοπίσεις των κόμβων όλων των ορόφων, με κάθε στήλη να αντιστοιχεί σε κάθε όροφο. Επιπλέον το αρχείο αυτό διαβάζει τα αρχεία “Wall_1f_List.txt”, “Wall_2f_List.txt”, “Wall_3f_List.txt” και “Wall_4f_List.txt” τα οποία εξάγονται από το τρισδιάστατο μοντέλο του κτιρίου στο ArchiCAD με πίνακες οι οποίοι περιέχουν πληροφορίες για τις τοιχοπληρώσεις και για τα οποία έγινε αναφορά στο υποκεφάλαιο 3.5.2 (Παράρτημα Α.3).

Μέσω των μεταβλητών “x_{CMwall}” και “y_{CMwall}” καθορίζεται η θέση των κόμβων οι οποίοι αποτελούν το κέντρο βάρους κάθε τοίχου σε σχέση με ένα σταθερό κόμβο του κτιρίου σε κάθε όροφο. Μέσω των μεταβλητών “x_{CPslab}” και “y_{CPslab}” καθορίζονται οι συντεταγμένες των κεντρικών κόμβων, δηλαδή των κόμβων οι οποίοι αποτελούν τα κέντρα βάρους των ορόφων και για τους οποίους εξάγονται οι μετακινήσεις από το OpenSEES. Οι κεντρικοί αυτοί κόμβοι παραμένουν οι ίδιοι καθ’ ύψος των ορόφων, δηλαδή ουσιαστικά σε κάτοψη συμπίπτουν. Επιπλέον υπολογίζεται ο αριθμός των τοίχων που βρίσκονται σε κάθε όροφο και ο αριθμός αυτός αποθηκεύεται στο διάνυσμα “nwall_all”.

Σε πρώτο στάδιο υπολογίζεται η οριζόντια “dx”, η κάθετη “dy” και η διαγώνια “d” απόσταση του κέντρου βάρους κάθε τοίχου από τον κόμβο ο οποίος αποτελεί το κέντρο βάρους του ορόφου στον οποίο ανήκει ο τοίχος, βάσει των εξισώσεων 6.1 έως 6.3. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι μετακινήσεις των κόμβων του κέντρου βάρους κάθε τοίχου στο κάτω “ δ_{under} ” και στο άνω “ δ_{above} ” άκρο του λόγω στροφής “zrot” των κόμβων κέντρου βάρους των ορόφων στους οποίους ανήκουν τα άκρα αυτά, βάσει των εξισώσεων 6.4 και 6.5 αντίστοιχα (όπου i το επίπεδο στο οποίο έχει τη βάση του ο τοίχος π.χ. ένας τοίχος στον πρώτο όροφο έχει $i = 0$). Οι μετακινήσεις αυτές υπολογίζονται για κάθε χρονικό στάδιο “t” της ανάλυσης και αποθηκεύονται σε διανύσματα.

$$dx = x_{\text{CPlab}} - x_{\text{CMwall}} \quad (6.1)$$

$$dy = y_{\text{CPlab}} - y_{\text{CMwall}} \quad (6.2)$$

$$d = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} \quad (6.3)$$

$$\delta_{\text{under}}^t = -2 \cdot d \cdot \sin\left(\frac{z_{\text{rot}i}^t}{2}\right), \quad i = 0,1,2,3 \quad (6.4)$$

$$\delta_{\text{above}}^t = -2 \cdot d \cdot \sin\left(\frac{z_{\text{rot}i+1}^t}{2}\right), \quad i = 0,1,2,3 \quad (6.5)$$

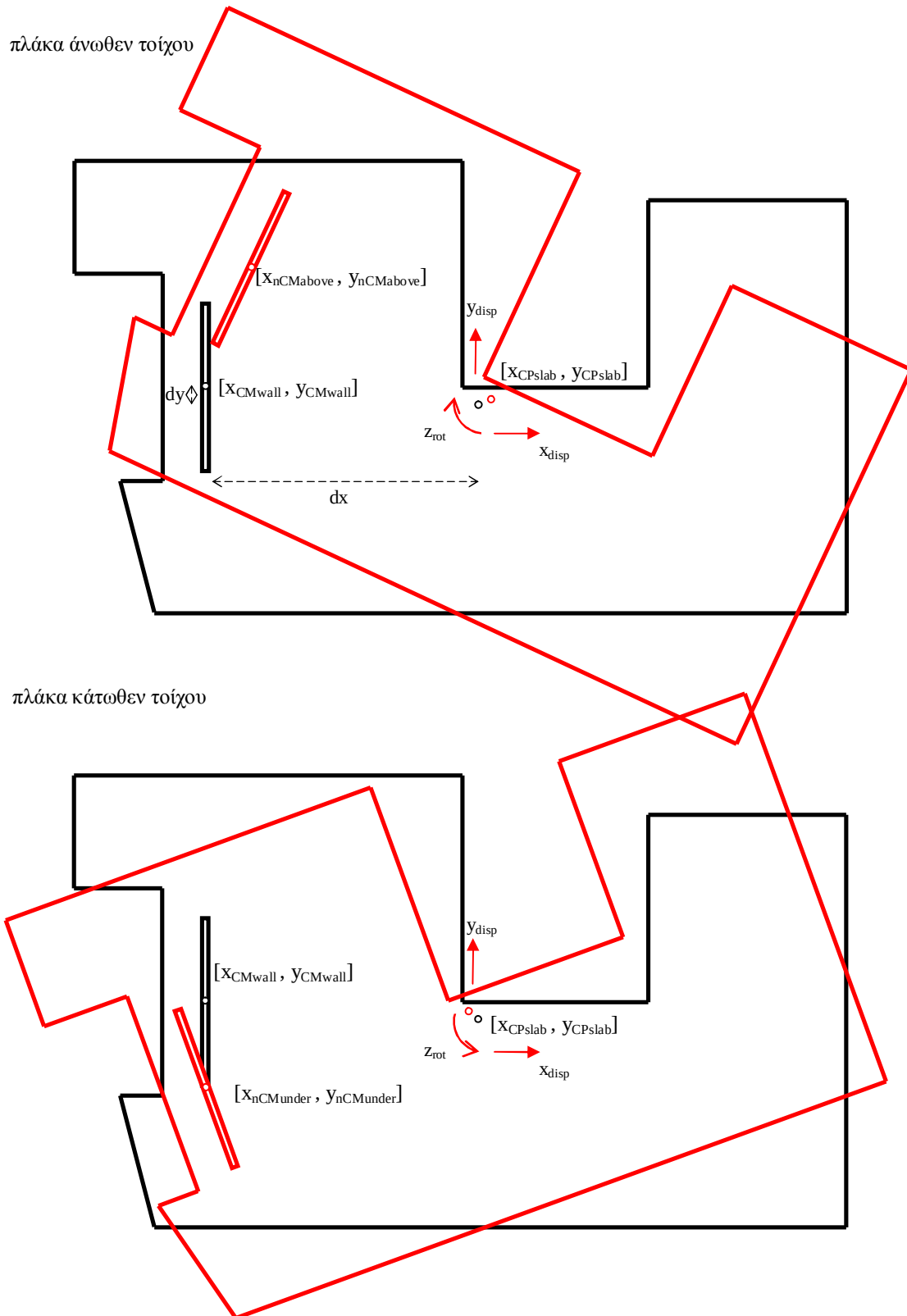
$$\varphi = \left| \arcsin\left(\frac{d_y}{d}\right) \right| \quad (6.6)$$

$$x_{\text{nCMunder}}^t = \delta_{\text{under}}^t \cdot \cos\left(\frac{\pi + z_{\text{rot}i}^t}{2} - \varphi\right) + x_{\text{disp}i}^t + x_{\text{CMwall}} \quad i = 0,1,2,3 \quad (6.7)$$

$$y_{\text{nCMunder}}^t = \delta_{\text{under}}^t \cdot \cos\left(\frac{\pi + z_{\text{rot}i}^t}{2} - \varphi\right) + y_{\text{disp}i}^t + y_{\text{CMwall}} \quad i = 0,1,2,3 \quad (6.8)$$

$$x_{\text{nCMabove}}^t = \delta_{\text{above}}^t \cdot \cos\left(\frac{\pi + z_{\text{rot}i+1}^t}{2} - \varphi\right) + x_{\text{disp}i+1}^t + x_{\text{CMwall}} \quad i = 0,1,2,3 \quad (6.9)$$

$$y_{\text{nCMabove}}^t = \delta_{\text{above}}^t \cdot \cos\left(\frac{\pi + z_{\text{rot}i+1}^t}{2} - \varphi\right) + y_{\text{disp}i+1}^t + y_{\text{CMwall}} \quad i = 0,1,2,3 \quad (6.10)$$



Σχήμα 6.20. Σκαρίφημα απόκρισης πλακών για υπολογισμό ανηγμένης σχετικής μετατόπισης τοίχων

Στη συνέχεια, υπολογίζονται βάσει της εξίσωσης 6.6, οι αριστερόστροφες γωνίες “φ” τις οποίες σχηματίζουν με τον καθολικό άξονα x, οι ευθείες που ενώνουν τους κόμβους του κέντρου βάρους κάθε τοίχου, με τους κόμβους κέντρου βάρους των ορόφων στους οποίους ανήκουν. Βάσει αυτών των γωνιών, και των μετατοπίσεων των κεντρικών κόμβων “ x_{disp} ”, “ y_{disp} ” και “ z_{rot} ”, υπολογίζονται οι νέες συντεταγμένες του κέντρου βάρους κάθε τοίχου στο κάτω [“ $x_{nCMunder}$ ”, “ $y_{nCMunder}$ ”] και στο άνω [“ $x_{nCMabove}$ ”, “ $y_{nCMabove}$ ”] άκρο του, όπως παρουσιάζονται στις εξισώσεις 6.7 έως 6.10. Οι νέες συντεταγμένες υπολογίζονται για κάθε χρονικό στάδιο “t” της ανάλυσης και αποθηκεύονται σε διανύσματα, προκειμένου να υπολογιστεί η μέγιστη απόσταση που απέχουν οι κόμβοι των άκρων κάθε τοίχου σε κάτοψη την ίδια χρονική στιγμή. Για καλύτερη κατανόηση, παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.20, σκαρίφημα με τις κύριες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ανηγμένων σχετικών μετατοπίσεων των τοίχων.

Αφαιρώντας τις νέες συντεταγμένες του άνω και κάτω άκρου κάθε τοίχου μεταξύ τους για κάθε χρονικό στάδιο της ανάλυσης υπολογίζονται οι σχετικές μετακινήσεις κάθε τοίχου στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, x και y. Διαιρώντας τη μέγιστη εν χρόνω σχετική μετακίνηση κάθε τοίχου στη διεύθυνση την οποία έχει το μέγας του μήκος (in-plane), με το ύψος του “h”, υπολογίζεται η ανηγμένη σχετική μετακίνηση κάθε τοίχου “WDR” (Wall Drift Ratio). Οι υπολογισμοί αυτοί συνοψίζονται στις εξισώσεις 6.11 και 6.12, αναλόγως της παράλληλης διεύθυνσης του κάθε τοίχου στη x ή y διεύθυνση αντίστοιχα. Στην περίπτωση όπου το κέντρο βάρους του τοίχου συμπίπτει με τον κόμβο που αποτελεί το κέντρο βάρους του ορόφου, δηλαδή $x_{CMwall} = x_{CPslab}$ και $y_{CMwall} = y_{CPslab}$, οι πιο πάνω εξισώσεις απλοποιούνται αφού $d=0$ και η εξίσωση 6.6 παραλείπεται.

$$WDR_x = \frac{\max_t |x_{nCMabove}^t - x_{nCMunder}^t|}{h} \quad (6.11)$$

$$WDR_y = \frac{\max_t |y_{nCMabove}^t - y_{nCMunder}^t|}{h} \quad (6.12)$$

Καθορίζεται η διάμεση τιμή και η λογαριθμική τυπική απόκλιση για τα 4 επίπεδα ζημιάς προκειμένου να δημιουργηθούν οι καμπύλες τρωτότητας βάσει των οποίων θα καθοριστεί η ζημιά που παθαίνει η κάθε τοιχοπλήρωση. Αυτές οι τιμές, θεωρούνται οι ίδιες για όλες τις τοιχοπληρώσεις, ανεξαρτήτως διαστάσεων ή εάν είναι δρομικές ή μπατικές και έχουν

παρουσιαστεί στον Πίνακα 5.3. Βάσει των τιμών αυτών δημιουργούνται για τις τέσσερις στάθμες επιτελεστικότητας, οι καμπύλες τρωτότητας όπως έχουν παρουσιαστεί στο Σχήμα 5.3.

Ακολούθως, για κάθε τοιχοπλήρωση, υπολογίζονται αριθμητικά οι τέσσερις πιθανότητες να έχει φτάσει ή να έχει ξεπεράσει κάθε μια από αυτές τις τέσσερις στάθμες και οι πέντε πιθανότητες να βρίσκεται σε κάθε στάθμη ξεχωριστά. Αυτές οι πιθανότητες για όλες τις τοιχοπληρώσεις σε όλους τους ορόφους αποθηκεύονται στους πίνακες "p_WDR_exc_all" και "p_WDR_bng_all". Υπολογίζεται η μέγιστη εκ των πέντε πιθανοτήτων, και βάσει αυτής καθορίζεται η ζημιά που παθαίνει η κάθε τοιχοπλήρωση "damage_wall" και ανατίθεται σε αυτή το χρώμα ζημιάς της "color_wall". Τα αποτελέσματα αυτά εξάγονται ανά όροφο στα αρχεία τύπου "Wall_Output_List.txt" και παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.24 έως 6.31, όπου με $G(\tilde{z})$ συμβολίζεται η πιθανότητα η κάθε τοιχοπλήρωση να φτάσει ή να υπερβεί κάθε κατάσταση ζημιάς και με $P(\tilde{z})$ συμβολίζεται η πιθανότητα η κάθε τοιχοπλήρωση να βρίσκεται σε κάθε κατάσταση ζημιάς.

Στη συνέχεια, για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας, καθορίζεται μια διάμεση τιμή και μια λογαριθμική τυπική απόκλιση για το κόστος επισκευής των τοιχοπληρώσεων, δεδομένης της κατάστασης ζημιάς. Οι παράμετροι αυτές διαφοροποιούνται για τις δρομικές και μπατικές τοιχοπληρώσεις και παρουσιάστηκαν στους Πίνακες 5.8 και 5.9. Όπως έχει προαναφερθεί, οι τιμές για κάθε τοιχοπλήρωση υπολογίζονται αναλόγως της επιφάνειας κάθε τοιχοπλήρωσης, χωρίς να λαμβάνονται υπόψην οικονομίες κλίμακας. Βάσει αυτών των παραμέτρων, σχεδιάζονται οι καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους (CCDF) για δεδομένη κατάσταση ζημιάς και έχουν παρουσιαστεί στα Σχήματα 5.8 και 5.9.

Εφαρμόζοντας κάθε μέθοδο υπολογισμού του κόστους επισκευής, υπολογίζεται αριθμητικά το αναμενόμενο κόστος επισκευής κάθε τοιχοπλήρωσης ξεχωριστά αλλά και όλων των τοιχοπληρώσεων του κτιρίου συνολικά όπως και οι διασπορές τους. Τα συνολικά κόστη για συντελεστή κλιμάκωσης $1\tilde{z}_{des}$, παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.48 και 6.49 για την πρώτη και δεύτερη μέθοδο αντίστοιχα.

Στον πρώτο όροφο, ο οποίος αποτελεί ουσιαστικά κατά το ήμισυ της έκτασης του πυλωτή, οι τοιχοπληρώσεις με μέτριες ζημιές υπερτερούν ελαφρώς σε αριθμό των τοιχοπληρώσεων με

σοβαρές ζημιές. Στην περίπτωση των τοίχων οι οποίοι έχουν υποστεί μέτριες ζημιές, έχουν παρουσιαστεί ρωγμές και αποκόλληση επιχρισμάτων, κάτι που τις καθιστά επισκευάσιμες. Οι απαιτούμενες ενέργειες για την επισκευή τους περιορίζονται στην αφαίρεση των επιχρισμάτων γύρω από την περιοχή των απωλειών, την αντικατάστασή τους και το βάψιμο του τοίχου. Στην περίπτωση των τοιχοπληρώσεων με σοβαρές ζημιές, αυτές έχουν πάθει εκτεταμένες ζημιές όπως για παράδειγμα μερική αποκόλληση από την οροφή (ή το κάτω μέρος της δοκού) χωρίς κατάρρευση, εκτεταμένες αποκολλήσεις και πτώση επιχρισμάτων. Στην περίπτωση αυτή προτείνεται η πλήρης αντικατάσταση των κατεστραμμένων τμημάτων των τοίχων, καθώς η επισκευή τους κρίνεται αντισυμβατική.

Στους τρεις υπερκείμενους ορόφους, όλοι οι τοίχοι έχουν παρουσιάσει βαριές βλάβες, ολική αποκόλληση από την οροφή (ή το κάτω μέρος της δοκού) και πτώση. Επίσης υπάρχει συνολική απώλεια επιχρισμάτων και τούβλων. Οι τοιχοπληρώσεις ουσιαστικά έχουν πάθει ολοκληρωτική καταστροφή και η αντικατάστασή τους είναι απαραίτητη.

Πίνακας 6.24. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 1^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Wall ID	WDR [%]	G(Slight) [%]	G(Moderate) [%]	G(Severe) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
WL001	0.31	86.5	54.2	20.1	2.9	moderate	yellow
WL002	0.26	73.0	32.3	6.8	0.4	slight	green
WL003	0.31	86.7	54.6	20.5	3.0	moderate	yellow
WL004	0.31	86.3	53.6	19.7	2.8	moderate	yellow
WL005	0.39	95.3	77.5	46.9	16.2	severe	red
WL006	0.39	95.3	77.5	46.9	16.2	severe	red
WL007	0.32	87.7	56.6	22.2	3.5	moderate	yellow
WL008	0.31	85.9	52.9	19.1	2.6	moderate	yellow
WL009	0.31	86.3	53.6	19.7	2.8	moderate	yellow
WL010	0.31	86.3	53.6	19.7	2.8	moderate	yellow
WL011	0.39	95.2	77.1	46.4	15.8	moderate	yellow
WL012	0.39	95.5	78.2	48.0	17.0	severe	red
WL013	0.32	87.2	55.6	21.3	3.2	moderate	yellow
WL014	0.38	94.8	75.7	44.2	14.3	moderate	yellow
WL015	0.40	95.6	78.7	48.7	17.6	severe	red
WL016	0.38	94.8	75.7	44.2	14.3	moderate	yellow
WL017	0.39	95.2	77.1	46.3	15.8	moderate	yellow
WL018	0.40	95.8	79.2	49.7	18.3	severe	red
WL019	0.32	87.9	57.1	22.6	3.6	moderate	yellow
WL020	0.38	94.6	75.0	43.2	13.6	moderate	yellow
WL021	0.40	95.9	79.8	50.6	19.1	severe	red
WL022	0.40	95.9	79.8	50.6	19.1	severe	red
WL023	0.39	95.2	77.1	46.3	15.8	moderate	yellow
WL024	0.40	95.9	79.8	50.6	19.1	severe	red
WL025	0.40	95.6	78.7	48.7	17.6	severe	red

WL026	0.40	95.6	78.7	48.7	17.6	severe	red
WL027	0.40	95.6	78.7	48.7	17.6	severe	red
WL029	0.39	95.3	77.5	46.9	16.2	severe	red
WL030	0.40	95.8	79.2	49.7	18.3	severe	red
WL031	0.31	87.1	55.3	21.1	3.2	moderate	yellow
WL032	0.31	87.1	55.4	21.1	3.2	moderate	yellow
WL033	0.31	86.7	54.5	20.4	3.0	moderate	yellow
WL034	0.32	87.3	55.8	21.5	3.3	moderate	yellow
WL063	0.39	95.3	77.5	46.9	16.2	severe	red

Πίνακας 6.25. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 1^{ov} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\lambda}_{des}$

Wall ID	P(Nodamage) [%]	P(Slight) [%]	P(Moderate) [%]	P(Severe) [%]	P(Collapse) [%]	Expected Cost [€]
WL001	13.5	32.4	34.0	17.2	2.9	573.0
WL002	27.0	40.7	25.6	6.4	0.4	73.5
WL003	13.3	32.2	34.1	17.5	3.0	192.3
WL004	13.7	32.7	33.9	16.9	2.8	166.7
WL005	4.7	17.8	30.6	30.7	16.2	386.1
WL006	4.7	17.8	30.6	30.7	16.2	93.3
WL007	12.3	31.1	34.4	18.7	3.5	307.2
WL008	14.1	33.0	33.8	16.5	2.6	260.0
WL009	13.7	32.7	33.9	16.9	2.8	227.7
WL010	13.7	32.7	33.9	16.9	2.8	181.5
WL011	4.8	18.1	30.8	30.5	15.8	238.5
WL012	4.5	17.3	30.2	31.0	17.0	129.7
WL013	12.8	31.6	34.3	18.1	3.2	476.5
WL014	5.2	19.1	31.5	29.9	14.3	212.0
WL015	4.4	17.0	29.9	31.1	17.6	657.2
WL016	5.2	19.1	31.5	29.9	14.3	361.0
WL017	4.8	18.1	30.8	30.5	15.8	271.4
WL018	4.2	16.5	29.6	31.3	18.3	263.0
WL019	12.1	30.8	34.4	19.0	3.6	456.0
WL020	5.4	19.5	31.8	29.6	13.6	367.6
WL021	4.1	16.1	29.2	31.5	19.1	265.4
WL022	4.1	16.1	29.2	31.5	19.1	644.0
WL023	4.8	18.1	30.8	30.5	15.8	287.2
WL024	4.1	16.1	29.2	31.5	19.1	362.2
WL025	4.4	17.0	29.9	31.1	17.6	393.6
WL026	4.4	17.0	29.9	31.1	17.6	190.3
WL027	4.4	17.0	29.9	31.1	17.6	350.7
WL029	4.7	17.8	30.6	30.7	16.2	287.1
WL030	4.2	16.5	29.6	31.3	18.3	765.8
WL031	12.9	31.8	34.2	17.9	3.2	199.4
WL032	12.9	31.8	34.2	18.0	3.2	43.3
WL033	13.3	32.2	34.1	17.5	3.0	137.4
WL034	12.7	31.5	34.3	18.2	3.3	49.6
WL063	4.7	17.8	30.6	30.7	16.2	0.0

Πίνακας 6.26. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 2^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης 1 α_{des} .

Wall ID	WDR [%]	G(Slight) [%]	G(Moderate) [%]	G(Severe) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
WL101	0.60	99.7	97.6	91.2	76.9	collapse	black
WL102	0.60	99.7	97.6	91.2	76.9	collapse	black
WL103	0.55	99.4	96.0	86.0	65.6	collapse	black
WL104	0.60	99.7	97.6	91.2	76.9	collapse	black
WL105	0.48	98.6	91.1	73.0	43.7	collapse	black
WL106	0.63	99.8	98.3	93.3	81.9	collapse	black
WL107	0.50	98.9	93.0	77.8	51.1	collapse	black
WL108	0.50	98.9	93.0	77.8	51.1	collapse	black
WL109	0.60	99.7	97.6	91.2	76.9	collapse	black
WL110	0.63	99.8	98.3	93.3	81.9	collapse	black
WL111	0.50	99.0	93.1	77.9	51.1	collapse	black
WL112	0.50	99.0	93.1	78.0	51.4	collapse	black
WL113	0.63	99.8	98.3	93.6	82.4	collapse	black
WL114	0.48	98.6	91.1	73.0	43.7	collapse	black
WL115	0.48	98.6	91.1	73.0	43.7	collapse	black
WL116	0.48	98.6	91.1	72.9	43.7	collapse	black
WL117	0.63	99.8	98.3	93.3	81.9	collapse	black
WL118	0.50	99.0	93.1	78.0	51.3	collapse	black
WL119	0.48	98.6	91.1	72.9	43.7	collapse	black
WL120	0.60	99.7	97.6	91.2	76.8	collapse	black
WL121	0.50	99.0	93.1	78.0	51.3	collapse	black
WL122	0.48	98.6	91.1	72.9	43.7	collapse	black
WL123	0.63	99.8	98.3	93.6	82.4	collapse	black
WL124	0.60	99.7	97.6	91.2	76.8	collapse	black
WL125	0.63	99.8	98.4	93.7	82.8	collapse	black
WL126	0.48	98.6	91.1	72.9	43.7	collapse	black
WL127	0.48	98.6	91.1	72.9	43.7	collapse	black
WL128	0.48	98.6	91.1	72.9	43.7	collapse	black
WL129	0.51	99.0	93.2	78.2	51.7	collapse	black
WL130	0.63	99.8	98.4	93.7	82.8	collapse	black
WL131	0.60	99.7	97.6	91.2	76.9	collapse	black
WL132	0.51	99.0	93.3	78.5	52.1	collapse	black
WL133	0.60	99.7	97.6	91.2	76.8	collapse	black
WL134	0.63	99.8	98.4	93.8	82.9	collapse	black
WL135	0.60	99.7	97.6	91.2	76.8	collapse	black
WL136	0.48	98.6	91.1	73.0	43.7	collapse	black
WL137	0.51	99.0	93.4	78.9	52.8	collapse	black
WL138	0.48	98.6	91.1	73.0	43.7	collapse	black
WL139	0.48	98.6	91.1	73.0	43.7	collapse	black
WL140	0.51	99.0	93.4	78.9	52.8	collapse	black
WL141	0.60	99.7	97.6	91.2	76.9	collapse	black
WL142	0.60	99.7	97.6	91.2	76.8	collapse	black
WL143	0.64	99.8	98.4	93.9	83.3	collapse	black
WL144	0.48	98.6	91.1	73.0	43.7	collapse	black
WL145	0.51	99.0	93.5	79.2	53.3	collapse	black
WL146	0.48	98.6	91.1	73.0	43.7	collapse	black
WL147	0.51	99.0	93.6	79.2	53.4	collapse	black
WL148	0.51	99.1	93.6	79.3	53.5	collapse	black
WL149	0.48	98.6	91.1	72.9	43.7	collapse	black
WL150	0.64	99.8	98.5	94.2	84.0	collapse	black
WL151	0.48	98.6	91.1	73.0	43.7	collapse	black
WL152	0.48	98.6	91.1	73.0	43.7	collapse	black

WL153	0.51	99.0	93.5	79.0	53.0	collapse	black
WL154	0.51	99.0	93.5	79.2	53.3	collapse	black
WL155	0.48	98.6	91.1	73.0	43.7	collapse	black
WL156	0.64	99.8	98.5	94.2	84.0	collapse	black
WL157	0.60	99.7	97.6	91.2	76.9	collapse	black
WL159	0.48	98.6	91.1	73.0	43.7	collapse	black
WL160	0.51	99.0	93.3	78.5	52.1	collapse	black
WL161	0.51	99.0	93.2	78.2	51.7	collapse	black
WL162	0.48	98.6	91.1	73.0	43.7	collapse	black
WL163	0.60	99.7	97.6	91.2	76.9	collapse	black

Πίνακας 6.27. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 2^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\alpha_{des}$.

Wall	P(Nodamage)	P(Slight)	P(Moderate)	P(Severe)	P(Collapse)	Expected Cost
ID	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	€]
WL101	0.3	2.1	6.4	14.4	76.9	313.8
WL102	0.3	2.1	6.4	14.4	76.9	183.5
WL103	0.6	3.5	10.0	20.3	65.6	429.5
WL104	0.3	2.1	6.4	14.4	76.9	113.0
WL105	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	467.3
WL106	0.2	1.5	4.9	11.5	81.9	374.6
WL107	1.1	5.9	15.2	26.7	51.1	141.7
WL108	1.1	5.9	15.2	26.7	51.1	144.8
WL109	0.3	2.1	6.4	14.4	76.9	922.7
WL110	0.2	1.5	4.9	11.5	81.9	500.6
WL111	1.0	5.9	15.2	26.7	51.1	532.4
WL112	1.0	5.8	15.1	26.6	51.4	415.8
WL113	0.2	1.5	4.7	11.1	82.4	198.1
WL114	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	379.4
WL115	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	63.7
WL116	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	816.1
WL117	0.2	1.5	4.9	11.5	81.9	347.0
WL118	1.0	5.9	15.1	26.7	51.3	167.6
WL119	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	214.5
WL120	0.3	2.1	6.4	14.4	76.8	810.3
WL121	1.0	5.9	15.1	26.7	51.3	166.1
WL122	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	199.4
WL123	0.2	1.5	4.7	11.1	82.4	556.0
WL124	0.3	2.1	6.4	14.4	76.8	443.0
WL125	0.2	1.4	4.6	10.9	82.8	478.5
WL126	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	457.8
WL127	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	142.9
WL128	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	141.5
WL129	1.0	5.8	15.0	26.5	51.7	644.4
WL130	0.2	1.4	4.6	10.9	82.8	404.6
WL131	0.3	2.1	6.4	14.4	76.9	391.0
WL132	1.0	5.7	14.8	26.4	52.1	172.3
WL133	0.3	2.1	6.4	14.4	76.8	211.2
WL134	0.2	1.4	4.6	10.8	82.9	1147.7
WL135	0.3	2.1	6.4	14.4	76.8	466.9
WL136	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	440.7
WL137	1.0	5.6	14.6	26.1	52.8	254.3
WL138	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	94.5
WL139	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	111.1
WL140	1.0	5.6	14.6	26.1	52.8	488.4
WL141	0.3	2.1	6.4	14.4	76.9	507.6

WL142	0.3	2.1	6.4	14.4	76.8	763.0
WL143	0.2	1.4	4.5	10.6	83.3	893.4
WL144	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	379.4
WL145	1.0	5.5	14.4	25.9	53.3	420.5
WL146	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	331.2
WL147	1.0	5.5	14.3	25.8	53.4	1070.9
WL148	0.9	5.4	14.3	25.8	53.5	152.9
WL149	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	398.1
WL150	0.2	1.3	4.3	10.2	84.0	944.1
WL151	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	490.9
WL152	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	300.8
WL153	1.0	5.5	14.5	26.0	53.0	323.8
WL154	1.0	5.5	14.4	25.9	53.3	306.0
WL155	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	904.3
WL156	0.2	1.3	4.3	10.2	84.0	1174.9
WL157	0.3	2.1	6.4	14.4	76.9	352.5
WL159	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	437.1
WL160	1.0	5.7	14.8	26.3	52.1	97.0
WL161	1.0	5.8	15.0	26.5	51.7	310.4
WL162	1.4	7.5	18.1	29.3	43.7	102.2
WL163	0.3	2.1	6.4	14.4	76.9	0.0

Πίνακας 6.28. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 3^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης 1 λ_{des} .

Wall ID	WDR [%]	G(Slight) [%]	G(Moderate) [%]	G(Severe) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
WL201	0.71	99.9	99.3	97.1	91.6	collapse	black
WL202	0.71	99.9	99.3	97.1	91.6	collapse	black
WL203	0.57	99.6	96.8	88.7	71.1	collapse	black
WL204	0.71	99.9	99.3	97.1	91.6	collapse	black
WL205	0.56	99.5	96.4	87.4	68.6	collapse	black
WL206	0.65	99.8	98.6	94.7	85.3	collapse	black
WL207	0.52	99.2	94.3	81.1	56.5	collapse	black
WL208	0.52	99.2	94.3	81.1	56.5	collapse	black
WL209	0.71	99.9	99.3	97.1	91.5	collapse	black
WL210	0.65	99.8	98.6	94.7	85.3	collapse	black
WL211	0.52	99.2	94.3	81.1	56.5	collapse	black
WL212	0.52	99.2	94.3	81.2	56.7	collapse	black
WL213	0.65	99.8	98.7	94.9	85.7	collapse	black
WL214	0.56	99.5	96.4	87.4	68.5	collapse	black
WL215	0.56	99.5	96.4	87.4	68.5	collapse	black
WL216	0.70	99.9	99.3	97.1	91.5	collapse	black
WL217	0.65	99.8	98.6	94.7	85.3	collapse	black
WL218	0.52	99.2	94.3	81.1	56.6	collapse	black
WL219	0.56	99.5	96.4	87.4	68.5	collapse	black
WL220	0.70	99.9	99.3	97.0	91.5	collapse	black
WL221	0.52	99.2	94.3	81.1	56.6	collapse	black
WL222	0.56	99.5	96.4	87.4	68.4	collapse	black
WL223	0.65	99.8	98.7	94.9	85.7	collapse	black
WL224	0.70	99.9	99.3	97.0	91.5	collapse	black
WL225	0.65	99.8	98.7	94.9	85.9	collapse	black
WL226	0.56	99.5	96.4	87.4	68.5	collapse	black
WL227	0.56	99.5	96.4	87.4	68.5	collapse	black
WL228	0.56	99.5	96.4	87.4	68.5	collapse	black
WL229	0.52	99.2	94.3	81.3	57.0	collapse	black
WL230	0.65	99.8	98.7	94.9	85.9	collapse	black

WL231	0.71	99.9	99.3	97.1	91.5	collapse	black
WL232	0.52	99.2	94.4	81.5	57.2	collapse	black
WL233	0.71	99.9	99.3	97.1	91.5	collapse	black
WL234	0.65	99.8	98.7	95.0	86.0	collapse	black
WL235	0.71	99.9	99.3	97.1	91.5	collapse	black
WL236	0.56	99.5	96.4	87.4	68.5	collapse	black
WL237	0.52	99.2	94.5	81.8	57.7	collapse	black
WL238	0.56	99.5	96.5	87.4	68.6	collapse	black
WL239	0.56	99.5	96.5	87.4	68.6	collapse	black
WL240	0.52	99.2	94.5	81.8	57.7	collapse	black
WL241	0.71	99.9	99.3	97.1	91.6	collapse	black
WL242	0.70	99.9	99.3	97.0	91.5	collapse	black
WL243	0.66	99.9	98.7	95.1	86.2	collapse	black
WL244	0.56	99.5	96.4	87.4	68.5	collapse	black
WL245	0.53	99.2	94.6	82.0	58.1	collapse	black
WL246	0.56	99.5	96.4	87.4	68.5	collapse	black
WL247	0.53	99.2	94.6	82.0	58.2	collapse	black
WL248	0.53	99.2	94.6	82.1	58.3	collapse	black
WL249	0.56	99.5	96.4	87.4	68.5	collapse	black
WL250	0.66	99.9	98.8	95.2	86.6	collapse	black
WL251	0.56	99.5	96.4	87.4	68.5	collapse	black
WL252	0.56	99.5	96.4	87.4	68.5	collapse	black
WL253	0.53	99.2	94.5	81.9	57.9	collapse	black
WL254	0.53	99.2	94.6	82.0	58.1	collapse	black
WL255	0.56	99.5	96.4	87.4	68.6	collapse	black
WL256	0.66	99.9	98.8	95.2	86.6	collapse	black
WL257	0.71	99.9	99.3	97.1	91.6	collapse	black
WL259	0.56	99.5	96.5	87.4	68.6	collapse	black
WL260	0.52	99.2	94.4	81.5	57.2	collapse	black
WL261	0.52	99.2	94.3	81.3	57.0	collapse	black
WL262	0.56	99.5	96.4	87.4	68.6	collapse	black
WL263	0.71	99.9	99.3	97.1	91.6	collapse	black

Πίνακας 6.29. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 3^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Wall	P(Nodamage)	P(Slight)	P(Moderate)	P(Severe)	P(Collapse)	Expected Cost
ID	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[€]
WL201	0.1	0.6	2.2	5.5	91.6	335.3
WL202	0.1	0.6	2.2	5.5	91.6	196.8
WL203	0.4	2.7	8.2	17.5	71.1	441.6
WL204	0.1	0.6	2.2	5.5	91.6	121.1
WL205	0.5	3.1	9.0	18.9	68.6	547.5
WL206	0.2	1.2	3.9	9.4	85.3	381.5
WL207	0.8	4.9	13.2	24.6	56.5	147.8
WL208	0.8	4.9	13.2	24.6	56.5	150.7
WL209	0.1	0.6	2.2	5.5	91.5	983.7
WL210	0.2	1.2	3.9	9.4	85.3	509.0
WL211	0.8	4.9	13.2	24.5	56.5	554.4
WL212	0.8	4.9	13.1	24.5	56.7	436.9
WL213	0.2	1.2	3.8	9.2	85.7	202.0
WL214	0.5	3.1	9.0	18.9	68.5	446.1
WL215	0.5	3.1	9.0	18.9	68.5	74.7
WL216	0.1	0.7	2.2	5.5	91.5	835.3
WL217	0.2	1.2	3.9	9.4	85.3	354.0
WL218	0.8	4.9	13.1	24.5	56.6	176.5
WL219	0.5	3.1	9.1	18.9	68.5	254.9

WL220	0.1	0.7	2.2	5.5	91.5	896.9
WL221	0.8	4.9	13.1	24.5	56.6	174.0
WL222	0.5	3.1	9.1	18.9	68.4	234.3
WL223	0.2	1.2	3.8	9.2	85.7	563.3
WL224	0.1	0.7	2.2	5.5	91.5	475.5
WL225	0.2	1.1	3.8	9.1	85.9	487.1
WL226	0.5	3.1	9.1	18.9	68.5	536.6
WL227	0.5	3.1	9.0	18.9	68.5	168.3
WL228	0.5	3.1	9.1	18.9	68.5	168.1
WL229	0.8	4.8	13.0	24.4	57.0	666.6
WL230	0.2	1.1	3.8	9.1	85.9	408.8
WL231	0.1	0.6	2.2	5.5	91.5	416.5
WL232	0.8	4.8	12.9	24.3	57.2	181.4
WL233	0.1	0.6	2.2	5.5	91.5	226.8
WL234	0.2	1.1	3.7	9.0	86.0	1157.0
WL235	0.1	0.6	2.2	5.5	91.5	499.0
WL236	0.5	3.1	9.0	18.9	68.5	520.6
WL237	0.8	4.7	12.7	24.0	57.7	262.6
WL238	0.5	3.1	9.0	18.8	68.6	111.4
WL239	0.5	3.1	9.0	18.8	68.6	130.5
WL240	0.8	4.7	12.7	24.0	57.7	505.7
WL241	0.1	0.6	2.2	5.5	91.6	545.6
WL242	0.1	0.7	2.2	5.5	91.5	820.6
WL243	0.1	1.1	3.7	8.9	86.2	906.3
WL244	0.5	3.1	9.0	18.9	68.5	445.7
WL245	0.8	4.6	12.6	23.9	58.1	437.5
WL246	0.5	3.1	9.0	18.9	68.5	389.4
WL247	0.8	4.6	12.6	23.8	58.2	1105.3
WL248	0.8	4.6	12.5	23.8	58.3	157.6
WL249	0.5	3.1	9.1	18.9	68.5	468.1
WL250	0.1	1.1	3.6	8.6	86.6	954.1
WL251	0.5	3.1	9.0	18.9	68.5	573.2
WL252	0.5	3.1	9.0	18.9	68.5	355.5
WL253	0.8	4.7	12.7	23.9	57.9	335.5
WL254	0.8	4.6	12.6	23.9	58.1	310.9
WL255	0.5	3.1	9.0	18.9	68.6	1057.9
WL256	0.1	1.1	3.6	8.6	86.6	1182.7
WL257	0.1	0.6	2.2	5.5	91.6	379.7
WL259	0.5	3.1	9.0	18.8	68.6	515.1
WL260	0.8	4.8	12.9	24.2	57.2	100.2
WL261	0.8	4.8	13.0	24.4	57.0	322.0
WL262	0.5	3.1	9.0	18.9	68.6	121.0
WL263	0.1	0.6	2.2	5.5	91.6	0.0

Πίνακας 6.30. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 4^{ov} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης 1 λ_{des} .

Wall	WDR	G(Slight)	G(Moderate)	G(Severe)	G(Collapse)	Damage	Color
ID	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		
WL301	0.69	99.9	99.2	96.7	90.6	collapse	black
WL302	0.69	99.9	99.2	96.7	90.6	collapse	black
WL303	0.47	98.4	90.2	70.9	40.8	collapse	black
WL305	0.56	99.5	96.1	86.3	66.3	collapse	black
WL307	0.47	98.4	90.3	71.0	41.0	collapse	black
WL308	0.47	98.4	90.3	71.0	41.0	collapse	black
WL309	0.69	99.9	99.2	96.7	90.5	collapse	black
WL311	0.47	98.4	90.3	71.0	41.0	collapse	black

WL312	0.51	99.0	93.3	78.4	52.1	collapse	black
WL313	0.56	99.5	96.1	86.3	66.2	collapse	black
WL315	0.56	99.5	96.1	86.3	66.2	collapse	black
WL316	0.69	99.9	99.2	96.7	90.5	collapse	black
WL320	0.69	99.9	99.2	96.7	90.5	collapse	black
WL321	0.47	98.4	90.3	71.0	41.0	collapse	black
WL322	0.55	99.5	96.1	86.2	66.2	collapse	black
WL323	0.64	99.8	98.6	94.4	84.5	collapse	black
WL324	0.69	99.9	99.2	96.7	90.5	collapse	black
WL325	0.59	99.7	97.4	90.4	75.0	collapse	black
WL326	0.56	99.5	96.1	86.3	66.2	collapse	black
WL327	0.56	99.5	96.1	86.3	66.2	collapse	black
WL328	0.76	100.0	99.6	98.3	95.1	collapse	black
WL329	0.47	98.4	90.3	71.2	41.2	collapse	black
WL330	0.59	99.7	97.4	90.4	75.0	collapse	black
WL331	0.69	99.9	99.2	96.7	90.5	collapse	black
WL332	0.47	98.4	90.4	71.3	41.4	collapse	black
WL333	0.69	99.9	99.2	96.7	90.5	collapse	black
WL334	0.59	99.7	97.4	90.5	75.1	collapse	black
WL335	0.69	99.9	99.2	96.7	90.5	collapse	black
WL336	0.56	99.5	96.1	86.3	66.3	collapse	black
WL337	0.47	98.5	90.5	71.5	41.7	collapse	black
WL338	0.56	99.5	96.1	86.3	66.3	collapse	black
WL339	0.56	99.5	96.1	86.3	66.3	collapse	black
WL340	0.47	98.5	90.5	71.5	41.7	collapse	black
WL341	0.69	99.9	99.2	96.7	90.6	collapse	black
WL342	0.69	99.9	99.2	96.7	90.5	collapse	black
WL343	0.59	99.7	97.4	90.6	75.3	collapse	black
WL344	0.56	99.5	96.1	86.3	66.2	collapse	black
WL345	0.48	98.5	90.6	71.7	41.9	collapse	black
WL346	0.56	99.5	96.1	86.3	66.3	collapse	black
WL347	0.48	98.5	90.6	71.8	42.0	collapse	black
WL348	0.48	98.5	90.6	71.8	42.1	collapse	black
WL349	0.55	99.5	96.1	86.2	66.2	collapse	black
WL350	0.60	99.7	97.5	90.7	75.7	collapse	black
WL351	0.56	99.5	96.1	86.3	66.3	collapse	black
WL352	0.56	99.5	96.1	86.3	66.3	collapse	black
WL354	0.48	98.5	90.6	71.7	41.9	collapse	black
WL355	0.56	99.5	96.1	86.3	66.3	collapse	black
WL356	0.60	99.7	97.5	90.7	75.7	collapse	black
WL357	0.69	99.9	99.2	96.7	90.6	collapse	black
WL359	0.56	99.5	96.1	86.3	66.3	collapse	black
WL360	0.47	98.4	90.4	71.3	41.4	collapse	black
WL361	0.47	98.4	90.3	71.2	41.2	collapse	black
WL362	0.56	99.5	96.1	86.3	66.3	collapse	black
WL363	0.69	99.9	99.2	96.7	90.6	collapse	black
WL364	0.48	98.5	90.6	71.8	42.1	collapse	black

Πίνακας 6.31. Πιθανότητες τοιχοπληρώσεων 4^{ov} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης 1 λ_{des} .

Wall	P(Nodamage)	P(Slight)	P(Moderate)	P(Severe)	P(Collapse)	Expected Cost
ID	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	€]
WL301	0.1	0.7	2.5	6.1	90.6	379.6
WL302	0.1	0.7	2.5	6.1	90.6	195.9
WL303	1.6	8.2	19.3	30.1	40.8	1853.1
WL305	0.5	3.4	9.8	20.0	66.3	507.0

WL307	1.6	8.2	19.2	30.0	41.0	130.5
WL308	1.6	8.2	19.2	30.0	41.0	134.2
WL309	0.1	0.7	2.5	6.2	90.5	773.9
WL311	1.6	8.2	19.2	30.0	41.0	494.0
WL312	1.0	5.7	14.8	26.4	52.1	352.5
WL313	0.5	3.4	9.8	20.1	66.2	393.5
WL315	0.5	3.4	9.8	20.1	66.2	101.4
WL316	0.1	0.7	2.5	6.2	90.5	649.8
WL320	0.1	0.7	2.5	6.2	90.5	671.8
WL321	1.6	8.1	19.2	30.0	41.0	260.8
WL322	0.5	3.4	9.8	20.1	66.2	230.7
WL323	0.2	1.3	4.1	9.9	84.5	511.6
WL324	0.1	0.7	2.5	6.2	90.5	471.6
WL325	0.3	2.3	7.0	15.4	75.0	457.3
WL326	0.5	3.4	9.8	20.1	66.2	532.9
WL327	0.5	3.4	9.8	20.1	66.2	166.1
WL328	0.0	0.4	1.3	3.2	95.1	139.9
WL329	1.6	8.1	19.2	30.0	41.2	591.8
WL330	0.3	2.3	7.0	15.4	75.0	388.2
WL331	0.1	0.7	2.5	6.2	90.5	413.8
WL332	1.6	8.1	19.1	29.9	41.4	158.6
WL333	0.1	0.7	2.5	6.2	90.5	225.4
WL334	0.3	2.3	6.9	15.4	75.1	1097.2
WL335	0.1	0.7	2.5	6.2	90.5	494.4
WL336	0.5	3.4	9.8	20.0	66.3	520.1
WL337	1.5	8.0	18.9	29.8	41.7	233.8
WL338	0.5	3.4	9.8	20.0	66.3	110.9
WL339	0.5	3.4	9.8	20.0	66.3	129.0
WL340	1.5	8.0	18.9	29.8	41.7	453.6
WL341	0.1	0.7	2.5	6.1	90.6	546.6
WL342	0.1	0.7	2.5	6.2	90.5	812.1
WL343	0.3	2.2	6.9	15.2	75.3	858.4
WL344	0.5	3.4	9.8	20.1	66.2	441.4
WL345	1.5	7.9	18.8	29.8	41.9	387.7
WL346	0.5	3.4	9.8	20.0	66.3	386.7
WL347	1.5	7.9	18.8	29.8	42.0	982.3
WL348	1.5	7.9	18.8	29.7	42.1	140.9
WL349	0.5	3.4	9.8	20.1	66.2	461.1
WL350	0.3	2.2	6.8	15.0	75.7	901.6
WL351	0.5	3.4	9.8	20.0	66.3	578.0
WL352	0.5	3.4	9.8	20.0	66.3	201.1
WL354	1.5	7.9	18.8	29.8	41.9	280.7
WL355	0.5	3.4	9.8	20.0	66.3	748.0
WL356	0.3	2.2	6.8	15.0	75.7	393.7
WL357	0.1	0.7	2.5	6.1	90.6	414.5
WL359	0.5	3.4	9.8	20.0	66.3	503.4
WL360	1.6	8.0	19.1	29.9	41.4	89.5
WL361	1.6	8.1	19.2	30.0	41.2	285.7
WL362	0.5	3.4	9.8	20.0	66.3	119.8
WL363	0.1	0.7	2.5	6.1	90.6	0.0
WL364	1.5	7.9	18.8	29.7	42.1	311.7

6.1.10. Πρόγραμμα ανάλυσης ζημιών και κόστους επισκευής πορτών

Το αρχείο ανάλυσης "door.m" (Παράρτημα Δ), διαβάζει τις ανηγμένες σχετικές παραμορφώσεις των τοίχων "WDR_all", που προκύπτουν από το αρχείο ανάλυσης "wall.m", όπως επίσης και τα αρχεία "Door_1f_List.txt", "Door_2f_List.txt", "Door_3f_List.txt" και "Door_4f_List.txt" τα οποία εξάγονται από το τρισδιάστατο μοντέλο του κτιρίου στο ArchiCAD με πίνακες οι οποίοι περιέχουν πληροφορίες για τις πόρτες και για τα οποία έγινε αναφορά στο υποκεφάλαιο 3.5.3 (Παράρτημα Α.4). Μέσα από τα αρχεία αυτά, διαβάζονται δεδομένα για το τοίχο στον οποίο βρίσκεται η κάθε πόρτα και σε κάθε πόρτα ανατίθεται η ανηγμένη σχετική παραμόρφωση του τοίχου στον οποίο ανήκει. Αυτές οι τιμές αποθηκεύονται στον πίνακα "DoorDR_all".

Καθορίζεται η διάμεση τιμή και η λογαριθμική τυπική απόκλιση για τα 3 επίπεδα ζημιάς προκειμένου να δημιουργηθούν οι καμπύλες τρωτότητας βάσει των οποίων θα καθοριστεί η ζημιά που παθαίνει η κάθε πόρτα. Αυτές οι τιμές, θεωρούνται οι ίδιες για όλες τις πόρτες, ανεξαρτήτως διαστάσεων ή εάν είναι κατασκευασμένες από ξύλο, αλουμίνιο ή γυαλί και έχουν παρουσιαστεί στον Πίνακα 5.4. Βάσει των τιμών αυτών δημιουργούνται για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας, οι καμπύλες τρωτότητας οι οποίες έχουν παρουσιαστεί στο Σχήμα 5.4.

Ακολούθως, για κάθε πόρτα, υπολογίζονται αριθμητικά οι δύο πιθανότητες να έχει φτάσει ή να έχει ξεπεράσει κάθε μια από αυτές τις τέσσερις στάθμες και οι τρεις πιθανότητες να βρίσκεται σε κάθε στάθμη ξεχωριστά. Αυτές οι πιθανότητες για όλες τις πόρτες σε όλους τους ορόφους αποθηκεύονται στους πίνακες "pDoorDR_exc_all" και "pDoorDR_bng_all". Υπολογίζεται η μέγιστη εκ των τριών πιθανοτήτων, και βάσει αυτής καθορίζεται η ζημιά που παθαίνει η κάθε πόρτα "damage_door" και ανατίθεται σε αυτή το χρώμα ζημιάς της "color_door". Τα αποτελέσματα αυτά εξάγονται ανά όροφο στα αρχεία τύπου "Door_Output_List.txt" και παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.32 έως 6.39, όπου με $G(\mathbf{z})$ συμβολίζεται η πιθανότητα η κάθε πόρτα να φτάσει ή να υπερβεί κάθε κατάσταση ζημιάς και με $P(\mathbf{z})$ συμβολίζεται η πιθανότητα η κάθε πόρτα να βρίσκεται σε κάθε κατάσταση ζημιάς.

Στη συνέχεια, για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας, καθορίζεται μια διάμεση τιμή και μια λογαριθμική τυπική απόκλιση για το κόστος επισκευής των πορτών, δεδομένης της κατάστασης ζημιάς. Οι παράμετροι αυτές, διαφοροποιούνται για τις πόρτες αναλόγως εάν αυτές είναι από

ξύλο, αλουμίνιο ή γυαλί και παρουσιάστηκαν στους Πίνακες 5.10 έως 5.13. Βάσει αυτών των παραμέτρων, σχεδιάζονται οι καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους (CCDF) για δεδομένη κατάσταση ζημιάς και έχουν παρουσιαστεί στα Σχήματα 5.10 έως 5.13.

Εφαρμόζοντας κάθε μέθοδο υπολογισμού του κόστους επισκευής, υπολογίζεται αριθμητικά το αναμενόμενο κόστος επισκευής κάθε πόρτας ξεχωριστά αλλά και όλων των πορτών του κτιρίου συνολικά όπως και οι διασπορές των κοστών αυτών. Τα συνολικά κόστη για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$, παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.48 και 6.49 για την πρώτη και δεύτερη μέθοδο αντίστοιχα.

Στον πρώτο όροφο όλες οι πόρτες έχουν πάθει μέτριες ζημιές και δεν είναι πλέον λειτουργικές αφού δεν μπορούν να ανοιγοκλείσουν, ενώ στον τρίτο όροφο έχουν καταστραφεί ολοκληρωτικά. Στον δεύτερο και τέταρτο όροφο, παρουσιάζεται ισοζύγιο πορτών με μέτριες ζημιές και πορτών οι οποίες έχουν καταρρεύσει. Οι πόρτες με μέτριες ζημιές απαιτούν αντικατάσταση ή επισκευή του πλαισίου προκειμένου να καταστούν λειτουργικές, ενώ οι πόρτες οι οποίες έχουν καταστραφεί ολοκληρωτικά απαιτούν πλήρη αντικατάσταση. Παρατηρείται το φαινόμενο ότι ενώ οι τοιχοπληρώσεις στις οποίες βρίσκονται ενσωματωμένες κάποιες πόρτες, έχουν καταστραφεί ολοκληρωτικά, οι πόρτες δεν σπάζουν αλλά παθαίνουν μέτριες ζημιές. Αυτό οφείλεται στη διαφορετική διασπορά που έχουν οι αντίστοιχες στάθμες επιτελεστικότητας για διαφορετικούς τύπους στοιχείων και είναι κάτι το οποίο χρήζει περαιτέρω εξέτασης σε μελλοντική έρευνα, καθώς όταν καταρρεύσει ένας τοίχος λογικό είναι να καταστρέφονται και οι πόρτες οι οποίες είναι ενσωματωμένες σε αυτόν.

Πίνακας 6.32. Πιθανότητες πορτών 1^{ov} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Door ID	DoorDR [%]	G(Moderate) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
DR001	0.39	98.7	20.5	bendframe	yellow
DR002	0.40	98.9	21.9	bendframe	yellow
DR003	0.38	98.5	18.7	bendframe	yellow
DR004	0.39	98.7	20.6	bendframe	yellow
DR005	0.39	98.7	20.6	bendframe	yellow
DR006	0.31	92.5	5.3	bendframe	yellow
DR007	0.31	92.7	5.5	bendframe	yellow
DR008	0.31	92.7	5.5	bendframe	yellow
DR009	0.39	98.7	20.2	bendframe	yellow
DR010	0.39	98.7	20.2	bendframe	yellow

Πίνακας 6.33. Πιθανότητες πορτών 1^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Door ID	P(Nodamage) [%]	P(Moderate) [%]	P(Collapse) [%]	Expected Cost [€]
DR001	1.3	78.2	20.5	334.1
DR002	1.1	77.0	21.9	134.9
DR003	1.5	79.8	18.7	125.6
DR004	1.3	78.2	20.6	91.1
DR005	1.3	78.2	20.6	91.7
DR006	7.5	87.2	5.3	69.4
DR007	7.3	87.2	5.5	69.7
DR008	7.3	87.2	5.5	70.4
DR009	1.3	78.5	20.2	89.9
DR010	1.3	78.5	20.2	90.6

Πίνακας 6.34. Πιθανότητες πορτών 2^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Door ID	DoorDR [%]	G(Moderate) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
DR101	0.51	99.9	51.7	cracked	black
DR102	0.63	100.0	78.1	cracked	black
DR103	0.48	99.8	44.7	bendframe	yellow
DR104	0.51	99.9	51.4	cracked	black
DR105	0.48	99.8	44.7	bendframe	yellow
DR106	0.48	99.8	44.7	bendframe	yellow
DR107	0.50	99.9	51.0	cracked	black
DR108	0.48	99.8	44.7	bendframe	yellow
DR109	0.48	99.8	44.7	bendframe	yellow
DR110	0.48	99.8	44.7	bendframe	yellow
DR111	0.63	100.0	78.6	cracked	black
DR112	0.48	99.8	44.7	bendframe	yellow
DR113	0.51	99.9	52.8	cracked	black
DR114	0.51	99.9	52.7	cracked	black
DR115	0.48	99.8	44.7	bendframe	yellow
DR116	0.51	99.9	52.8	cracked	black
DR117	0.48	99.8	44.7	bendframe	yellow
DR118	0.60	100.0	72.9	cracked	black
DR119	0.63	100.0	77.6	cracked	black

Πίνακας 6.35. Πιθανότητες πορτών 2^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Door ID	P(Nodamage) [%]	P(Moderate) [%]	P(Collapse) [%]	Expected Cost [€]
DR101	0.1	48.2	51.7	416.1
DR102	0.0	21.9	78.1	156.3
DR103	0.2	55.1	44.7	118.1
DR104	0.1	48.5	51.4	128.0
DR105	0.2	55.1	44.7	120.9
DR106	0.2	55.1	44.7	119.9
DR107	0.1	48.9	51.0	125.4
DR108	0.2	55.1	44.7	118.2
DR109	0.2	55.1	44.7	120.1
DR110	0.2	55.1	44.7	118.7
DR111	0.0	21.4	78.6	567.1
DR112	0.2	55.1	44.7	118.6

DR113	0.1	47.1	52.8	127.6
DR114	0.1	47.2	52.7	127.5
DR115	0.2	55.1	44.7	120.8
DR116	0.1	47.1	52.8	130.1
DR117	0.2	55.1	44.7	119.3
DR118	0.0	27.0	72.9	250.3
DR119	0.0	22.4	77.6	259.4

Πίνακας 6.36. Πιθανότητες πορτών 3^{ov} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{a}_{des}$.

Door ID	DoorDR [%]	G(Moderate) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
DR201	0.52	99.9	56.0	cracked	black
DR202	0.65	100.0	81.3	cracked	black
DR203	0.56	100.0	65.6	cracked	black
DR204	0.52	99.9	55.8	cracked	black
DR205	0.56	100.0	65.6	cracked	black
DR206	0.56	100.0	65.6	cracked	black
DR207	0.52	99.9	55.5	cracked	black
DR208	0.70	100.0	87.4	cracked	black
DR209	0.56	100.0	65.6	cracked	black
DR210	0.56	100.0	65.5	cracked	black
DR211	0.65	100.0	81.6	cracked	black
DR212	0.56	100.0	65.6	cracked	black
DR213	0.53	99.9	56.8	cracked	black
DR214	0.53	99.9	56.7	cracked	black
DR215	0.56	100.0	65.6	cracked	black
DR216	0.53	99.9	56.8	cracked	black
DR217	0.56	100.0	65.6	cracked	black
DR218	0.70	100.0	87.4	cracked	black
DR219	0.65	100.0	80.9	cracked	black

Πίνακας 6.37. Πιθανότητες πορτών 3^{ov} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{a}_{des}$.

Door ID	P(Nodamage) [%]	P(Moderate) [%]	P(Collapse) [%]	Expected Cost [€]
DR201	0.1	43.9	56.0	436.0
DR202	0.0	18.7	81.3	160.0
DR203	0.0	34.4	65.6	143.7
DR204	0.1	44.1	55.8	129.5
DR205	0.0	34.4	65.6	141.5
DR206	0.0	34.4	65.6	142.5
DR207	0.1	44.5	55.5	130.1
DR208	0.0	12.6	87.4	167.4
DR209	0.0	34.4	65.6	142.9
DR210	0.0	34.4	65.5	142.4
DR211	0.0	18.4	81.6	585.4
DR212	0.0	34.3	65.6	143.7
DR213	0.1	43.1	56.8	133.2
DR214	0.1	43.2	56.7	132.8
DR215	0.0	34.4	65.6	142.2
DR216	0.1	43.1	56.8	132.4
DR217	0.0	34.4	65.6	140.3
DR218	0.0	12.6	87.4	280.5
DR219	0.0	19.1	80.9	266.7

Πίνακας 6.38. Πιθανότητες πορτών 4^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\lambda}_{des}$.

Door ID	DoorDR [%]	G(Moderate) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
DR301	0.47	99.8	42.8	bendframe	yellow
DR302	0.56	100	63.6	cracked	black
DR303	0.47	99.8	42.6	bendframe	yellow
DR304	0.56	100	63.6	cracked	black
DR305	0.47	99.8	42.5	bendframe	yellow
DR306	0.69	100	86.3	cracked	black
DR307	0.56	100	63.6	cracked	black
DR308	0.55	100	63.6	cracked	black
DR309	0.59	100	71.4	cracked	black
DR310	0.48	99.8	43.3	bendframe	yellow
DR311	0.48	99.8	43.3	bendframe	yellow
DR312	0.48	99.8	43.3	bendframe	yellow
DR313	0.56	100	63.6	cracked	black
DR314	0.55	100	63.6	cracked	black
DR315	0.69	100	86.2	cracked	black
DR316	0.47	99.8	42.3	bendframe	yellow

Πίνακας 6.39. Πιθανότητες πορτών 4^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\lambda}_{des}$.

Door ID	P(Nodamage) [%]	P(Moderate) [%]	P(Collapse) [%]	Expected Cost [€]
DR301	0.2	57.0	42.8	354.5
DR302	0.0	36.3	63.6	140.1
DR303	0.2	57.1	42.6	116.8
DR304	0.0	36.3	63.6	139.5
DR305	0.2	57.3	42.5	117.5
DR306	0.0	13.7	86.3	165.9
DR307	0.0	36.4	63.6	140.1
DR308	0.0	36.4	63.6	139.9
DR309	0.0	28.6	71.4	524.2
DR310	0.2	56.5	43.3	119.2
DR311	0.2	56.5	43.3	118.7
DR312	0.2	56.5	43.3	117.1
DR313	0.0	36.3	63.6	142.1
DR314	0.0	36.4	63.6	140.5
DR315	0.0	13.8	86.2	276.1
DR316	0.2	57.5	42.3	180.3

6.1.11. Πρόγραμμα ανάλυσης ζημιών και κόστους επισκευής παραθύρων

Το αρχείο ανάλυσης "window.m" (Παράρτημα Δ), διαβάζει τις ανηγμένες σχετικές παραμορφώσεις των τοίχων "WDR_all", που προκύπτουν από το αρχείο ανάλυσης "wall.m", όπως επίσης και τα αρχεία "Window_1f_List.txt", "Window_2f_List.txt", "Window_3f_List.txt" και "Window_4f_List.txt" τα οποία εξάγονται από το τρισδιάστατο μοντέλο του κτιρίου στο ArchiCAD με πίνακες οι οποίοι περιέχουν πληροφορίες για τα παράθυρα και για τα οποία έγινε αναφορά στο υποκεφάλαιο 3.5.3 (Παράρτημα Α.5). Μέσα από τα αρχεία αυτά, διαβάζονται

δεδομένα για το τοίχο στον οποίο βρίσκεται το κάθε παράθυρο και σε κάθε παράθυρο ανατίθεται η ανηγμένη σχετική παραμόρφωση του τοίχου στον οποίο ανήκει. Αυτές οι τιμές αποθηκεύονται στον πίνακα “WindDR_all”.

Καθορίζεται η διάμεση τιμή και η λογαριθμική τυπική απόκλιση για τα 3 επίπεδα ζημιάς προκειμένου να δημιουργηθούν οι καμπύλες τρωτότητας βάσει των οποίων θα καθοριστεί η ζημιά που παθαίνει το κάθε παράθυρο. Αυτές οι τιμές, θεωρούνται οι ίδιες για όλα τα παράθυρα, ανεξαρτήτως διαστάσεων και έχουν παρουσιαστεί στον Πίνακα 5.5. Βάσει των τιμών αυτών δημιουργούνται για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας, οι καμπύλες τρωτότητας οι οποίες έχουν παρουσιαστεί στο Σχήμα 5.5.

Ακολούθως, για κάθε παράθυρο, υπολογίζονται αριθμητικά οι δύο πιθανότητες να έχει φτάσει ή να έχει ξεπεράσει κάθε μια από αυτές τις τέσσερις στάθμες και οι τρεις πιθανότητες να βρίσκεται σε κάθε στάθμη ξεχωριστά. Αυτές οι πιθανότητες για όλες τα παράθυρα σε όλους τους ορόφους αποθηκεύονται στους πίνακες “pWindDR_exc_all” και “pWindDR_bng_all”. Υπολογίζεται η μέγιστη εκ των τριών πιθανοτήτων, και βάσει αυτής καθορίζεται η ζημιά που παθαίνει το κάθε παράθυρο “damage_wind” και ανατίθεται σε αυτή το χρώμα ζημιάς του “color_wind”. Τα αποτελέσματα αυτά εξάγονται ανά όροφο στα αρχεία τύπου “Window_Output_List.txt” και παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.40 έως 6.47, όπου με $G(\tilde{z})$ συμβολίζεται η πιθανότητα το κάθε παράθυρο να φτάσει ή να υπερβεί κάθε κατάσταση ζημιάς και με $P(\tilde{z})$ συμβολίζεται η πιθανότητα το κάθε παράθυρο να βρίσκεται σε κάθε κατάσταση ζημιάς.

Στη συνέχεια, για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας, καθορίζεται μια διάμεση τιμή και μια λογαριθμική τυπική απόκλιση για το κόστος επισκευής των παραθύρων, δεδομένης της κατάστασης ζημιάς. Οι παράμετροι αυτές, διαφοροποιούνται για τα παράθυρα αναλόγως εάν αυτά είναι απλά παράθυρα ή πορτοπαράθυρα και παρουσιάστηκαν στους Πίνακες 5.14 και 5.15. Όπως έχει προαναφερθεί οι τιμές για κάθε παράθυρο, υπολογίζονται αναλόγως της επιφάνειας κάθε παραθύρου, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι οικονομίες κλίμακας. Βάσει αυτών των παραμέτρων, σχεδιάζονται οι καμπύλες πιθανότητας υπέρβασης κόστους (CCDF) για δεδομένη κατάσταση ζημιάς και έχουν παρουσιαστεί στα Σχήματα 5.14 και 5.15.

Εφαρμόζοντας κάθε μέθοδο υπολογισμού του κόστους επισκευής, υπολογίζεται αριθμητικά το αναμενόμενο κόστος επισκευής κάθε παραθύρου ξεχωριστά αλλά και όλων των παραθύρων του κτιρίου συνολικά όπως και οι διασπορές των κοστών αυτών. Τα συνολικά κόστη για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$, παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.48 και 6.49 για την πρώτη και δεύτερη μέθοδο αντίστοιχα.

Στον πρώτο όροφο το μοναδικό παράθυρο παρουσιάζει μέτριες ζημιές. Τα παράθυρα στον δεύτερο και τρίτο όροφο έχουν καταστραφεί ολοκληρωτικά, ενώ στον τέταρτο όροφο εκτός κάποιων εξαιρέσεων παραθύρων τα οποία έχουν πάθει μέτριες ζημιές, τα υπόλοιπα έχουν καταρρεύσει. Τα παράθυρα με μέτριες ζημιές δεν είναι πλέον λειτουργικά αφού δεν μπορούν να ανοιγοκλείσουν και απαιτείται αντικατάσταση ή επισκευή του αλουμινένιου πλαισίου τους προκειμένου να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση. Το ίδιο φαινόμενο με τις πόρτες, παρατηρείται και στα παράθυρα, καθώς ενώ οι τοιχοπληρώσεις στις οποίες βρίσκονται ενσωματωμένα κάποια παράθυρα, έχουν καταστραφεί ολοκληρωτικά, τα παράθυρα δεν σπάζουν αλλά παθαίνουν μέτριες ζημιές. Αυτό οφείλεται στη διαφορετική διασπορά που έχουν οι αντίστοιχες στάθμες επιτελεστικότητας για διαφορετικούς τύπους στοιχείων.

Πίνακας 6.40. Πιθανότητες παραθύρων 1^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.

Window ID	WinDR [%]	G(Moderate) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
WN070	0.39	98.7	20.5	bendframe	yellow

Πίνακας 6.41. Πιθανότητες παραθύρων 1^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.

Window ID	P(Nodamage) [%]	P(Moderate) [%]	P(Collapse) [%]	Expected Cost [€]
WN070	1.3	78.2	20.5	1632.6

Πίνακας 6.42. Πιθανότητες παραθύρων 2^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{z}_{des}$.

Window ID	WinDR [%]	G(Moderate) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
WN101	0.60	100.0	73.0	cracked	black
WN102	0.60	100.0	73.0	cracked	black
WN103	0.55	100.0	63.1	cracked	black
WN104	0.60	100.0	73.0	cracked	black
WN105	0.63	100.0	77.6	cracked	black
WN106	0.63	100.0	77.6	cracked	black
WN107	0.60	100.0	72.9	cracked	black
WN108	0.60	100.0	72.9	cracked	black

WN109	0.60	100.0	72.9	cracked	black
WN110	0.63	100.0	78.5	cracked	black
WN111	0.63	100.0	78.5	cracked	black
WN112	0.63	100.0	78.5	cracked	black
WN113	0.60	100.0	73.0	cracked	black
WN151	0.60	100.0	73.0	cracked	black
WN152	0.60	100.0	73.0	cracked	black
WN153	0.60	100.0	73.0	cracked	black
WN154	0.60	100.0	73.0	cracked	black
WN156	0.64	100.0	79.0	cracked	black
WN157	0.64	100.0	79.0	cracked	black
WN158	0.60	100.0	72.9	cracked	black
WN159	0.60	100.0	72.9	cracked	black
WN160	0.64	100.0	79.6	cracked	black
WN161	0.64	100.0	79.6	cracked	black
WN170	0.60	100.0	73.0	cracked	black

Πίνακας 6.43. Πιθανότητες παραθύρων 2^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\alpha_{des}$.

Window ID	P(Nodamage) [%]	P(Moderate) [%]	P(Collapse) [%]	Expected Cost [€]
WN101	0.0	27.0	73.0	380.8
WN102	0.0	27.0	73.0	383.0
WN103	0.0	36.8	63.1	791.4
WN104	0.0	27.0	73.0	251.0
WN105	0.0	22.4	77.6	353.0
WN106	0.0	22.4	77.6	327.0
WN107	0.0	27.1	72.9	351.1
WN108	0.0	27.1	72.9	125.5
WN109	0.0	27.1	72.9	349.2
WN110	0.0	21.5	78.5	410.0
WN111	0.0	21.5	78.5	76.2
WN112	0.0	21.5	78.5	409.5
WN113	0.0	27.0	73.0	256.4
WN151	0.0	27.0	73.0	276.3
WN152	0.0	27.0	73.0	251.7
WN153	0.0	27.0	73.0	798.8
WN154	0.0	27.0	73.0	630.6
WN156	0.0	21.0	79.0	152.8
WN157	0.0	21.0	79.0	354.0
WN158	0.0	27.0	72.9	349.8
WN159	0.0	27.0	72.9	125.7
WN160	0.0	20.4	79.6	355.1
WN161	0.0	20.4	79.6	355.8
WN170	0.0	27.0	73.0	1873.6

Πίνακας 6.44. Πιθανότητες παραθύρων 3^{ου} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\alpha_{des}$.

Window ID	WinDR [%]	G(Moderate) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
WN201	0.71	100.0	87.5	cracked	black
WN202	0.71	100.0	87.5	cracked	black
WN203	0.57	100.0	67.9	cracked	black
WN204	0.71	100.0	87.4	cracked	black
WN205	0.65	100.0	80.9	cracked	black

WN206	0.65	100.0	80.9	cracked	black
WN207	0.70	100.0	87.4	cracked	black
WN208	0.70	100.0	87.4	cracked	black
WN209	0.70	100.0	87.4	cracked	black
WN210	0.65	100.0	81.5	cracked	black
WN211	0.65	100.0	81.5	cracked	black
WN212	0.65	100.0	81.5	cracked	black
WN213	0.71	100.0	87.4	cracked	black
WN251	0.71	100.0	87.5	cracked	black
WN252	0.71	100.0	87.5	cracked	black
WN253	0.71	100.0	87.5	cracked	black
WN254	0.71	100.0	87.4	cracked	black
WN256	0.66	100.0	81.8	cracked	black
WN257	0.66	100.0	81.8	cracked	black
WN258	0.70	100.0	87.4	cracked	black
WN259	0.70	100.0	87.4	cracked	black
WN260	0.66	100.0	82.2	cracked	black
WN261	0.66	100.0	82.2	cracked	black
WN270	0.71	100.0	87.5	cracked	black

Πίνακας 6.45. Πιθανότητες παραθύρων 3^{ου} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Window ID	P(Nodamage) [%]	P(Moderate) [%]	P(Collapse) [%]	Expected Cost [€]
WN201	0.0	12.5	87.5	420.2
WN202	0.0	12.5	87.5	421.5
WN203	0.0	32.1	67.9	799.2
WN204	0.0	12.6	87.4	259.2
WN205	0.0	19.1	80.9	355.3
WN206	0.0	19.1	80.9	337.0
WN207	0.0	12.6	87.4	360.6
WN208	0.0	12.6	87.4	129.7
WN209	0.0	12.6	87.4	361.5
WN210	0.0	18.5	81.5	410.7
WN211	0.0	18.5	81.5	76.7
WN212	0.0	18.5	81.5	411.3
WN213	0.0	12.6	87.4	265.0
WN251	0.0	12.5	87.5	285.6
WN252	0.0	12.5	87.5	259.4
WN253	0.0	12.5	87.5	879.0
WN254	0.0	12.6	87.4	648.7
WN256	0.0	18.2	81.8	153.5
WN257	0.0	18.2	81.8	356.3
WN258	0.0	12.6	87.4	361.0
WN259	0.0	12.6	87.4	129.5
WN260	0.0	17.8	82.2	357.4
WN261	0.0	17.8	82.2	356.7
WN270	0.0	12.5	87.5	1934.4

Πίνακας 6.46. Πιθανότητες παραθύρων 4^{ov} ορόφου υπέρβασης επιπέδων ζημιάς για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Window ID	WinDR [%]	G(Moderate) [%]	G(Collapse) [%]	Damage	Color
WN301	0.69	100.0	86.4	cracked	black
WN303	0.47	99.8	42.3	bendframe	yellow
WN304	0.48	99.8	43.4	bendframe	yellow
WN305	0.47	99.8	42.3	bendframe	yellow
WN306	0.47	99.8	42.3	bendframe	yellow
WN307	0.69	100.0	86.2	cracked	black
WN308	0.69	100.0	86.2	cracked	black
WN309	0.69	100.0	86.2	cracked	black
WN310	0.59	100.0	71.3	cracked	black
WN311	0.59	100.0	71.3	cracked	black
WN312	0.59	100.0	71.3	cracked	black
WN313	0.69	100.0	86.3	cracked	black
WN351	0.69	100.0	86.4	cracked	black
WN352	0.69	100.0	86.4	cracked	black
WN353	0.69	100.0	86.4	cracked	black
WN354	0.69	100.0	86.3	cracked	black
WN356	0.59	100.0	71.6	cracked	black
WN357	0.59	100.0	71.6	cracked	black
WN358	0.69	100.0	86.2	cracked	black
WN359	0.69	100.0	86.2	cracked	black
WN360	0.60	100.0	71.9	cracked	black
WN361	0.60	100.0	71.9	cracked	black
WN370	0.69	100.0	86.4	cracked	black

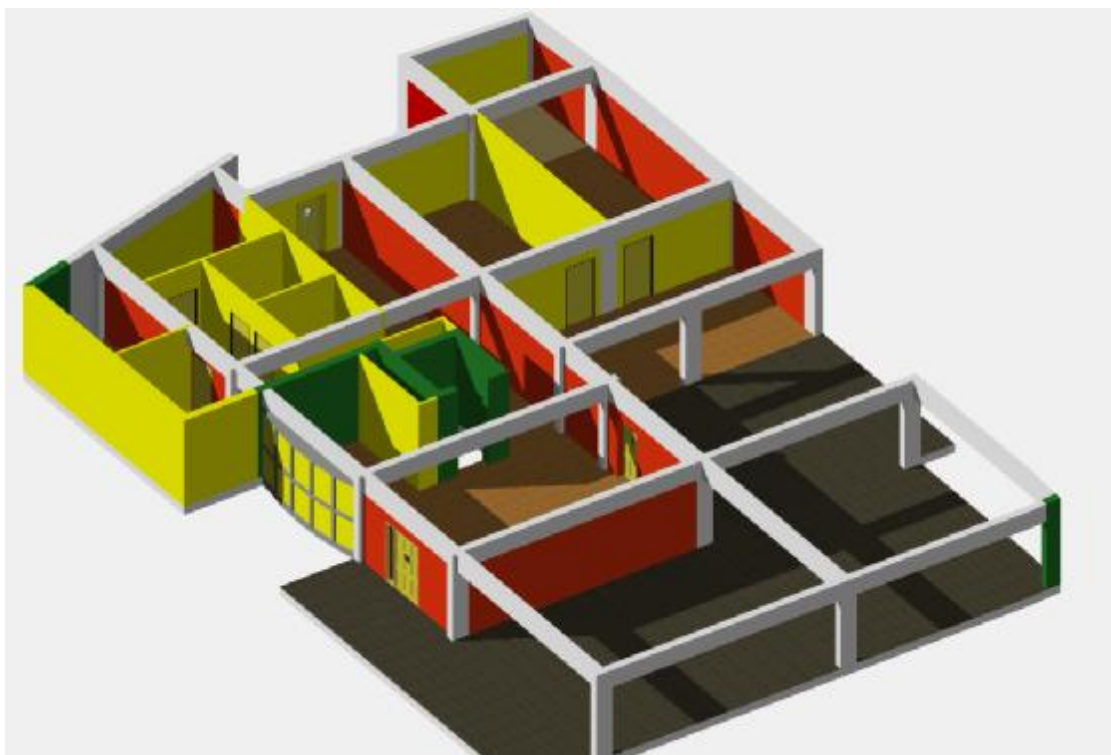
Πίνακας 6.47. Πιθανότητες παραθύρων 4^{ov} ορόφου να βρίσκονται εντός επιπέδων ζημιάς και αναμενόμενο κόστος επισκευής τους για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Window ID	P(Nodamage) [%]	P(Moderate) [%]	P(Collapse) [%]	Expected Cost [€]
WN301	0.0	13.6	86.4	611.4
WN303	0.2	57.5	42.3	294.3
WN304	0.2	56.4	43.4	440.3
WN305	0.2	57.5	42.3	326.7
WN306	0.2	57.5	42.3	249.1
WN307	0.0	13.8	86.2	359.5
WN308	0.0	13.8	86.2	129.3
WN309	0.0	13.8	86.2	360.1
WN310	0.0	28.7	71.3	402.3
WN311	0.0	28.7	71.3	75.1
WN312	0.0	28.7	71.3	401.4
WN313	0.0	13.7	86.3	264.2
WN351	0.0	13.6	86.4	284.3
WN352	0.0	13.6	86.4	257.8
WN353	0.0	13.6	86.4	434.3
WN354	0.0	13.7	86.3	649.1
WN356	0.0	28.4	71.6	150.4
WN357	0.0	28.4	71.6	350.3
WN358	0.0	13.8	86.2	360.0
WN359	0.0	13.8	86.2	129.3
WN360	0.0	28.1	71.9	349.8
WN361	0.0	28.1	71.9	348.8
WN370	0.0	13.6	86.4	1927.6

6.2. Τρισδιάστατη απεικόνιση ζημιών κτιρίου

Η τρισδιάστατη απεικόνιση των βλαβών προσφέρει τη δυνατότητα για κατανόηση της πραγματικής λειτουργικότητας της κατασκευής μετά το συγκεκριμένο σεισμικό γεγονός ακόμη και από πελάτες μη μηχανικούς (ιδιοκτήτης, ένοικοι κ.λπ.). Η τρισδιάστατη απεικόνιση των ζημιών, θα πραγματοποιηθεί βάσει των χρωμάτων ζημιάς του κάθε μέλους, όπως έχουν παρουσιαστεί στο Κεφάλαιο 5, στο τρισδιάστατο προσομοίωμα του κτιρίου το οποίο έχει σχεδιαστεί στο ArchiCAD και έχει παρουσιαστεί στο Κεφάλαιο 3.

Όπως έχει προαναφερθεί στα Κεφάλαιο 5, κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε μια κατάσταση ζημιάς. Άσπρο χρώμα ανατίθεται στα μέλη τα οποία δεν έχουν πάθει ζημιές, πράσινο στα μέλη με ελαφρές ζημιές, κίτρινο στα μέλη με μέτριες ζημιές, κόκκινο στα μέλη με σοβαρές ζημιές και μαύρο στα μέλη τα οποία έχουν καταστραφεί ολοκληρωτικά. Στις τοιχοπληρώσεις οι οποίες έχουν καταρρεύσει ανατίθεται γκριζο χρώμα, για να ξεχωρίζουν από τις πόρτες και τα παράθυρα. Στα Σχήματα 6.21 έως 6.24, παρουσιάζεται η απεικόνιση των ζημιών στον πρώτο, δεύτερο, τρίτο και τέταρτο όροφο αντίστοιχα, για συντελεστή κλιμάκωσης $1\alpha_{des}$.



Σχήμα 6.21. Τρισδιάστατη απεικόνιση ζημιών στον 1^ο όροφο για συντελεστή κλιμάκωσης $1\alpha_{des}$.



Σχήμα 6.22. Τρισδιάστατη απεικόνιση ζημιών στον 2^ο όροφο για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.



Σχήμα 6.23. Τρισδιάστατη απεικόνιση ζημιών στον 3ο όροφο για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.



Σχήμα 6.24. Τρισδιάστατη απεικόνιση ζημιών στον 4ο όροφο για συντελεστή κλιμάκωσης $1\alpha_{des}$.

6.3. Κόστος επισκευής κτιρίου

Αφού υπολογιστούν τα αναμενόμενα κόστη των πέντε τύπων στοιχείων για τους τέσσερεις ορόφους, υπολογίζεται βάσει της προσομοίωσης Monte Carlo, το αναμενόμενο συνολικό κόστος επισκευής του κτιρίου, όπως έχει περιγραφεί στο υποκεφάλαιο 2.2.2. Στα Σχήματα 6.25 έως 6.29, παρουσιάζεται η κατανομή του συνολικού κόστους επισκευής των υποστυλωμάτων, των δοκών, των τοιχοπληρώσεων, των πορτών και των παραθύρων του κτιρίου για συντελεστή κλιμάκωσης $1\alpha_{des}$. Στο Σχήμα 6.30 παρουσιάζεται η κατανομή του συνολικού κόστους επισκευής του κτιρίου. Συγκεκριμένα, στα σχήματα αυτά παρουσιάζεται με ραβδόγραμμα (bar chart) ο αριθμός των περιπτώσεων των μελών που έχουν το δεδομένο κόστος, στο σύνολο των 5000 δειγμάτων. Με μια καμπύλη, παρουσιάζεται στα ίδια σχήματα η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF) της καλύτερης δυνατής προσέγγισης της πραγματικής κατανομής του κόστους μέσω κανονικής κατανομής.

Στον Πίνακα 6.48 παρουσιάζεται συγκεντρωτικά για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$, το αναμενόμενο κόστος των υποστυλωμάτων, δοκών, τοιχοπληρώσεων, πορτών και παραθύρων, ανά ομάδα στοιχείων, ανά όροφο και συνολικά, βάσει της πρώτης μεθόδου ενώ στον Πίνακα 6.49 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν βάσει της δεύτερης μεθόδου δηλαδή της μεθόδου Monte Carlo, για τον ίδιο συντελεστή. Στους Πίνακες 6.50 και 6.51 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν βάσει της μεθόδου Monte Carlo για συντελεστές κλιμάκωσης $\frac{1}{2}\dot{\alpha}_{des}$ και $2\dot{\alpha}_{des}$, αντίστοιχα.

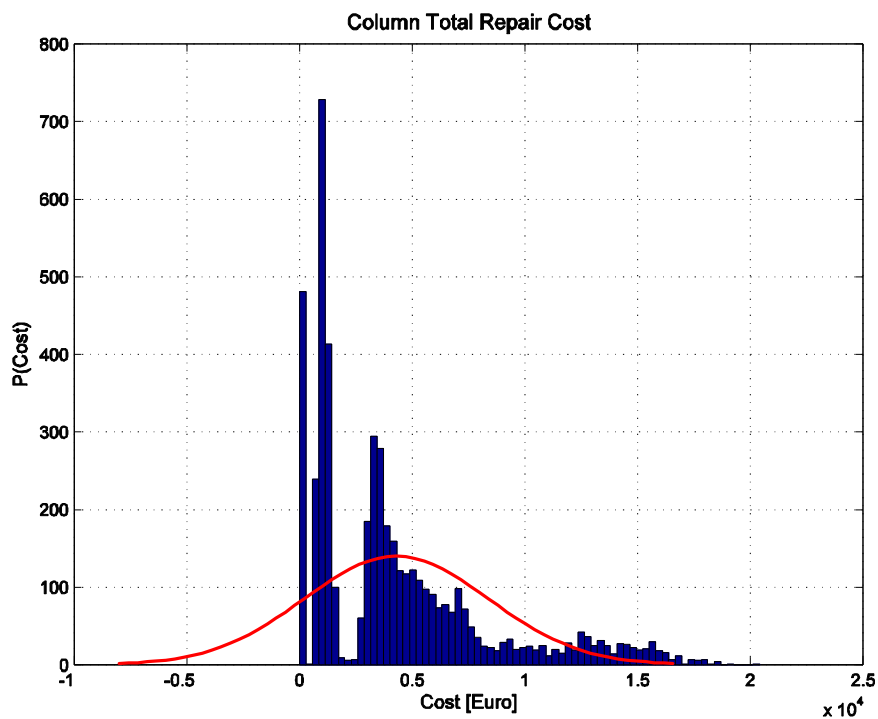
Βάσει της μεθόδου Monte Carlo και για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$, το συνολικό κόστος επισκευής των υποστυλωμάτων του κτιρίου ανέρχεται γύρω στα €4300 με συντελεστή διασποράς 95%. Όπως βλέπουμε και από το Σχήμα 6.25, η κατανομή του κόστους επισκευής των υποστυλωμάτων δεν προσεγγίζεται καθόλου ικανοποιητικά με κανονική κατανομή. Το συνολικό κόστος επισκευής των δοκών του κτιρίου ανέρχεται γύρω στα €2915 με συντελεστή διασποράς 165%. Το κόστος αυτό είναι σχετικά μικρό και αυτό οφείλεται στο ότι υπάρχει μεγάλος αριθμός δοκών χωρίς ζημιές κάτι το οποίο παρατηρείται και από το Σχήμα 6.26 (πρώτη ράβδος). Λόγω της ιδιομορφίας αυτής στην κατανομή του κόστους των δοκών, η κανονική κατανομή κρίνεται ακατάλληλη για την περιγραφή του κόστους επισκευής. Το συνολικό κόστος επισκευής των τοιχοπληρώσεων του κτιρίου ανέρχεται γύρω στα €86975 με συντελεστή διασποράς 7%. Όπως βλέπουμε και από το Σχήμα 6.27, η κατανομή του κόστους επισκευής τους προσεγγίζεται ικανοποιητικά με κανονική κατανομή.

Το συνολικό κόστος επισκευής των πορτών του κτιρίου ανέρχεται γύρω στα €11155 με συντελεστή διασποράς 11%, ενώ το συνολικό κόστος επισκευής των παραθύρων του κτιρίου ανέρχεται γύρω στα €31105 με συντελεστή διασποράς 2%. Όπως βλέπουμε και από τα Σχήματα 6.28 και 6.29, η κατανομή του κόστους των πορτών και των παραθύρων, αντίστοιχα, προσεγγίζεται αρκετά καλά με κανονική κατανομή. Το συνολικό κόστος επισκευής του κτιρίου ανέρχεται γύρω στα €136450 με συντελεστή διασποράς 9%. Το κόστος αυτό, παρά το γεγονός ότι είναι μικρότερο από το κόστος πλήρους κατεδάφισης και ανακατασκευής του κτιρίου, δεν μπορεί να θεωρηθεί ως αμελητέο. Ο λόγος του υψηλού κόστους επισκευής οφείλεται κυρίως στο κόστος επισκευής των τοιχοπληρώσεων και κατά δεύτερο λόγο στο κόστος επισκευής των παραθύρων. Όπως βλέπουμε και από το Σχήμα 6.30, η κατανομή του συνολικού κόστους επισκευής του κτιρίου προσεγγίζεται ικανοποιητικά με κανονική κατανομή.

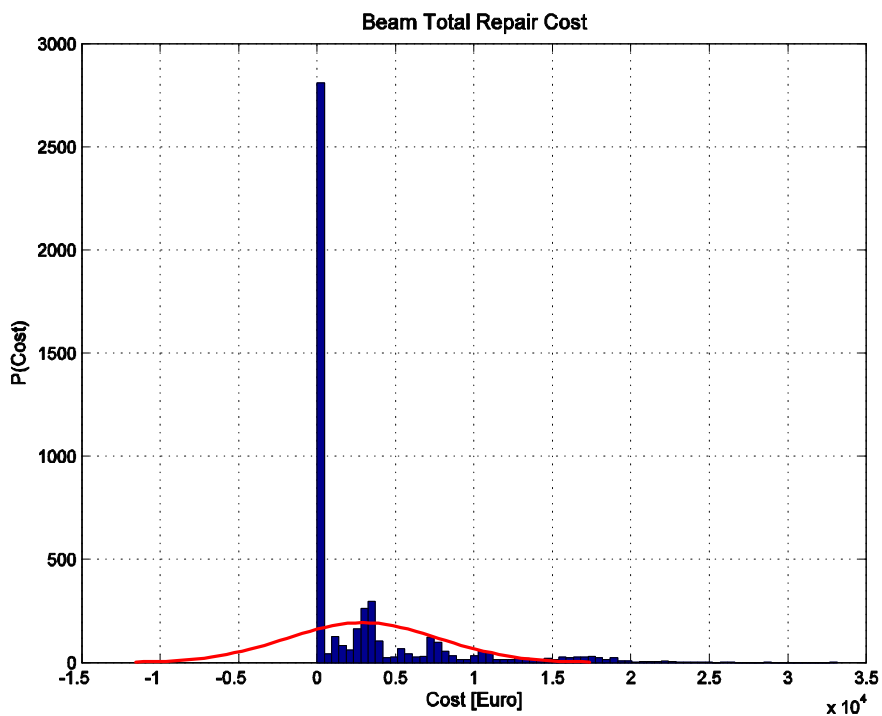
Το συνολικό κόστος επισκευής των μελών στον πρώτο όροφο ανέρχεται στα €16175 με συντελεστή διασποράς 29%. Το κόστος επισκευής αυξάνεται σημαντικά στους υπερκείμενους ορόφους, με αυτό να είναι €40705 με συντελεστή διασποράς 9% για τον δεύτερο όροφο, €42895 με συντελεστή διασποράς 7% για τον τρίτο όροφο και €36675 με συντελεστή διασποράς 7% για τον τέταρτο όροφο. Παρατηρούμε ότι το κόστος επισκευής των τριών ανώτερων ορόφων είναι σημαντικά μεγάλο και αυτό οφείλεται στις εκτεταμένες ζημιές των τοιχοπληρώσεων, των πορτών και των παραθύρων, αφού εκτός κάποιων εξαιρέσεων, καταστρέφονται ολοκληρωτικά.

Συγκρίνοντας τους Πίνακες 6.48 και 6.49, στους οποίους συνοψίζονται τα αποτελέσματα κόστους ανά ομάδα μελών, ανά όροφο και συνολικά με την πρώτη μέθοδο και τη μέθοδο Monte Carlo, αντίστοιχα, παρατηρούμε ότι η διαφορά στην αναμενόμενη μέση τιμή κόστους επισκευής του κτιρίου είναι αμελητέα. Ο συντελεστής διασποράς, όπως προκύπτει από τις δύο μεθόδους, είναι αρκετά κοντά ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου το κόστος ανά ομάδα στοιχείων και όροφο είναι αρκετά υψηλό, αλλά διαφοροποιείται στις περιπτώσεις χαμηλού κόστους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στοιχεία τα οποία καταστρέφονται ολοκληρωτικά και κατ' επέκταση έχουν υψηλό κόστος επισκευής, έχουν πάρα πολύ μικρή διασπορά στο κόστος, σε αντίθεση όταν βρίσκονται σε κάποια από τις ενδιάμεσες καταστάσεις ζημιάς με μικρότερο κόστος επισκευής, όπου η διασπορά είναι μεγαλύτερη.

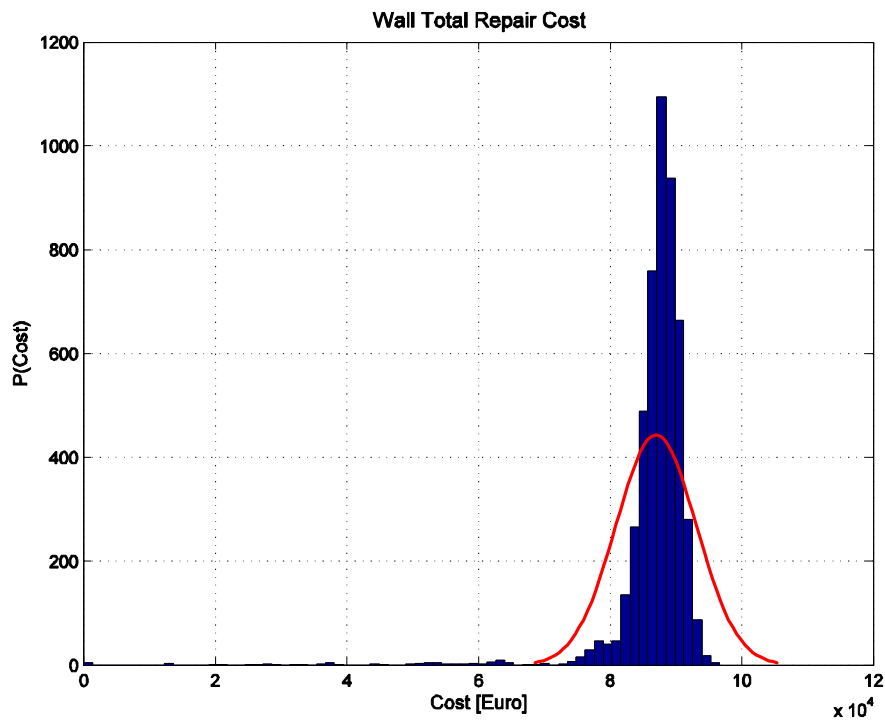
Επομένως, λόγω του ότι τα στοιχεία του κτιρίου και συγκεκριμένα οι πόρτες και τα παράθυρα για συντελεστή $1\alpha_{des}$, ως επί τον πλείστον παρουσιάζουν πλήρη απώλεια, σε αυτό οφείλεται η μικρή διασπορά στο κόστος και η σύγκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων. Αντιθέτως στην περίπτωση των υποστυλωμάτων και των δοκών, όπου οι ζημιές είναι ελάχιστες έως και καθόλου, η διασπορά στο κόστος και η απόκλιση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων είναι μεγαλύτερη.



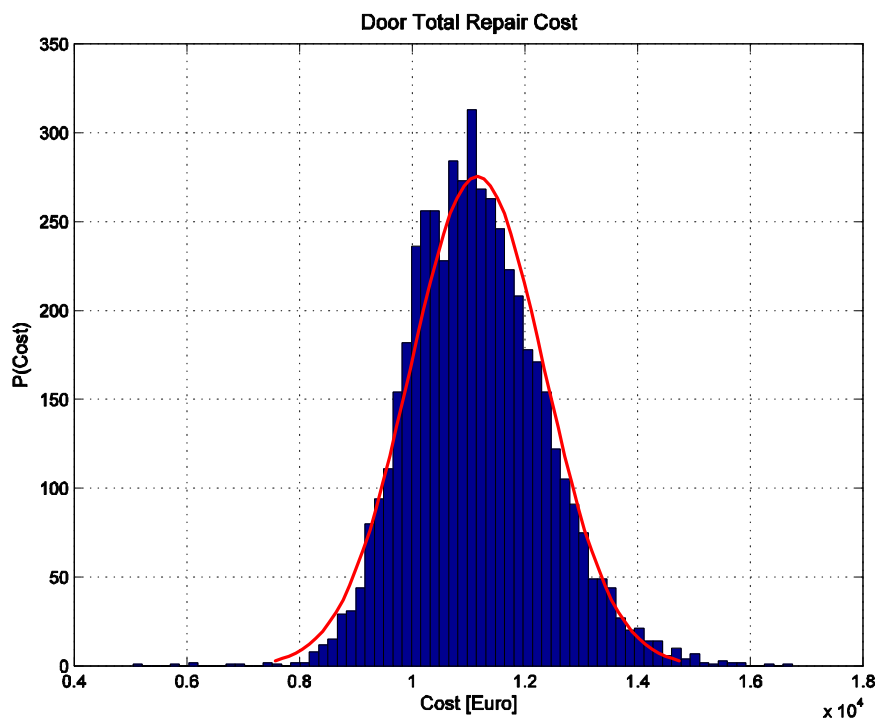
Σχήμα 6.25. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής υποστυλωμάτων για συντελεστή κλιμάκωσης $1\tilde{a}_{des}$.



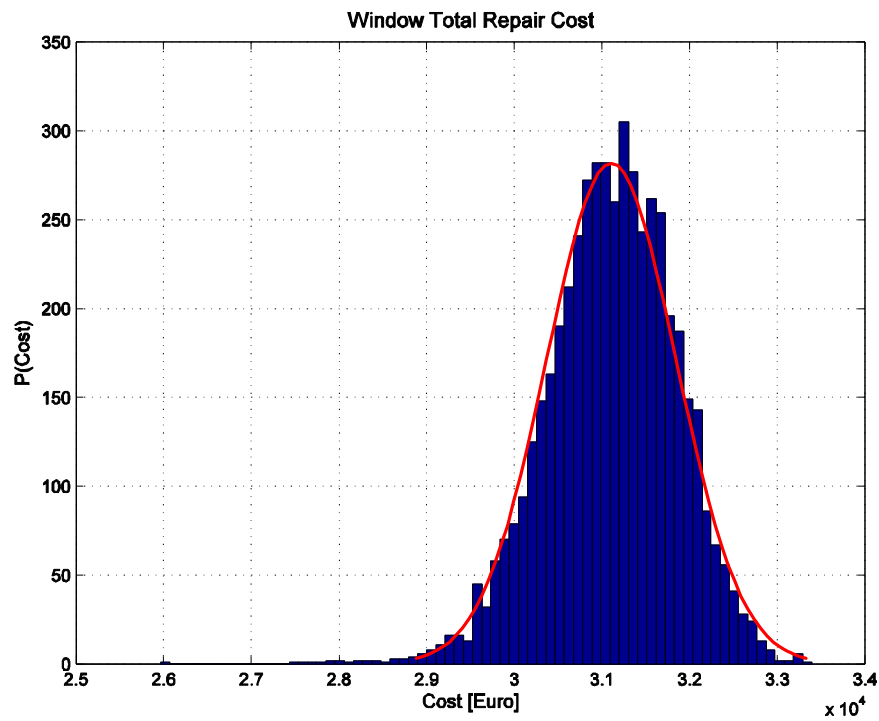
Σχήμα 6.26. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής δοκών για συντελεστή κλιμάκωσης $1\tilde{a}_{des}$.



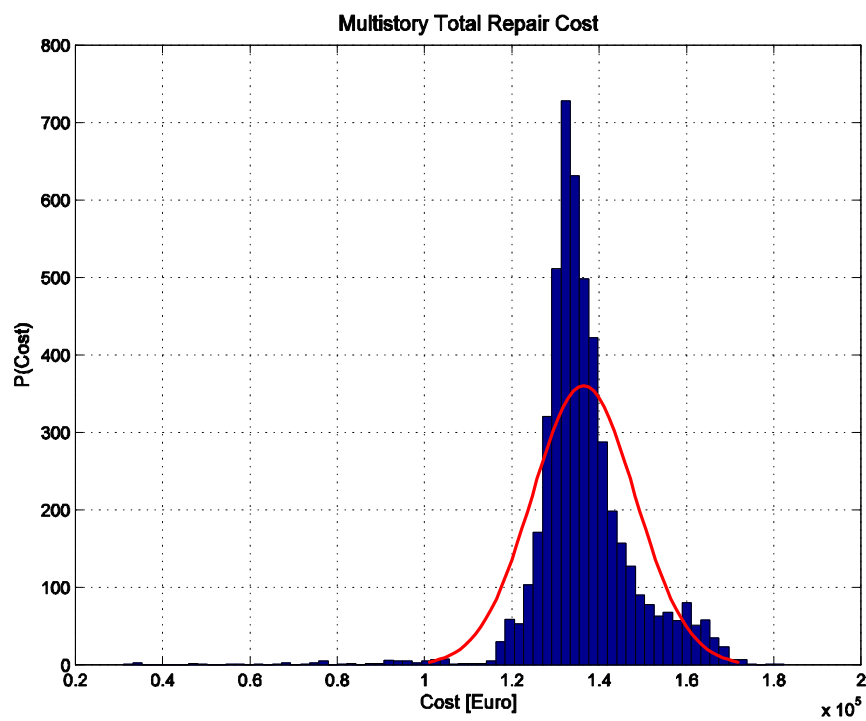
Σχήμα 6.27. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής τοιχοπληρώσεων για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.



Σχήμα 6.28. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής πορτών για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.



Σχήμα 6.29. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής παραθύρων για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\lambda}a_{des}$.



Σχήμα 6.30. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής κτιρίου για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\lambda}a_{des}$.

Πίνακας 6.48. Κόστος στοιχείων ανά ομάδα στοιχείων, όροφο και συνολικά βάσει πρώτης μεθόδου για συντελεστή κλιμάκωσης $1\lambda_{des}$.

	Υποστυλώματα	Δοκοί	Τοιχοπληρώσεις	Πόρτες	Παράθυρα	Ολικό
1ος όροφος						
Μέση Τιμή	2570.74	949.02	9858.67	1168.21	1635.08	16181.72
Συντ. Διασποράς	0.52	0.61	0.13	0.31	0.17	0.12
2ος όροφος						
Μέση Τιμή	783.04	976.65	25604.70	3341.42	9981.90	40687.71
Συντ. Διασποράς	0.57	0.59	0.05	0.20	0.04	0.04
3ος όροφος						
Μέση Τιμή	563.54	900.63	27444.42	3685.17	10333.38	42927.13
Συντ. Διασποράς	0.44	0.61	0.04	0.18	0.03	0.03
4ος όροφος						
Μέση Τιμή	396.05	136.89	24076.14	2926.23	9155.18	36690.49
Συντ. Διασποράς	0.61	1.68	0.05	0.22	0.04	0.04
Ολικό						
Μέση Τιμή	4313.38	2963.20	86983.92	11121.03	31105.53	136487.06
Συντ. Διασποράς	0.34	0.34	0.03	0.11	0.02	0.02

Πίνακας 6.49. Κόστος στοιχείων ανά ομάδα στοιχείων, όροφο και συνολικά βάσει μεθόδου Monte Carlo για συντελεστή κλιμάκωσης $1\lambda_{des}$.

	Υποστυλώματα	Δοκοί	Τοιχοπληρώσεις	Πόρτες	Παράθυρα	Ολικό
1ος όροφος						
Μέση Τιμή	2570.66	936.52	9870.21	1167.38	1632.57	16177.34
Συντ. Διασποράς	0.67	1.63	0.27	0.33	0.17	0.29
2ος όροφος						
Μέση Τιμή	777.81	964.60	25609.85	3362.47	9988.48	40703.21
Συντ. Διασποράς	1.56	1.62	0.08	0.20	0.04	0.09
3ος όροφος						
Μέση Τιμή	557.85	889.43	27424.69	3693.21	10329.29	42894.47
Συντ. Διασποράς	1.49	1.56	0.06	0.18	0.03	0.07
4ος όροφος						
Μέση Τιμή	392.46	125.99	24069.36	2932.45	9155.30	36675.56
Συντ. Διασποράς	1.99	3.88	0.08	0.22	0.04	0.07
Ολικό						
Μέση Τιμή	4298.79	2916.53	86974.12	11155.50	31105.64	136450.58
Συντ. Διασποράς	0.95	1.65	0.07	0.11	0.02	0.09

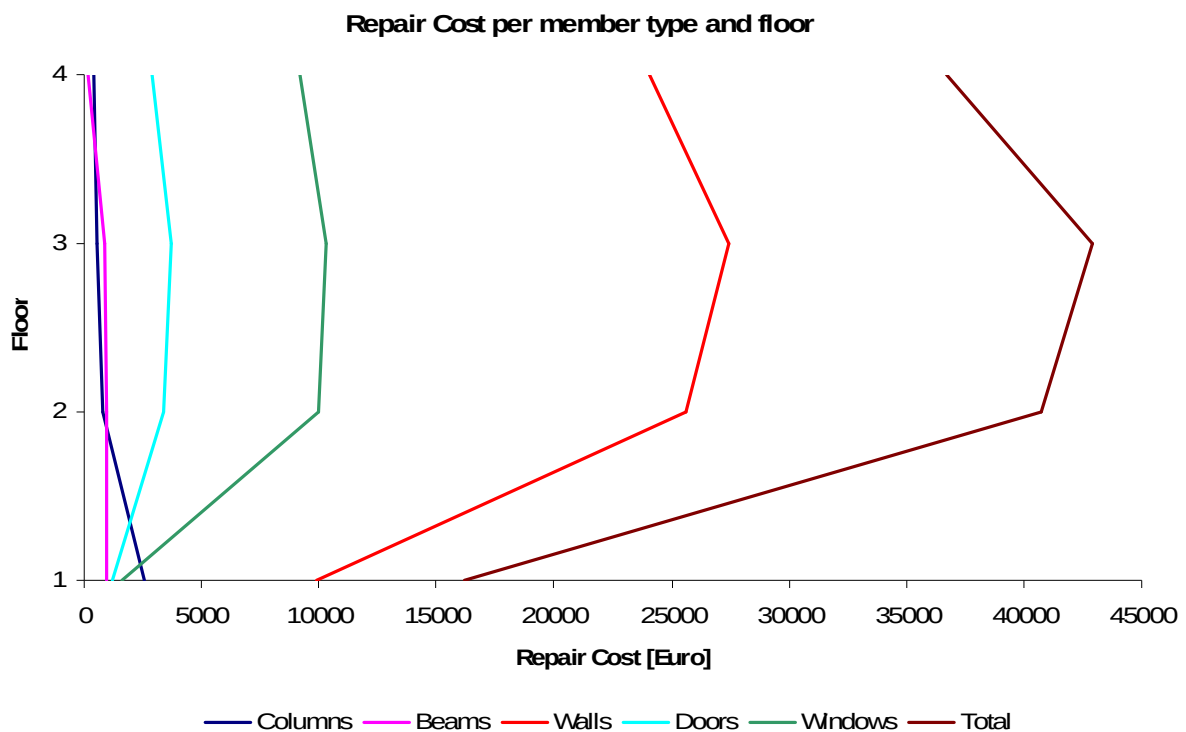
Πίνακας 6.50. Κόστος στοιχείων ανά ομάδα στοιχείων, όροφο και συνολικά βάσει μεθόδου Monte Carlo για συντελεστή κλιμάκωσης $\frac{1}{2}\alpha_{des}$.

	Υποστυλώματα	Δοκοί	Τοιχοπληρώσεις	Πόρτες	Παράθυρα	Ολικό
1ος όροφος						
Μέση Τιμή	303.46	494.31	864.93	136.55	250.10	2049.36
Συντ. Διασποράς	1.90	1.91	1.70	2.03	2.30	1.78
2ος όροφος						
Μέση Τιμή	103.79	508.69	8801.87	1306.49	7316.40	18037.24
Συντ. Διασποράς	3.53	1.90	0.42	0.42	0.25	0.33
3ος όροφος						
Μέση Τιμή	100.24	513.68	11410.41	1552.69	7856.39	21433.41
Συντ. Διασποράς	2.92	1.75	0.32	0.33	0.16	0.24
4ος όροφος						
Μέση Τιμή	47.64	79.86	9248.27	1201.46	6852.64	17429.88
Συντ. Διασποράς	4.93	3.87	0.37	0.39	0.19	0.28
Ολικό						
Μέση Τιμή	555.13	1596.55	30325.48	4197.19	22275.53	58949.88
Συντ. Διασποράς	2.45	1.91	0.36	0.33	0.19	0.30

Πίνακας 6.51. Κόστος στοιχείων ανά ομάδα στοιχείων, όροφο και συνολικά βάσει μεθόδου Monte Carlo για συντελεστή κλιμάκωσης $2\alpha_{des}$.

	Υποστυλώματα	Δοκοί	Τοιχοπληρώσεις	Πόρτες	Παράθυρα	Ολικό
1ος όροφος						
Μέση Τιμή	11003.85	2093.04	21189.36	2529.21	1954.42	38769.88
Συντ. Διασποράς	0.31	1.12	0.04	0.16	0.08	0.13
2ος όροφος						
Μέση Τιμή	2654.07	2134.50	30927.78	4627.93	10790.35	51134.62
Συντ. Διασποράς	0.57	1.13	0.01	0.13	0.01	0.08
3ος όροφος						
Μέση Τιμή	2230.04	1708.38	30731.95	4653.44	10797.79	50121.61
Συντ. Διασποράς	0.52	1.27	0.01	0.13	0.01	0.06
4ος όροφος						
Μέση Τιμή	1666.97	310.67	28599.42	4053.27	10010.85	44641.18
Συντ. Διασποράς	0.65	2.86	0.01	0.15	0.02	0.04
Ολικό						
Μέση Τιμή	17554.94	6246.58	111448.50	15863.86	33553.41	184667.30
Συντ. Διασποράς	0.34	1.20	0.01	0.07	0.01	0.07

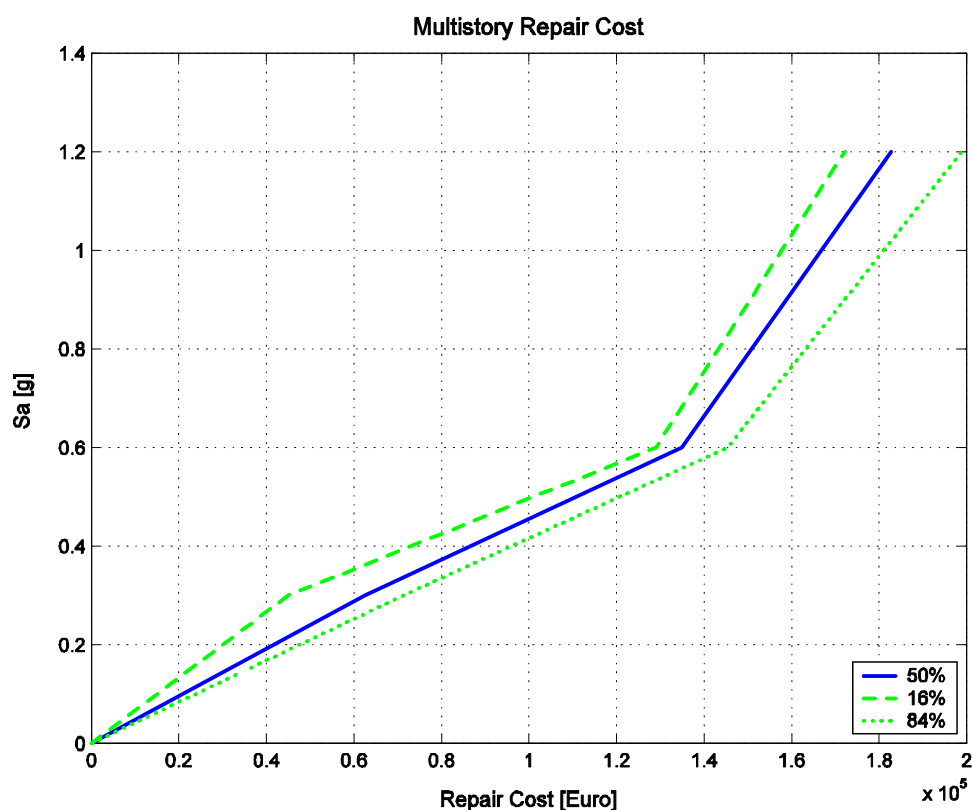
Στο Σχήμα 6.31 παρουσιάζεται η κατανομή του συνολικού κόστους επισκευής ανά ομάδα στοιχείων και ανά όροφο. Στο Σχήμα 6.32, παρουσιάζεται η κατανομή του συνολικού κόστους επισκευής του κτιρίου για τα τρία επίπεδα έντασης για τα οποία έχει πραγματοποιηθεί η ανάλυση. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η διάμεση (50%) τιμή του συνολικού κόστους επισκευής όπως επίσης και η τυπική απόκλιση του κόστους αυτού υπό τη μορφή του κάτω και του άνω ορίου κόστους τα οποία αντιστοιχούν στο 16% και 84% της κατανομής, αντίστοιχα. Δηλαδή, παρουσιάζονται οι τιμές κόστους κάτω από τις οποίες βρίσκεται το 16%, 50% και 84% από το πλήθος των 5000 δειγμάτων κόστους επισκευής του κτιρίου. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.52. Οι καμπύλες οι οποίες συνδέουν κάθε επίπεδο έντασης με το αναμενόμενο κόστος επισκευής του κτιρίου μπορούν να συνδυαστούν με καμπύλες σεισμικού κινδύνου για την εξαγωγή μέσω ετήσιων συχνοτήτων υπέρβασης κόστους.



Σχήμα 6.31. Κόστος επισκευής ανά ομάδα στοιχείων και όροφο για συντελεστή κλιμάκωσης $1\dot{\alpha}_{des}$.

Πίνακας 6.52. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής κτιρίου για τα τρία επίπεδα έντασης βάσει μεθόδου Monte Carlo.

$Sa(T1)$ [g]	Κάτω όριο κόστους	Διάμεση τιμή κόστους	Άνω όριο κόστους
	16 %	50 %	84 %
0.30	45007.96	62491.01	71347.29
0.60	129017.23	134836.26	145357.03
1.20	172079.91	182647.10	198877.75



Σχήμα 6.32. Κατανομή συνολικού κόστους επισκευής κτιρίου για τα τρία επίπεδα έντασης, βάσει μεθόδου Monte Carlo.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1. Σύνοψη μεθοδολογίας

Στην παρούσα εργασία, έχει παρουσιαστεί η μεθοδολογία της Σεισμικής Μηχανικής Βάσει Επιτελεστικότητας, η οποία αποτελεί τη φυσική εξέλιξη της διαδικασίας σχεδιασμού των κατασκευών ώστε να συμπεριλαμβάνονται οι ιδιαίτερες απαιτήσεις των ιδιοκτητών για αυξημένη απόδοση των κτιρίων τους. Η μεθοδολογία αυτή παρέχει μια πλήρη εκτίμηση της κτιριακής συμπεριφοράς για κάθε επίπεδο σεισμικής έντασης και για οποιαδήποτε στάθμη επιτελεστικότητας μέσω της ολοκλήρωσης της σεισμικής επικινδυνότητας και των αποτελεσμάτων της δομικής ανάλυσης με δεδομένα βλαβών και κόστους για να παραχθούν ρεαλιστικές εκτιμήσεις των επιπτώσεων που συνεπάγεται ένας σεισμός.

Στην εργασία αυτή, έχει αναπτυχθεί λογισμικό για την εφαρμογή της μεθοδολογίας αυτής σε ένα τετραώροφο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα για την αυτόματη και ολοκληρωμένη εκτίμηση σεισμικών βλαβών και τον υπολογισμό του κόστους μετασεισμικής αποκατάστασής του. Μέσω της διαδικασίας αυτής, έχουν παραχθεί ρεαλιστικές εκτιμήσεις των βλαβών που προκαλούνται στα μέλη του κτιρίου για τρία επίπεδα σεισμικής έντασης, για δεδομένο ζεύγος επιταχυνσιογραφημάτων, ενώ συνεκτιμώντας την επιστημική αβεβαιότητα στην τρωτότητα και τη φυσική αβεβαιότητα στο κόστος επισκευής των μελών έχει επιτευχθεί ο προσδιορισμός όχι μόνο της κεντρικής τιμής αλλά και της διασποράς των ζητουμένων, προσφέροντας μια πλήρη εκτίμηση του οικονομικού κινδύνου που ζητείται να αναλάβει ο ιδιοκτήτης του κτιρίου. Επιπρόσθετα, η απεικόνιση των δεδομένων βλάβης επί του τρισδιάστατου προσομοιώματος του κτιρίου προσφέρει τη δυνατότητα σε μηχανικούς και κατασκευαστές να δημιουργήσουν μια ολοκληρωμένη εικόνα για τη σεισμική συμπεριφορά του κτιρίου η οποία γίνεται εύκολα κατανοητή από μη μηχανικούς πελάτες.

Βάσει του φάσματος σχεδιασμού του σεισμού για την περιοχή μελέτης που είναι η Λευκωσία έχει καθοριστεί η φασματική επιτάχυνση στη θεμελιώδη ιδιομορφή-περίοδο του κτιρίου σε απόσβεση 5%, $S_a(T_1, 5\%)$. Η τιμή αυτή της έντασης της εδαφικής κίνησης αποτέλεσε το μέτρο έντασης IM, βάσει του οποίου έχει κλιμακωθεί το επιλεχθέν ζεύγος επιταχυνσιογραφημάτων στα τρία επίπεδα σεισμικής έντασης. Για το σενάριο αυτό πραγματοποιήθηκε ένα σύνολο από μη

γραμμικές δυναμικές αναλύσεις του κτιρίου και από κάθε ανάλυση προέκυψε ένα σύνολο δομικών αποκρίσεων οι οποίες αποτέλεσαν τα μέτρα απόκρισης EDP των μελών του κτιρίου.

Οι αποκρίσεις των δομικών και μη στοιχείων του κτιρίου, και συγκεκριμένα των υποστυλωμάτων, των δοκών, των τοιχοπληρώσεων, των πορτών και των παραθύρων, εισήχθησαν σε συναρτήσεις τρωτότητας και συγκρίθηκε η απόκριση στην οποία έχουν εκτεθεί με τη φέρουσα ικανότητά τους, προκειμένου να καθοριστεί η πιθανότητα κάθε μέλος να έχει ξεπεράσει την οριακή του κατάσταση και να απαιτεί επισκευή ή αντικατάσταση. Πραγματοποιώντας αυτή τη διαδικασία σύγκρισης για κάθε μέλος της κατασκευής, δημιουργήθηκε μία πλήρης εικόνα της κατάστασης ζημιών όλου του κτιρίου. Λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος ζημιάς για κάθε μέλος, υπολογίστηκε το κόστος επισκευής τους και προσδιορίστηκε το συνολικό κόστος επισκευής του κτιρίου μέσω δύο μεθόδων για μεγαλύτερη ακρίβεια αποτελεσμάτων.

7.2. Σύνοψη αποτελεσμάτων

Από την ανάλυση η οποία πραγματοποιείται μέσω του λογισμικού, για σενάριο σεισμού με το αναμενόμενο επίπεδο σεισμικής έντασης για την περιοχή μελέτης, δηλαδή για την αναμενόμενη μετασεισμική κατάσταση του τετραώροφου κτιρίου για ένα σεισμό σε στάθμη Ασφάλειας Ζωής (Life Safety), προκύπτει το συμπέρασμα ότι έχουν προκληθεί σοβαρές ζημιές σε όλους τους ορόφους του κτιρίου με εξαίρεση τον πρώτο όπου είναι κάπως ελαφρότερες.

Τα υποστυλώματα παρουσιάζουν μεμονωμένες περιπτώσεις ελαφρών ζημιών με τα πλείστα να μην παθαίνουν ζημιές. Οι δοκοί δεν παθαίνουν καμιά ζημιά, κάτι το οποίο δεν ισχύει για τις τοιχοπληρώσεις, οι οποίες με εξαίρεση τον πρώτο όροφο στον οποίο παρουσιάζουν μέτριες και σοβαρές ζημιές, στους τρεις υπερκείμενους ορόφους καταρρέουν όλες. Τα παράθυρα και οι πόρτες παρουσιάζουν προβλήματα λειτουργικής φύσεως και στις πλείστες περιπτώσεις παρατηρείται πλήρης απώλεια. Λόγω των εκτεταμένων καταστροφών, το κόστος επισκευής του κτιρίου, αν και μικρότερο από το κόστος πλήρους κατεδάφισης και ανακατασκευής του, θεωρείται αρκετά υψηλό. Συγκεκριμένα αυτό ανέρχεται γύρω στα €136450 με συντελεστή διασποράς 9%.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα κόστους ανά ομάδα μελών, ανά όροφο και συνολικά βάσει της πρώτης μεθόδου και της μεθόδου Monte Carlo, παρατηρείται ότι η διαφορά στην αναμενόμενη μέση τιμή κόστους επισκευής του κτιρίου είναι αμελητέα με το συντελεστή διασποράς να είναι αρκετά κοντά ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου το κόστος ανά ομάδα στοιχείων και όροφο είναι αρκετά υψηλό. Εντούτοις, σε αντίθεση με την πρώτη μέθοδο βάσει της οποίας καταλήγουμε σε μια τιμή κόστους επισκευής, στη δεύτερη μέθοδο καταλήγουμε στην πλήρη κατανομή του κόστους με 5000 διαφορετικά δυνατά σενάρια κόστους επισκευής, κάτι το οποίο καθιστά τη μέθοδο αυτή πληρέστερη. Η απεικόνιση των ζημιών των μελών στο τρισδιάστατο μοντέλο του κτιρίου προσφέρει τη δυνατότητα για άμεση διαπίστωση της πραγματικής μετασεισμικής κατάστασης του κτιρίου και κατανόηση της απόδοσης του κτιρίου σε σεισμό ακόμη και από μη μηχανικούς πελάτες.

7.3. Συστάσεις για μελλοντική έρευνα

Η Σεισμική Μηχανική Βάσει Επιτελεστικότητας αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία, η οποία παγκοσμίως παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον και έχει σκοπό τον υπολογισμό του κόστους και της χρονικής διάρκειας μετασεισμικής αποκατάστασης κατασκευών όπως επίσης και την εκτίμηση των απωλειών ανθρώπινων ζωών. Αν και στα πλαίσια αυτής της διατριβής έχει δοθεί έμφαση στο πρώτο θέμα το οποίο είναι η εκτίμηση των ζημιών, η τρισδιάστατη απεικόνισή τους και ο υπολογισμός του κόστους αποκατάστασης κτιρίων σε σεισμό, μελλοντική επιδίωξη, είναι η επέκταση αυτής της έρευνας στη χρήση τεχνικών χρονικού προγραμματισμού των εργασιών επιδιόρθωσης για την εκτίμηση του απαιτούμενου χρόνου αποκατάστασης, προκειμένου να παρουσιαστεί ολοκληρωμένη η μεθοδολογία όπως έχει αναπτυχθεί εκτενώς στο Κεφάλαιο 2.

Ένα απλό παράδειγμα για να κατανοηθεί η σημαντικότητα αυτού του ζητήματος, είναι εάν κάποιος φανταστεί, ένα μεγάλο συγκρότημα γραφείων, μια μεγάλη υπεραγορά ή ένα πολυκινηματογράφο, να παραμείνουν κλειστά έστω και για μια εβδομάδα, οπότε δεν είναι μόνο το κόστος των απωλειών, των επισκευών και της χρονικής διάρκειας που θα είναι κενά, αλλά είναι και το χαμένο κέρδος από τη μη διεκπεραίωση των εργασιών τους και τη μη προσέλκυση πελατών.

Επιπρόσθετα πρέπει να γίνει αξιοποίηση πολλαπλών επιταχυνσιογραφημάτων κλιμακωμένων σε περισσότερα επίπεδα, προκειμένου να καλυφθεί μεγαλύτερο φάσμα πιθανών σεναρίων σεισμού και με αυτό τον τρόπο να υπάρξει μεγαλύτερη ακρίβεια αλλά και αξιοπιστία ότι η μεθοδολογία η οποία εφαρμόζεται προβλέπει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις πιθανές ζημιές οι οποίες ενδέχεται να προκύψουν μετά από ένα σεισμικό γεγονός στο συγκεκριμένο κτίριο. Θα ληφθούν υπόψη φαινόμενα οικονομίας κλίμακας, δηλαδή η μείωση του κόστους επισκευών για μεγαλύτερου μεγέθους εργασίες, ενώ θα εισαχθεί η συσχέτιση (correlation) μεταξύ των αντοχών των στοιχείων του κτιρίου (Baker 2008) αφού ίδια στοιχεία π.χ. ίδια υποστυλώματα στον ίδιο όροφο πιθανόν να έχουν ανάλογες και ισχυρά συσχετισμένες αντοχές αφού έχουν κατασκευαστεί από το ίδιο συνεργείο με τα ίδια υλικά. Επιπλέον, αξιοποιώντας τις απόλυτες επιταχύνσεις των πλακών ορόφων του κτιρίου, οι οποίες έχουν υπολογιστεί από το λογισμικό στο Matlab και έχουν παρουσιαστεί στο Κεφάλαιο 6, θα μελετηθεί η τρωτότητα των περιεχομένων του κτιρίου. Με τις παραπάνω προσθήκες θα εκτιμηθεί με περισσότερη ακρίβεια η μετασεισμική απόδοση του κτιρίου και το κόστος αποκατάστασής του.

Αξιοποιώντας σχεσιακές βάσεις δεδομένων π.χ. MS Office Access (Microsoft 2007) και γενικότερα εργαλεία διαχείρισης έργου τα οποία είναι διαθέσιμα στον κλάδο της μηχανικής, προσφέρεται η δυνατότητα για την ανάπτυξη ολοκληρωμένου λογισμικού, το οποίο θα επιτρέπει την αυτοματοποιημένη απεικόνιση των μετασεισμικών βλαβών, του κόστους αποκατάστασης ανά στοιχείο, όροφο και κτίριο και του προτεινόμενου προγράμματος εργασιών για την αποκατάσταση των ζημιών για δεδομένο σεισμικό γεγονός. Με την προσθήκη της χρονικής διάστασης για τετραδιάστατη (4D) απεικόνιση, θα καθίσταται δυνατή η προσομοίωση και προσεκτική μελέτη των εργασιών αποκατάστασης μέσω της ολοκλήρωσης της τρισδιάστατης γεωμετρίας με το χρονικό προγραμματισμό προκειμένου να αποφεύγονται σφάλματα π.χ. λόγω χωρικών περιορισμών (Griffis & Sturts 2000). Το πρόγραμμα το οποίο θα αναπτυχθεί θα επιτρέπει την απεικόνιση όλων των αποτελεσμάτων σε εικονικό περιβάλλον (virtual reality) παρέχοντας καλύτερη και πληρέστερη επικοινωνία μεταξύ μελετητών, κατασκευαστών και πελατών.

Το τελικό αποτέλεσμα θα αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για τον τεχνικό κόσμο καθώς θα επιτρέπει την αυτοματοποίηση των αναλύσεων κόστους και του προγραμματισμού εργασιών αποκατάστασης για μια ολοκληρωμένη απεικόνιση της μετασεισμικής κατάστασης του κτιρίου

σε τρισδιάστατο/τετραδιάστατο περιβάλλον. Αυτό το εργαλείο θα δύναται να χρησιμοποιηθεί κατά το σχεδιασμό κτιρίων και ταυτόχρονα θα συνιστά ένα όργανο για ταχεία μετασεισμική ενέργεια καθώς θα προσφέρει μια άμεση εικόνα των πιθανότερων βλαβών και προβλημάτων που ενδέχεται να αντιμετωπίσει όποιος εισέρχεται στο κτίριο μετά το σεισμικό γεγονός (Kamat & El-Tawil 2007).

Επιπλέον, πέρα από το κόστος, τη χρονική διάρκεια μετασεισμικής αποκατάστασης και την τρισδιάστατη/τετραδιάστατη απεικόνιση, η πιο περίπλοκη και ταυτόχρονα σημαντικότερη πτυχή αυτού του είδους ερευνών, είναι αναμφισβήτητη η εκτίμηση των αναμενόμενων απωλειών ανθρώπινων ζώων σε περίπτωση σεισμού, μιας και είναι χιλιάδες οι άνθρωποι οι οποίοι έχουν σκοτωθεί κατά τη διάρκεια μεγάλων σεισμών όπως στο σεισμό Kobe (1995) στην Ιαπωνία, το σεισμό Northridge (1994), Loma Prieta (1989) και San Fernando (1971) στις Η.Π.Α., αλλά και τον πρόσφατο σεισμό στην πόλη L'Aquila (2009) στην Ιταλία.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

American Society for Testing and Materials (ASTM), (1996), E1557-96 *Standard Classification for Building Elements and Related Sitework - UNIFORMAT II*, 1997 Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Construction, Volume 04.11 Building Constructions, West Conshohocken, PA, 630-639.

Applied Technology Council (ATC), (1996), Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Report No. ATC-40*, Redwood City, CA.

Aslani H., and Miranda E., (2005), Probabilistic Earthquake Loss Estimation and Loss Disaggregation in Buildings, *Report No. 157*, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford, CA.

AutoDesk, (2005), *AutoCAD*, <http://www.autodesk.com/>.

Baker J., (2008), Introducing Correlation Among Fragility Functions for Multiple Components, *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China.

Benjamin J.R., and Cornell C.A., (1970), *Probability, Statistics, and Decisions for Civil Engineers*, McGraw-Hill, New York.

Boore D.M., Joyner W.B., and Fumal T.E., (1993), Estimation of Response Spectra and Peak Accelerations from Western North America Earthquakes: An Interim Report, *Open-File-Report 93-509*, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.

Cornell C.A., and Krawinkler H., (2000), Progress and Challenges in Seismic Performance Assessment, *PEER Center News*, 3(2), 1-2.

CYS, (2008), National Annex to CYS EN 1998-1:2005 Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, Nicosia, Cyprus.

FEMA (2000), Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Report No. FEMA-356*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

Jalayer F., and Cornell C.A., (2002), A Technical Framework for Probability-Based Demand and Capacity Factor (DCFD) Seismic Formats, *Report No. RMS-43*, RMS Program, Stanford University, Stanford, CA.

Goulet C.A., Haselton C.B., Mitrani-Reiser J., Beck J.L., Deierlein G.G., Porter K.A. and Stewart J.P., (2007), Evaluation of the Seismic Performance of a Code-Conforming Reinforced-Concrete Frame Building- from Seismic Hazard to Collapse Safety and Economic Losses, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 36, 1973-1997.

Graphisoft, (2006), *ArchiCAD*, <http://www.graphisoft.com/>.

Griffis F.H., and Sturts C.S., (2000), *Three-Dimensional Computer Models and the Fully Integrated and Automated Project Process for the Management of Construction*, Construction Industry Institute (CII).

Kamat V.R., and El-Tawil S., (2007), Evaluation of Augmented Reality for Rapid Assessment of Earthquake-Induced Building Damage, *ASCE Journal of Computing in Civil Engineering*, 21(5), 303-310.

Kramer S. L., (1996), *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, New York.

Kustu O., Miller D. D., and Brokken S. T., (1982), Development of Damage Functions for Highrise Building Components, *JAB-10145-2*, URS/John A. Blume and Associates, San Francisco, CA.

Kustu O., (1986), Earthquake damage prediction for buildings using component test data, *Proceedings of the 3rd U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, August 34-28, Charleston, South Carolina, 2, 1493-1504.

Luco N., and Cornell C.A., (2007), Structure-Specific Scalar Intensity Measures for Near-Source and Ordinary Earthquake Ground Motions, *Earthquake Spectra*, 23, 357-392.

Mander J.B., Priestley M.J.N., and Park R., Fellow, ASCE (1988), Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804-1825.

MathWorks, (2002), *MATLAB The Language of Technical Computing*, <http://www.mathworks.com/>

Mazzoni S., McKenna F., Scott M.H., and Fenves G.L., (2007), The OpenSEES Command Language Manual, *Pacific Earthquake Engineering Research Centre*, University of California, Berkeley.

Menun C., (2002), *CEE203 Class Notes: Probability Models in Civil Engineering*, Stanford University, Stanford, CA.

Microsoft Corporation, (2007), *Microsoft Office Access*, <http://office.microsoft.com/access/>.

Microsoft Corporation, (2007), *Microsoft Office Project*, <http://office.microsoft.com/project/>.

Miranda E., and Aslani H., (2003), Probabilistic Response Assessment for Building-Specific Loss Estimation, *Report No. PEER 2003/03*, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Richmond, CA.

Mitrani-Reiser J., (2007), An Ounce of Prevention: Probabilistic Loss Estimation for Performance-Based Earthquake Engineering, *PhD Thesis*, Pasadena, California.

Naeim F., Lee H., Hagie S., Bhatia H., Alimoradi A., Miranda E., (2006), Three-Dimensional Analysis, Real-Time Visualization, and Automated Post-Earthquake Damage Assessment of Buildings, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 15, 105-138.

Oracle, (2007), *Primavera P3 Project Planner*, <http://www.oracle.com/applications/primavera/primavera-p3-project-planner.html>.

PEER Center, (2006), Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSEES), *Pacific Earthquake Engineering Research Center*, University of California, Berkeley, <http://opensees.berkeley.edu/>.

PEER, (2007), PEER NGA Database, *Pacific Earthquake Engineering Research Center*, University of California, Berkeley, <http://www.peer.berkeley.edu/nga>.

Porter K. A., (2000), Assembly-Based Vulnerability of Buildings and Its Use in Seismic Performance Evaluation and Risk-Management Decision-Making, *PhD Thesis*, Stanford University, Stanford, CA.

Porter K. A., and Kiremidjian A. S., (2001), Assembly-Based Vulnerability and Its Use in Seismic Performance Evaluation and Risk-Management Decision-Making, *Report No. 309*, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford, CA.

Porter K.A., Kiremidjian A.S., and LeGrue J.S., (2001a), Assembly-Based Vulnerability of Buildings and Its Use in Performance Evaluation, *Earthquake Spectra*, 17 (2), 291-312.

Porter K.A., Beck J.L., and Shaikhutdinov R.V., (2002), Sensitivity of Building Loss Estimates to Major Uncertain Variables, *Earthquake Spectra*, 18 (4), 719-743.

Porter K., Kennedy R., and Bachman R., (2007), Creating Fragility Functions for Performance-Based Earthquake Engineering, *Earthquake Spectra*, 23 (2), 471-489.

RS Means Co., (1997a), *Building Construction Cost Data*, (1998), Kingston, MA.

RS Means Co., (1997b), *Assemblies Cost Data*, 23rd Edition (1998), Kingston, MA.

SAC (2000), Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings, *Report No. FEMA-350*, SAC Joint Venture, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.

Scholl R. E., (1980), Seismic Damage Assessment for Highrise Buildings, *Open File Report 81-031*, U.S. Geological Survey, Menlo Park, CA.

Σύνδεσμος Πολιτικών Μηχανικών και Αρχιτεκτόνων Κύπρου (ΣΠΜΑΚ), (1991), *Σεισμικός Κώδικας για Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα στην Κύπρο*, Λευκωσία.

Vamvatsikos D., and Cornell C.A., (2002), Incremental Dynamic Analysis, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, 491-514.

Vamvatsikos D., and Cornell C.A., (2004), Applied Incremental Dynamic Analysis, *Earthquake Spectra*, 20 (2), 523-553.

Zeris C., Vamvatsikos D., Giannitsas P., and Alexandropoulos K., (2007), Impact of FE Modeling in the Seismic Performance Prediction of Existing RC buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, 491-514.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Α - Πίνακες Μελών Κτιρίου

Α.1. Πίνακες Υποστυλωμάτων

Πίνακας Α.1. Πληροφορίες υποστυλωμάτων 1^{ου} ορόφου.

ID	Height (m)	Area (m ²)	Perimeter (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Type
CL001	3.000	0.381	3.547	10.64	1.143	C
CL002	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL003	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL004	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL005	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL006	3.000	1.075	9.100	27.30	3.225	W
CL007	3.000	0.240	2.416	7.248	0.720	C
CL008	3.000	1.800	14.90	44.70	5.400	W
CL009	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL010	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL011	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL012	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL013	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL014	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL015	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL016	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL017	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL018	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL019	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL020	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL021	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL022	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL023	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL024	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C

Πίνακας Α.2. Πληροφορίες υποστυλωμάτων 2^{ου} ορόφου.

ID	Height (m)	Area (m ²)	Perimeter (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Type
CL101	3.000	0.381	3.547	10.64	1.143	C
CL102	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL103	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL104	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL105	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL106	3.000	1.075	9.100	27.30	3.225	W
CL107	3.000	0.240	2.416	7.248	0.720	C
CL108	3.000	1.800	14.90	44.70	5.400	W
CL109	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL110	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL111	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL112	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL113	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL114	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL115	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL116	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL117	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL118	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL119	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL120	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL121	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL122	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL123	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL124	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C

Πίνακας Α.3. Πληροφορίες υποστυλωμάτων 3^{ου} ορόφου.

ID	Height (m)	Area (m ²)	Perimeter (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Type
CL201	3.000	0.381	3.547	10.64	1.143	C
CL202	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL203	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL204	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL205	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL206	3.000	1.075	9.100	27.30	3.225	W
CL207	3.000	0.240	2.416	7.248	0.720	C
CL208	3.000	1.800	14.90	44.70	5.400	W
CL209	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL210	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL211	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL212	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL213	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL214	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL215	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL216	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL217	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL218	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL219	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL220	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL221	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL222	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL223	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL224	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C

Πίνακας Α.4. Πληροφορίες υποστυλωμάτων 4^{ου} ορόφου.

ID	Height (m)	Area (m ²)	Perimeter (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Type
CL301	3.000	0.381	3.547	10.64	1.143	C
CL302	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL303	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL304	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL305	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL306	3.000	1.075	9.100	27.30	3.225	W
CL307	3.000	0.240	2.416	7.248	0.720	C
CL308	3.000	1.800	14.90	44.70	5.400	W
CL309	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL310	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL311	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL312	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL313	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL314	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL316	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL317	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL318	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL319	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL320	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL322	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL323	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C
CL324	3.000	0.125	1.500	4.500	0.375	C

A.2. Πίνακες Δοκών

Πίνακας A.5. Πληροφορίες δοκών 1^{ου} ορόφου.

ID	Height (m)	Width (m)	Length (m)	Bottom Surface (m ²)	Edge Surface (m ²)	Volume (m ³)
BM051	0.600	0.250	5.911	1.453	3.486	0.872
BM052	0.600	0.250	1.000	0.250	0.600	0.150
BM053	0.600	0.250	4.000	1.000	2.400	0.600
BM054	0.600	0.250	6.300	1.575	3.780	0.945
BM055	0.600	0.250	1.449	0.362	0.869	0.217
BM056	0.600	0.250	6.000	1.500	3.600	0.900
BM057	0.600	0.250	3.600	0.900	2.160	0.540
BM058	0.600	0.250	1.750	0.438	1.050	0.263
BM059	0.600	0.250	4.000	1.000	2.400	0.600
BM060	0.600	0.250	6.300	1.575	3.780	0.945
BM061	0.600	0.250	2.375	0.594	1.425	0.356
BM062	0.600	0.250	6.300	1.575	3.780	0.945
BM063	0.600	0.250	2.375	0.594	1.425	0.356
BM064	0.600	0.250	5.750	1.437	3.450	0.862
BM065	0.600	0.250	3.225	0.806	1.935	0.484
BM066	0.600	0.250	4.366	1.090	2.620	0.654
BM067	0.600	0.250	2.625	0.656	1.575	0.394
BM068	0.600	0.250	7.000	1.710	4.080	1.026
BM069	0.600	0.250	7.000	1.750	4.200	1.050
BM070	0.600	0.250	7.000	1.750	4.200	1.050
BM071	0.600	0.250	7.000	1.750	4.200	1.050
BM072	0.600	0.250	3.475	0.869	2.085	0.521
BM073	0.600	0.250	3.350	0.837	2.010	0.502
BM074	0.600	0.250	3.350	0.837	2.010	0.502
BM075	0.600	0.250	5.875	1.469	3.525	0.881
BM076	0.600	0.250	5.875	1.469	3.525	0.881
BM077	0.600	0.250	3.599	0.900	2.160	0.540
BM078	0.600	0.250	3.600	0.900	2.160	0.540
BM079	0.600	0.250	3.475	0.869	2.085	0.521
BM080	0.600	0.250	3.475	0.869	2.085	0.521
BM081	0.600	0.250	4.350	1.087	2.610	0.652

Πίνακας A.6. Πληροφορίες δοκών 2^{ου} ορόφου.

ID	Height (m)	Width (m)	Length (m)	Bottom Surface (m ²)	Edge Surface (m ²)	Volume (m ³)
BM151	0.600	0.250	5.911	1.478	3.546	0.887
BM152	0.600	0.250	1.000	0.250	0.600	0.150
BM153	0.600	0.250	4.000	1.000	2.400	0.600
BM154	0.600	0.250	6.300	1.575	3.780	0.945
BM155	0.600	0.250	1.449	0.362	0.869	0.217
BM156	0.600	0.250	6.000	1.460	3.540	0.876
BM157	0.600	0.250	3.600	0.875	2.160	0.525
BM158	0.600	0.250	1.750	0.438	1.050	0.263
BM159	0.600	0.250	4.000	1.000	2.400	0.600
BM160	0.600	0.250	6.300	1.015	0.600	0.609
BM161	0.600	0.250	2.375	0.594	1.425	0.356
BM162	0.600	0.250	6.300	1.575	3.780	0.945

BM163	0.600	0.250	2.375	0.594	1.425	0.356
BM164	0.600	0.250	5.750	1.437	3.390	0.862
BM165	0.600	0.250	3.225	0.806	1.935	0.484
BM166	0.600	0.250	4.366	1.090	2.620	0.654
BM167	0.600	0.250	2.625	0.656	1.575	0.394
BM168	0.600	0.250	7.000	1.750	4.200	1.050
BM169	0.600	0.250	7.000	1.750	4.200	1.050
BM170	0.600	0.250	7.000	1.750	4.200	1.050
BM171	0.600	0.250	7.000	1.750	4.200	1.050
BM172	0.600	0.250	3.475	0.869	2.085	0.521
BM173	0.600	0.250	3.350	0.812	1.950	0.487
BM174	0.600	0.250	3.350	0.837	2.010	0.502
BM175	0.600	0.250	5.875	1.469	3.525	0.881
BM176	0.600	0.250	5.875	1.469	3.525	0.881
BM177	0.600	0.250	3.599	0.900	2.160	0.540
BM178	0.600	0.250	3.600	0.900	2.160	0.540
BM179	0.600	0.250	3.475	0.839	1.965	0.503
BM180	0.600	0.250	3.475	0.869	2.085	0.521
BM181	0.600	0.250	4.350	1.087	2.610	0.652

Πίνακας Α.7. Πληροφορίες δοκών 3^{ου} ορόφου.

<i>ID</i>	<i>Height (m)</i>	<i>Width (m)</i>	<i>Length (m)</i>	<i>Bottom Surface (m²)</i>	<i>Edge Surface (m²)</i>	<i>Volume (m³)</i>
BM251	0.600	0.250	5.911	1.478	3.546	0.887
BM252	0.600	0.250	1.000	0.250	0.600	0.150
BM253	0.600	0.250	4.000	1.000	2.400	0.600
BM254	0.600	0.250	6.300	1.575	3.780	0.945
BM255	0.600	0.250	1.449	0.362	0.869	0.217
BM256	0.600	0.250	6.000	1.460	3.540	0.876
BM257	0.600	0.250	3.600	0.875	2.160	0.525
BM258	0.600	0.250	1.750	0.438	1.050	0.263
BM259	0.600	0.250	4.000	1.000	2.400	0.600
BM260	0.600	0.250	6.300	1.015	0.600	0.609
BM261	0.600	0.250	2.375	0.594	1.425	0.356
BM262	0.600	0.250	6.300	1.575	3.780	0.945
BM263	0.600	0.250	2.375	0.594	1.425	0.356
BM264	0.600	0.250	5.750	1.437	3.390	0.862
BM265	0.600	0.250	3.225	0.806	1.935	0.484
BM266	0.600	0.250	4.366	1.090	2.620	0.654
BM267	0.600	0.250	2.625	0.656	1.575	0.394
BM268	0.600	0.250	7.000	1.750	4.200	1.050
BM269	0.600	0.250	7.000	1.750	4.200	1.050
BM270	0.600	0.250	7.000	1.750	4.200	1.050
BM271	0.600	0.250	7.000	1.750	4.200	1.050
BM272	0.600	0.250	3.475	0.869	2.085	0.521
BM273	0.600	0.250	3.350	0.812	1.950	0.487
BM274	0.600	0.250	3.350	0.837	2.010	0.502
BM275	0.600	0.250	5.875	1.469	3.525	0.881
BM276	0.600	0.250	5.875	1.469	3.525	0.881
BM277	0.600	0.250	3.599	0.900	2.160	0.540
BM278	0.600	0.250	3.600	0.900	2.160	0.540
BM279	0.600	0.250	3.475	0.839	1.965	0.503
BM280	0.600	0.250	3.475	0.869	2.085	0.521
BM281	0.600	0.250	4.350	1.087	2.610	0.652

Πίνακας Α.8. Πληροφορίες δοκών 4^{ου} ορόφου.

ID	Height (m)	Width (m)	Length (m)	Bottom Surface (m ²)	Edge Surface (m ²)	Volume (m ³)
BM351	0.600	0.250	5.911	1.415	3.396	0.849
BM352	0.600	0.250	1.000	0.250	0.600	0.150
BM353	0.600	0.250	4.000	1.000	2.400	0.600
BM354	0.600	0.250	6.300	1.575	3.780	0.945
BM355	0.600	0.250	1.449	0.362	0.869	0.217
BM356	0.600	0.250	6.000	1.413	3.390	0.848
BM357	0.600	0.250	3.600	0.875	2.160	0.525
BM358	0.600	0.250	1.750	0.438	1.050	0.263
BM359	0.600	0.250	4.000	1.000	2.400	0.600
BM360	0.600	0.250	6.300	1.015	0.600	0.609
BM362	0.600	0.250	6.300	1.575	3.780	0.945
BM364	0.600	0.250	5.750	1.437	3.390	0.862
BM365	0.600	0.250	3.225	0.806	1.935	0.484
BM366	0.600	0.250	4.366	1.090	2.620	0.654
BM367	0.600	0.250	2.625	0.656	1.575	0.394
BM368	0.600	0.250	7.000	1.750	4.200	1.050
BM369	0.600	0.250	7.000	1.750	4.200	1.050
BM370	0.600	0.250	7.000	1.750	4.200	1.050
BM371	0.600	0.250	7.000	1.750	4.200	1.050
BM372	0.600	0.250	3.475	0.869	2.085	0.521
BM373	0.600	0.250	3.350	0.590	1.060	0.398
BM374	0.600	0.250	3.350	0.837	2.010	0.502
BM375	0.600	0.250	5.875	1.469	3.525	0.881
BM376	0.600	0.250	5.875	1.469	3.525	0.881
BM378	0.600	0.250	3.600	0.900	2.160	0.540
BM379	0.600	0.250	3.475	0.854	2.025	0.512
BM380	0.600	0.250	3.475	0.869	2.085	0.521
BM381	0.600	0.250	4.350	1.087	2.610	0.652

Α.3. Πίνακες Τοιχοπληρώσεων

Πίνακας Α.9. Πληροφορίες τοιχοπληρώσεων 1^{ου} ορόφου.

ID	Height (m)	Length (m)	Thickness (m)	Surface (m ²)	x_cm (m)	y_cm (m)	angle_x (°)
WL001	3.000	7.004	0.250	20.425	6.825	0.150	0
WL002	3.000	1.448	0.250	4.055	3.196	0.803	105
WL003	3.000	2.275	0.250	6.825	10.500	1.163	90
WL004	3.000	2.300	0.100	6.960	7.125	1.425	90
WL005	2.400	5.911	0.100	10.165	6.170	2.625	0
WL006	2.400	1.000	0.100	2.400	9.875	2.625	0
WL007	2.400	4.366	0.250	10.479	2.113	4.800	105
WL008	3.000	4.250	0.100	11.160	4.825	4.800	90
WL009	3.000	4.400	0.100	9.420	7.125	4.475	90
WL010	3.000	2.400	0.100	7.500	7.175	5.725	90
WL011	2.400	2.550	0.100	6.240	9.325	5.775	90
WL012	2.400	1.199	0.250	2.877	2.400	7.050	0
WL013	3.000	6.200	0.100	18.750	6.200	6.975	0
WL014	2.400	2.875	0.250	5.010	3.000	8.488	90
WL015	2.400	6.000	0.250	14.400	6.125	10.050	0
WL016	2.400	3.475	0.250	8.340	3.000	12.038	90
WL017	2.400	3.350	0.250	6.150	9.250	11.975	90

WL018	2.400	2.375	0.250	5.700	1.563	13.900	0
WL019	3.000	5.875	0.100	17.625	6.188	13.975	0
WL020	2.400	3.599	0.250	8.638	0.000	15.825	90
WL021	2.400	2.375	0.250	5.700	1.563	17.750	0
WL022	2.400	5.750	0.250	13.800	6.125	17.750	0
WL023	2.400	3.475	0.250	6.450	9.250	15.888	90
WL024	2.400	3.225	0.250	7.740	11.113	17.750	0
WL025	2.400	3.600	0.250	8.640	11.175	10.050	0
WL026	2.400	1.750	0.250	4.200	14.100	10.050	0
WL027	2.400	4.000	0.250	7.710	17.225	10.050	0
WL029	2.400	4.000	0.250	6.450	17.225	2.550	0
WL030	2.400	7.000	0.250	16.800	19.350	6.300	90
WL031	3.000	2.650	0.100	7.950	12.000	5.425	0
WL032	3.000	0.575	0.100	1.725	13.325	5.713	90
WL033	3.000	1.900	0.100	5.550	10.425	7.125	90
WL034	3.000	0.600	0.100	1.950	10.700	8.100	0
WL063	2.400	4.350	0.250	0.000	12.800	2.550	0

Πίνακας Α.10. Πληροφορίες τοιχοπληρώσεων 2^{ov} ορόφου.

ID	Height (m)	Length (m)	Thickness (m)	Surface (m ²)	x_cm (m)	y_cm (m)	angle_x (°)
WL101	2.400	5.911	0.250	4.105	6.170	2.550	0
WL102	2.400	1.000	0.250	2.400	9.875	2.550	0
WL103	2.400	4.366	0.250	5.979	2.113	4.800	105
WL104	2.400	1.199	0.250	1.477	2.400	7.050	0
WL105	3.000	2.820	0.100	8.835	4.498	6.975	0
WL106	2.400	2.825	0.250	4.770	3.000	8.488	90
WL107	3.000	0.800	0.100	2.550	5.820	7.400	90
WL108	3.000	0.950	0.100	2.610	5.820	9.000	90
WL109	2.400	6.000	0.100	14.160	6.125	9.975	0
WL110	2.400	3.475	0.250	6.390	3.000	12.038	90
WL111	3.000	3.900	0.100	9.599	6.325	11.975	90
WL112	3.000	2.500	0.100	7.500	8.225	11.275	90
WL113	2.400	2.275	0.100	2.978	9.325	11.413	90
WL114	3.000	2.950	0.100	7.200	7.875	12.575	0
WL115	3.000	1.000	0.100	1.200	9.875	12.067	0
WL116	3.000	5.875	0.100	15.525	6.188	13.975	0
WL117	2.400	3.600	0.250	4.440	3.000	15.825	90
WL118	3.000	0.950	0.100	3.000	7.362	14.525	90
WL119	3.000	1.913	0.100	4.089	8.344	14.975	0
WL120	2.400	5.750	0.250	10.670	6.125	17.750	0
WL121	3.000	1.000	0.100	3.000	7.362	17.125	90
WL122	3.000	1.863	0.100	3.789	8.344	16.675	0
WL123	2.400	3.475	0.100	8.340	9.325	15.888	90
WL124	2.400	3.225	0.250	5.790	11.113	17.750	0
WL125	2.400	3.475	0.250	6.090	13.100	15.888	90
WL126	3.000	3.600	0.100	8.700	11.175	13.975	0
WL127	3.000	0.900	0.100	2.700	10.925	12.975	0
WL128	3.000	0.900	0.100	2.700	12.525	13.975	0
WL129	3.000	4.700	0.100	11.460	10.425	12.275	90
WL130	2.400	3.350	0.250	5.130	13.100	11.970	90
WL131	2.400	2.600	0.100	6.000	11.725	9.975	0
WL132	3.000	1.650	0.250	2.640	13.100	8.975	90
WL133	2.400	1.760	0.250	2.770	14.100	10.050	0
WL134	2.400	7.000	0.250	14.490	15.100	6.300	90
WL135	2.400	4.000	0.250	6.090	17.225	10.050	0

WL136	3.000	2.850	0.100	8.400	16.675	8.541	0
WL137	3.000	1.450	0.100	4.500	18.075	7.791	90
WL138	3.000	0.600	0.100	1.800	15.525	5.525	0
WL139	3.000	0.700	0.100	2.100	17.675	5.525	0
WL140	3.000	2.900	0.100	8.700	18.075	4.125	90
WL141	2.400	4.000	0.250	6.660	17.225	2.550	0
WL142	2.400	6.300	0.250	9.990	22.625	16.550	0
WL143	2.400	5.875	0.250	11.310	19.350	13.238	90
WL144	3.000	3.100	0.100	7.200	21.025	12.375	0
WL145	3.000	3.150	0.100	7.500	21.525	11.525	90
WL146	3.000	2.050	0.100	6.300	20.525	9.975	0
WL147	3.000	7.600	0.100	18.900	22.625	12.575	90
WL148	3.000	0.900	0.100	2.700	23.625	15.975	90
WL149	3.000	3.100	0.100	7.500	24.225	14.575	0
WL150	2.400	5.875	0.250	11.910	25.900	13.238	90
WL151	3.000	3.100	0.100	9.300	24.175	9.975	0
WL152	3.000	2.600	0.100	5.700	21.325	8.775	0
WL153	3.000	2.000	0.100	5.700	20.025	7.875	90
WL154	3.000	1.800	0.100	5.400	21.525	7.825	90
WL155	3.000	5.700	0.100	17.100	22.875	6.875	0
WL156	2.400	7.000	0.250	14.850	25.900	6.300	90
WL157	2.400	6.300	0.250	4.620	22.625	2.550	0
WL159	3.000	2.700	0.100	8.250	12.000	5.425	0
WL160	3.000	0.525	0.100	1.725	13.325	5.713	90
WL161	3.000	1.900	0.100	5.550	10.425	7.125	90
WL162	3.000	0.600	0.100	1.950	10.700	8.100	0
WL163	2.400	4.350	0.250	0.000	12.800	2.550	0

Πίνακας Α.11. Πληροφορίες τοιχοπληρώσεων 3^{ου} ορόφου.

ID	Height (m)	Length (m)	Thickness (m)	Surface (m ²)	x_cm (m)	y_cm (m)	angle_x (°)
WL201	2.400	5.911	0.250	4.105	6.170	2.550	0
WL202	2.400	1.000	0.250	2.400	9.875	2.550	0
WL203	2.400	4.366	0.250	5.979	2.113	4.800	105
WL204	2.400	1.199	0.250	1.477	2.400	7.050	0
WL205	3.000	2.820	0.100	8.835	4.498	6.975	0
WL206	2.400	2.825	0.250	4.770	3.000	8.488	90
WL207	3.000	0.800	0.100	2.550	5.820	7.400	90
WL208	3.000	0.950	0.100	2.610	5.820	9.000	90
WL209	2.400	6.000	0.100	14.160	6.125	9.975	0
WL210	2.400	3.475	0.250	6.390	3.000	12.038	90
WL211	3.000	3.900	0.100	9.599	6.325	11.975	90
WL212	3.000	2.500	0.100	7.500	8.225	11.275	90
WL213	2.400	2.275	0.100	2.978	9.325	11.413	90
WL214	3.000	2.950	0.100	7.200	7.875	12.575	0
WL215	3.000	1.000	0.100	1.200	9.875	12.067	0
WL216	2.400	5.875	0.100	12.060	6.188	13.975	0
WL217	2.400	3.600	0.250	4.440	3.000	15.825	90
WL218	3.000	0.950	0.100	3.060	7.362	14.525	90
WL219	3.000	1.913	0.100	4.089	8.344	14.975	0
WL220	2.400	5.750	0.250	10.910	6.125	17.750	0
WL221	3.000	1.000	0.100	3.000	7.362	17.125	90
WL222	3.000	1.863	0.100	3.789	8.344	16.675	0
WL223	2.400	3.475	0.100	8.340	9.325	15.888	90
WL224	2.400	3.225	0.250	5.790	11.113	17.750	0
WL225	2.400	3.475	0.250	6.090	13.100	15.888	90

WL226	3.000	3.600	0.100	8.700	11.175	13.975	0
WL227	3.000	0.900	0.100	2.700	10.925	12.975	0
WL228	3.000	0.900	0.100	2.700	12.525	13.975	0
WL229	3.000	4.700	0.100	11.460	10.425	12.275	90
WL230	2.400	3.350	0.250	5.130	13.100	11.970	90
WL231	2.400	2.600	0.100	6.000	11.725	9.975	0
WL232	3.000	1.650	0.250	2.640	13.100	8.975	90
WL233	2.400	1.760	0.250	2.770	14.100	10.050	0
WL234	2.400	7.000	0.250	14.490	15.100	6.300	90
WL235	2.400	4.000	0.250	6.090	17.225	10.050	0
WL236	3.000	2.850	0.100	8.400	16.675	8.541	0
WL237	3.000	1.450	0.100	4.500	18.075	7.791	90
WL238	3.000	0.600	0.100	1.800	15.525	5.525	0
WL239	3.000	0.700	0.100	2.100	17.675	5.525	0
WL240	3.000	2.900	0.100	8.700	18.075	4.125	90
WL241	2.400	4.000	0.250	6.660	17.225	2.550	0
WL242	2.400	6.300	0.250	9.990	22.625	16.550	0
WL243	2.400	5.875	0.250	11.310	19.350	13.238	90
WL244	3.000	3.100	0.100	7.200	21.025	12.375	0
WL245	3.000	3.150	0.100	7.500	21.525	11.525	90
WL246	3.000	2.050	0.100	6.300	20.525	9.975	0
WL247	3.000	7.600	0.100	18.900	22.625	12.575	90
WL248	3.000	0.900	0.100	2.700	23.625	15.975	90
WL249	3.000	3.100	0.100	7.500	24.225	14.575	0
WL250	2.400	5.875	0.250	11.910	25.900	13.238	90
WL251	3.000	3.100	0.100	9.300	24.175	9.975	0
WL252	3.000	2.600	0.100	5.700	21.325	8.775	0
WL253	3.000	2.000	0.100	5.700	20.025	7.875	90
WL254	3.000	1.800	0.100	5.400	21.525	7.825	90
WL255	3.000	5.700	0.100	17.100	22.875	6.875	0
WL256	2.400	7.000	0.250	14.850	25.900	6.300	90
WL257	2.400	6.300	0.250	4.620	22.625	2.550	0
WL259	3.000	2.700	0.100	8.250	12.000	5.425	0
WL260	3.000	0.525	0.100	1.725	13.325	5.713	90
WL261	3.000	1.900	0.100	5.550	10.425	7.125	90
WL262	3.000	0.600	0.100	1.950	10.700	8.100	0
WL263	2.400	4.350	0.250	0.000	12.800	2.550	0

Πίνακας Α.12. Πληροφορίες τοιχοπληρώσεων 4^{ου} ορόφου.

ID	Height (m)	Length (m)	Thickness (m)	Surface (m ²)	x_cm (m)	y_cm (m)	angle_x (°)
WL301	2.400	4.872	0.250	4.642	6.752	2.525	0
WL302	2.400	1.000	0.250	2.400	9.875	2.550	0
WL303	3.000	15.075	0.250	31.140	4.253	10.000	90
WL305	3.000	2.695	0.100	8.235	5.751	6.950	0
WL307	3.000	0.800	0.100	2.550	7.073	7.375	90
WL308	3.000	0.950	0.100	2.610	7.073	9.475	90
WL309	2.400	4.747	0.100	11.152	6.752	9.950	0
WL311	3.000	3.900	0.100	9.599	7.275	11.950	90
WL312	2.800	2.550	0.100	6.230	9.175	11.438	90
WL313	3.000	2.800	0.100	6.450	7.750	12.550	0
WL315	3.000	1.150	0.100	1.650	9.875	12.067	0
WL316	2.400	4.998	0.100	9.352	6.752	13.950	0
WL320	2.400	4.872	0.250	8.202	6.125	17.750	0
WL321	3.000	1.647	0.100	5.092	7.362	16.752	90
WL322	3.000	1.913	0.100	3.789	8.344	15.953	0

WL323	2.200	3.475	0.100	7.645	9.325	15.888	90
WL324	2.400	3.225	0.250	5.790	11.113	17.750	0
WL325	2.400	3.475	0.250	6.090	13.100	15.888	90
WL326	3.000	3.600	0.100	8.700	11.175	13.975	0
WL327	3.000	0.900	0.100	2.700	10.925	12.975	0
WL328	2.200	0.900	0.100	1.980	12.525	13.975	0
WL329	3.000	4.700	0.100	11.460	10.425	12.275	90
WL330	2.400	3.350	0.250	5.150	13.100	11.970	90
WL331	2.400	2.600	0.100	6.000	11.725	9.975	0
WL332	3.000	1.650	0.250	2.640	13.100	8.975	90
WL333	2.400	1.760	0.250	2.770	14.100	10.050	0
WL334	2.400	7.000	0.250	14.490	15.100	6.300	90
WL335	2.400	4.000	0.250	6.090	17.225	10.050	0
WL336	3.000	2.850	0.100	8.400	16.675	8.541	0
WL337	3.000	1.450	0.100	4.500	18.075	7.791	90
WL338	3.000	0.600	0.100	1.800	15.525	5.525	0
WL339	3.000	0.700	0.100	2.100	17.675	5.525	0
WL340	3.000	2.900	0.100	8.700	18.075	4.125	90
WL341	2.400	4.000	0.250	6.660	17.225	2.550	0
WL342	2.400	6.300	0.250	9.990	22.625	16.550	0
WL343	2.400	5.875	0.250	11.310	19.350	13.238	90
WL344	3.000	3.100	0.100	7.200	21.025	12.375	0
WL345	3.000	3.150	0.100	7.500	21.525	11.525	90
WL346	3.000	2.050	0.100	6.300	20.525	9.975	0
WL347	3.000	7.600	0.100	18.900	22.625	12.575	90
WL348	3.000	0.900	0.100	2.700	23.625	15.975	90
WL349	3.000	3.100	0.100	7.500	24.225	14.575	0
WL350	2.400	5.875	0.250	11.910	25.900	13.238	90
WL351	3.000	3.100	0.100	9.300	24.175	9.975	0
WL352	3.000	1.200	0.100	3.300	22.075	8.750	0
WL354	3.000	1.850	0.100	5.400	21.525	7.750	90
WL355	3.000	4.250	0.100	12.150	23.675	6.850	0
WL356	2.400	2.975	0.250	5.190	25.900	8.288	90
WL357	2.400	4.300	0.250	5.070	21.625	2.525	0
WL359	3.000	2.700	0.100	8.250	12.000	5.425	0
WL360	3.000	0.525	0.100	1.725	13.325	5.713	90
WL361	3.000	1.900	0.100	5.550	10.425	7.125	90
WL362	3.000	0.600	0.100	1.950	10.700	8.100	0
WL363	2.400	4.350	0.250	0.000	12.800	2.550	0
WL364	3.000	4.150	0.250	5.100	23.650	4.725	90

A.4. Πίνακες Πορτών

Πίνακας A.13. Πληροφορίες πορτών 1^{ov} ορόφου.

ID	Height (m)	Width (m)	Type	AttachedToWall
DR001	2.10	1.50	WL029	BD
DR002	2.10	0.90	WL027	SD
DR003	2.10	0.90	WL014	SD
DR004	2.10	0.90	WL005	WD
DR005	2.10	0.90	WL005	WD
DR006	2.10	0.90	WL008	WD
DR007	2.10	0.90	WL009	WD
DR008	2.10	0.90	WL009	WD
DR009	2.10	0.90	WL017	WD
DR010	2.10	0.90	WL023	WD

Πίνακας Α.14. Πληροφορίες πορτών 2^{ου} ορόφου.

ID	Height (m)	Width (m)	AttachedToWall	Type
DR101	2.10	1.10	WL132	AD
DR102	2.10	0.75	WL113	WD
DR103	2.10	0.90	WL115	WD
DR104	2.10	0.90	WL129	WD
DR105	2.10	0.90	WL114	WD
DR106	2.10	0.90	WL126	WD
DR107	2.10	0.90	WL111	WD
DR108	2.10	0.90	WL116	WD
DR109	2.10	0.90	WL119	WD
DR110	2.10	0.90	WL122	WD
DR111	2.10	1.10	WL134	AD
DR112	2.10	0.90	WL152	WD
DR113	2.10	0.90	WL147	WD
DR114	2.10	0.90	WL145	WD
DR115	2.10	0.90	WL144	WD
DR116	2.10	0.90	WL147	WD
DR117	2.10	0.90	WL149	WD
DR118	2.10	1.00	WL142	SD
DR119	2.10	0.90	WL106	SD

Πίνακας Α.15. Πληροφορίες πορτών 3^{ου} ορόφου.

ID	Height (m)	Width (m)	AttachedToWall	Type
DR201	2.10	1.10	WL232	AD
DR202	2.10	0.75	WL213	WD
DR203	2.10	0.90	WL215	WD
DR204	2.10	0.90	WL229	WD
DR205	2.10	0.90	WL214	WD
DR206	2.10	0.90	WL226	WD
DR207	2.10	0.90	WL211	WD
DR208	2.10	0.90	WL216	WD
DR209	2.10	0.90	WL219	WD
DR210	2.10	0.90	WL222	WD
DR211	2.10	1.10	WL234	AD
DR212	2.10	0.90	WL252	WD
DR213	2.10	0.90	WL247	WD
DR214	2.10	0.90	WL245	WD
DR215	2.10	0.90	WL244	WD
DR216	2.10	0.90	WL247	WD
DR217	2.10	0.90	WL249	WD
DR218	2.10	1.00	WL242	SD
DR219	2.10	0.90	WL206	SD

Πίνακας Α.16. Πληροφορίες πορτών 4^{ου} ορόφου.

ID	Height (m)	Width (m)	AttachedToWall	Type
DR301	2.10	1.10	WL332	AD
DR302	2.10	0.90	WL315	WD
DR303	2.10	0.90	WL329	WD
DR304	2.10	0.90	WL313	WD
DR305	2.10	0.90	WL311	WD
DR306	2.10	0.90	WL316	WD
DR307	2.10	0.90	WL326	WD
DR308	2.10	0.90	WL322	WD

DR309	2.10	1.10	WL334	AD
DR310	2.10	0.90	WL347	WD
DR311	2.10	0.90	WL345	WD
DR312	2.10	0.90	WL347	WD
DR313	2.10	0.90	WL344	WD
DR314	2.10	0.90	WL349	WD
DR315	2.10	1.00	WL342	SD
DR316	2.10	0.90	WL303	SD

Α.5. Πίνακες Παραθύρων

Πίνακας Α.17. Πληροφορίες παραθύρων 1^{ov} ορόφου.

ID	Height (m)	Width (m)	Area (m ²)	AttachedToWall	Type
WN070	2.40	4.35	10.44	WL063	W

Πίνακας Α.18. Πληροφορίες παραθύρων 2^{ov} ορόφου.

ID	Height (m)	Width (m)	Area (m ²)	AttachedToWall	Type
WN101	2.10	2.40	5.04	WL101	DW
WN102	2.10	2.40	5.04	WL101	DW
WN103	1.50	3.00	4.50	WL103	W
WN104	1.40	1.00	1.40	WL104	W
WN105	1.30	1.50	1.95	WL110	W
WN106	2.10	2.00	4.20	WL117	DW
WN107	1.30	1.50	1.95	WL120	W
WN108	0.70	1.00	0.70	WL120	W
WN109	1.30	1.50	1.95	WL124	W
WN110	1.50	1.50	2.25	WL125	W
WN111	0.70	0.60	0.42	WL130	W
WN112	1.50	1.50	2.25	WL130	W
WN113	1.30	1.10	1.43	WL133	W
WN151	1.40	1.10	1.54	WL141	W
WN152	1.40	1.00	1.40	WL141	W
WN153	2.10	5.00	10.50	WL157	DW
WN154	1.30	2.70	3.51	WL135	W
WN156	0.70	1.20	0.84	WL143	W
WN157	1.30	1.50	1.95	WL143	W
WN158	1.30	1.50	1.95	WL142	W
WN159	0.70	1.00	0.70	WL142	W
WN160	1.30	1.50	1.95	WL150	W
WN161	1.30	1.50	1.95	WL156	W
WN170	2.40	4.35	10.44	WL163	W

Πίνακας Α.19. Πληροφορίες παραθύρων 3^{ov} ορόφου.

ID	Height (m)	Width (m)	Area (m ²)	AttachedToWall	Type
WN201	2.10	2.40	5.04	WL201	DW
WN202	2.10	2.40	5.04	WL201	DW
WN203	1.50	3.00	4.50	WL203	W
WN204	1.40	1.00	1.40	WL204	W
WN205	1.30	1.50	1.95	WL210	W
WN206	2.10	2.00	4.20	WL217	DW
WN207	1.30	1.50	1.95	WL220	W
WN208	0.70	1.00	0.70	WL220	W

WN209	1.30	1.50	1.95	WL224	W
WN210	1.50	1.50	2.25	WL225	W
WN211	0.70	0.60	0.42	WL230	W
WN212	1.50	1.50	2.25	WL230	W
WN213	1.30	1.10	1.43	WL233	W
WN251	1.40	1.10	1.54	WL241	W
WN252	1.40	1.00	1.40	WL241	W
WN253	2.10	5.00	10.50	WL257	DW
WN254	1.30	2.70	3.51	WL235	W
WN256	0.70	1.20	0.84	WL243	W
WN257	1.30	1.50	1.95	WL243	W
WN258	1.30	1.50	1.95	WL242	W
WN259	0.70	1.00	0.70	WL242	W
WN260	1.30	1.50	1.95	WL250	W
WN261	1.30	1.50	1.95	WL256	W
WN270	2.40	4.35	10.44	WL263	W

Πίνακας Α.20. Πληροφορίες παραθύρων 4^{ου} ορόφου.

ID	Height (m)	Width (m)	Area (m²)	AttachedToWall	Type
WN301	2.10	3.50	7.35	WL301	DW
WN303	2.10	2.40	5.04	WL303	DW
WN304	2.10	3.50	7.35	WL364	DW
WN305	1.30	1.50	1.95	WL303	W
WN306	2.10	2.00	4.20	WL303	DW
WN307	1.30	1.50	1.95	WL320	W
WN308	0.70	1.00	0.70	WL320	W
WN309	1.30	1.50	1.95	WL324	W
WN310	1.50	1.50	2.25	WL325	W
WN311	0.70	0.60	0.42	WL330	W
WN312	1.50	1.50	2.25	WL330	W
WN313	1.30	1.10	1.43	WL333	W
WN351	1.40	1.10	1.54	WL341	W
WN352	1.40	1.00	1.40	WL341	W
WN353	2.10	2.50	5.25	WL357	DW
WN354	1.30	2.70	3.51	WL335	W
WN356	0.70	1.20	0.84	WL343	W
WN357	1.30	1.50	1.95	WL343	W
WN358	1.30	1.50	1.95	WL342	W
WN359	0.70	1.00	0.70	WL342	W
WN360	1.30	1.50	1.95	WL350	W
WN361	1.30	1.50	1.95	WL356	W
WN370	2.40	4.35	10.44	WL363	W

Παράρτημα Β - Ερωτηματολόγια

Παράρτημα Γ - Σχέδια AutoCAD

Παράρτημα Δ - Αρχεία και Προγράμματα Ανάλυσης σε CD

Αρχεία ανάλυσης OpenSEES

Όνομα αρχείου	Περιεχόμενο	Διεύθυνση D:\OpenSEES\
multistory_3Ddynamic	κεντρικό αρχείο ανάλυσης κτιρίου σε σεισμό	\Frames\multistory_3Ddynamic.tcl
my_record	σενάριο σεισμού με επιταχυνσιογραφήματα	\Frames\my_record.tcl
nodes_coord	συντεταγμένες/σεισμικές μάζες κόμβων κτιρίου	\Frames\multistory_3Ddyn_data\nodes_coord.tcl
fixed_nodes	περιορισμοί κόμβων/στηρίξεις	\Frames\multistory_3Ddyn_data\fixed_nodes.tcl
column_sections	διατομές υποστυλωμάτων	\Frames\multistory_3Ddyn_data\column_sections.tcl
column_connectivity	συνδεσμολογία υποστυλωμάτων	\Frames\multistory_3Ddyn_data\column_connectivity.tcl
beam_sections	διατομές δοκών	\Frames\multistory_3Ddyn_data\beam_sections.tcl
beam_connectivity	συνδεσμολογία δοκών	\Frames\multistory_3Ddyn_data\beam_connectivity.tcl
beam_loads	φορτία των δοκών/προένταση	\Frames\multistory_3Ddyn_data\beam_loads.tcl
diaphragm	διαφραγματική λειτουργία πλακών	\Frames\multistory_3Ddyn_data\diaphragm.tcl

Προγράμματα ανάλυσης Matlab

Όνομα αρχείου	Περιεχόμενο	Διεύθυνση D:\Matlab\
run_analysis	κεντρικό αρχείο ανάλυσης ζημιών και κόστους κτιρίου	\data_analysis\run_analysis.m
fgr_fibersections	σχεδίαση διατομών ινών	\data_analysis\fgr_fibersections.m
eurocode_spectrum	σχεδίαση φάσματος Ευρωκώδικα	\data_analysis\eurocode_spectrum.m
ground_response	ανάλυση εδαφικών αποκρίσεων	\data_analysis\ground_response.m
slab_response	ανάλυση αποκρίσεων πλακών ορόφων	\data_analysis\slab_response.m
floor_IDR	ανάλυση ανηγμένων σχετικών μετατοπίσεων ορόφων	\data_analysis\floor_IDR.m
column	ανάλυση υποστυλωμάτων	\data_analysis\column.m
beam	ανάλυση δοκών	\data_analysis\beam.m
wall	ανάλυση τοιχοπληρώσεων	\data_analysis\wall.m
door	ανάλυση παραθύρων	\data_analysis\door.m

window	ανάλυση πορτών	\\data_analysis>window.m
--------	----------------	--------------------------

Αρχεία AutoCAD

Όνομα αρχείου	Περιεχόμενο	Διεύθυνση D:\AutoCAD \
multistory	κατόψεις ορόφων και διατομές στοιχείων	multistory.dwg

Αρχεία ArchiCAD

Όνομα αρχείου	Περιεχόμενο	Διεύθυνση D:\ArchiCAD \
multistory	τρισδιάστατη απεικόνιση κτιρίου	multistory.pln