

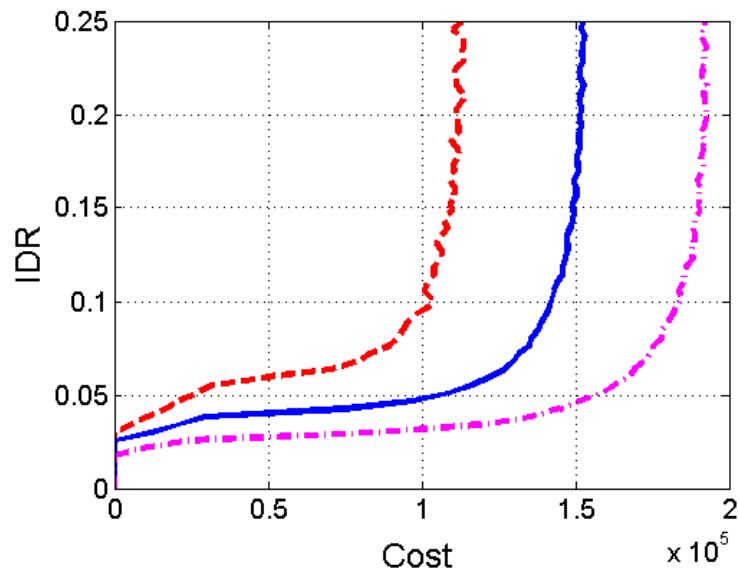


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Εκτίμηση Συναρτήσεων Σεισμικών Απωλειών για Τυπικά Μεταλλικά Κτίρια Γραφείων



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αθανάσιος Παπαδόπουλος

Επιβλέπων: Δημήτριος Βαμβάτσικος

Αθήνα, Νοέμβριος 2014

ΕΜΚ ΜΕ 2014/04

Παπαδόπουλος Α. (2014).
Εκτίμηση Συναρτήσεων Σεισμικών Απωλειών για Τυπικά Μεταλλικά Κτίρια Γραφείων
Μεταπτυχιακή Εργασία ΕΜΚ ΜΕ 2014/04
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Papadopoulos A. (2014).
Estimation of Seismic Loss Functions for Typical Steel Office Buildings
Postgraduate Thesis ΕΜΚ ΜΕ 2014/04
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	3
Abstract	4
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.1 Γενικά.....	5
1.2 Στόχος εργασίας	6
1.3 Οργάνωση περιεχομένων	6
2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ.....	7
2.1 Βασικές έννοιες.....	7
2.1.1 Μέτρο έντασης (IM)	7
2.1.2 Μέτρο απόκρισης (EDP).....	7
2.1.3 Μέτρο βλάβης (DM).....	7
2.1.4 Συναρτήσεις τρωτότητας στοιχείου (EDP - DM)	8
2.1.5 Συναρτήσεις κόστους (DM - DV).....	9
2.2 Βιβλιογραφική επισκόπηση.....	10
2.3 FEMA P-58: Αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς κτιρίων	15
2.3.1 Γενικά.....	15
2.3.2 Τύποι αποτίμησης σεισμικής συμπεριφοράς.....	15
2.3.3 Σύνοψη μεθοδολογίας υπολογισμού απόδοσης κτιρίου.....	15
2.3.4 Προσομοίωμα απόδοσης κτιρίου	17
3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	23
3.1 Γενικά.....	23
3.2 Διαδικασία δειγματοληψίας και παραδοχές	23
3.3 Δομικά Στοιχεία	26
3.3.1 Κτίρια με Χιαστί Εγκάρσιους Συνδέσμους.....	26
3.3.2 Κτίρια με Εγκάρσιους Συνδέσμους Λ.....	29
3.3.3 Κτίρια με Πλαίσια Ροπής.....	29
3.3.4 Σύνοψη Δομικών Στοιχείων.....	31
3.4 Μη Δομικά Στοιχεία.....	32
3.4.1 Πληροφορίες και ποσότητες μη-δομικών στοιχείων.....	32
3.5 Περιεχόμενα	42
3.5.1 Πληροφορίες περιεχομένων.....	42
3.5.2 Ποσότητες περιεχομένων.....	43
3.5.3 Αξίες περιεχομένων	43
4 ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ	47
4.1 Γενικά.....	47
4.2 Ομαδοποίηση στοιχείων.....	47
4.3 Καμπύλες EDP - DV	51
4.4 Εξαγωγή συναρτήσεων σεισμικών απωλειών με παλινδρόμηση.....	71
4.5 Διαδικασία υπολογισμού κόστους με τις συναρτήσεις σεισμικών απωλειών.....	72
5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΤΕΤΡΑΡΡΟΦΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ.....	73
5.1 Γενικά.....	73
5.2 Περιγραφή κτιρίου	73
5.3 Ανάλυση κτιρίου	74
5.4 Υπολογισμός κόστους επισκευής κτιρίου με συναρτήσεις σεισμικών απωλειών.....	77
5.5 Υπολογισμός κόστους επισκευής κτιρίου με μεθοδολογία FEMA P-58	80

6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	83
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	85

Εκτίμηση Συναρτήσεων Σεισμικών Απωλειών για Τυπικά Μεταλλικά Κτίρια Γραφείων

Παπαδόπουλος Α. (Επιβλέπων: Βαμβάτσικος Δ.)

Περίληψη

Σήμερα, ο αντισεισμικός σχεδιασμός εστιάζει όλο και περισσότερο στην διατήρηση της λειτουργικότητας και στον καθορισμό ενός αποδεκτού επιπέδου ζημιών, εισάγοντας την έννοια της επιτελεστικότητας. Μεγάλης σημασίας στην προσέγγιση αυτή αποτελεί το ζήτημα της ποσοτικοποίησης της σεισμικής απόδοσης, με τις οικονομικές απώλειες να ξεχωρίζουν ως μέγεθος ιδιαίτερα χρήσιμο για την λήψη αποφάσεων διαχείρισης σεισμικού κινδύνου. Διάφορες μέθοδοι αποτίμησης οικονομικών απωλειών σε επίπεδο κτιρίου αναπτύχθηκαν τα τελευταία χρόνια, με μεγάλο μειονέκτημα, ωστόσο, την περιπλοκότητα τους και τον μεγάλο όγκο των απαιτούμενων υπολογισμών. Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, γίνεται μια προσπάθεια απλοποίησης του υπολογισμού των σεισμικών απωλειών μέσω της ανάπτυξης συναρτήσεων σεισμικών απωλειών λόγω επισκευής για τυπικά μεταλλικά κτίρια γραφείων.

Για τον σκοπό αυτό, έγινε συλλογή εμπειρικών και στατιστικών δεδομένων σχετικά με τα δομικά και μη-δομικά στοιχεία και περιεχόμενα τέτοιων κτιρίων. Συγκεκριμένα, έγινε απογραφή περιεχομένων από τέσσερα κτίρια του Ε.Μ.Π. και συλλέχθηκαν πληροφορίες από έμπειρους ερευνητές για την κατανομή των δομικών στοιχείων σε τυπικά μεταλλικά κτίρια. Δεδομένα για τα μη-δομικά στοιχεία αντλήθηκαν από τα κατασκευαστικά σχέδια των κτιρίων του Ε.Μ.Π., από τεχνικά γραφεία και από τις οδηγίες του FEMA P-58.

Η εκτίμηση των συναρτήσεων σεισμικών απωλειών βασίστηκε στο FEMA P-58 που χρησιμοποιεί μια πιθανοτική προσέγγιση για την εκτίμηση βλάβης και τον υπολογισμό των αντίστοιχων απωλειών. Όλα τα στοιχεία των κτιρίων αντιστοιχίστηκαν με αυτά της βάσης δεδομένων του FEMA P-58 και λήφθηκαν οι αντίστοιχες πληροφορίες τρωτότητας και κόστους επισκευής. Συναρτήσεις σεισμικών απωλειών υπολογίστηκαν ακολούθως για κάθε ομάδα στοιχείων, μέσω προσομοιώσεων Monte Carlo.

Συγκεκριμένα, διαμορφώθηκαν συναρτήσεις για περιεχόμενα, δομικά και μη-δομικά στοιχεία μεταλλικών κτιρίων γραφείων μικρού/μέσου ύψους και έγινε διαφοροποίηση ανάλογα με το δομικό σύστημα (κεντρικοί σύνδεσμοι Χ ή Λ και πλαίσια ροπών), την επιφάνεια του κτιρίου, το κρίσιμο μέτρο απόκρισης των στοιχείων (μέγιστη επιτάχυνση ορόφου ή ανηγμένη σχετική μετακίνηση ορόφου) και την οικονομική αξία των περιεχομένων (χαμηλή, μέση, υψηλή). Οι συναρτήσεις αυτές κανονικοποιήθηκαν για 100 m² επιφάνειας και η ανεξάρτητη μεταβλητή τους είναι το κατάλληλο μέτρο απόκρισης του αντίστοιχου ορόφου.

Τέλος, έγινε εφαρμογή σε ένα τετραώροφο μεταλλικό κτίριο και υπολογίστηκε το μέσο κόστος επισκευής με τη χρήση των συναρτήσεων απωλειών που εξήχθησαν προηγουμένως. Επιπλέον, το μέσο κόστος υπολογίστηκε και με την μεθοδολογία του FEMA P-58 για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων της απλούστερης μεθόδου.

Estimation of Seismic Loss Functions for Typical Steel Office Buildings

Papadopoulos A. (supervised by Vamvatsikos D.)

Abstract

Over the last few years, the concept of performance-based seismic design has emerged, focusing on maintaining the serviceability of structures and defining an acceptable level of damage. The quantification of seismic performance has therefore been a focal point in that attempt and economic losses have been widely proposed as a suitable metric, being of immediate use to decision makers for risk management. Several building-specific loss estimation methods have been recently developed, with their complexity and excessive computations being a major weakness. Herein, a simplified procedure for loss assessment is proposed through the estimation of seismic loss functions for typical steel office buildings.

To this end, empirical and statistical data were collected, regarding the structural and non-structural components and contents of such buildings. In particular, the contents inventory was taken from four office buildings in NTUA, while structural component distributions were formulated based on expert opinion. Non-structural component information was derived from a combination of the NTUA buildings' design drawings, expert opinion and the recommendations of FEMA P-58.

Loss estimation was based on the FEMA P-58 guidelines that use a probabilistic approach to estimate damage and the corresponding loss. All components were matched with components of the FEMA P-58 database to obtain their associated fragilities and repair costs. The seismic loss functions were then computed for all component groups, through an iterative procedure and multiple Monte Carlo simulations.

Loss functions were derived for contents, structural and non-structural components for typical mid-rise steel office buildings and were diversified based on the structural system (X-braced frames, chevron -braced frames, moment resisting frames), the floor area, the critical engineering demand parameter (peak floor acceleration or interstory drift ratio) and the contents' value (low, medium, high). These loss functions are normalized to 100 m² of floor area with the appropriate engineering demand parameter being the independent variable.

Finally, the proposed methodology was applied to a 4-story steel building and the mean repair cost was calculated through the use of the previously estimated loss functions. The mean repair cost was also calculated following the FEMA P-58 methodology to validate the results of the simpler approach.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Σήμερα, παρά την πρόοδο της έρευνας και την εξέλιξη των αντισεισμικών κανονισμών, το μεγαλύτερο μέρος του υπάρχοντος δομικού ιστού, έχοντας σχεδιαστεί και κατασκευαστεί βάσει παλαιότερων αντιλήψεων και κανονισμών, υστερεί από άποψη σεισμικής επάρκειας. Πολλές φορές μάλιστα, ουσιαστικές αδυναμίες εντοπίζονται και σε σύγχρονα κτίρια. Έτσι, το πρόβλημα της αποτίμησης της σεισμικής συμπεριφοράς καθίσταται ιδιαίτερα σημαντικό τόσο για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού σχεδιασμού, όσο και για την εκτίμηση των δυνητικών βλαβών σε υπάρχουσες κατασκευές, με στόχο τη λήψη απόφασης για επέμβαση ή μη.

Οι περισσότεροι κανονισμοί εισάγουν πλέον τον αντισεισμικό σχεδιασμό ή αποτίμηση των κατασκευών με στάθμες επιτελεστικότητας (Performance-Based Design/Assessment). Απλοποιητικά, βασίζονται στην αρχή του καθορισμού ενός αποδεκτού επιπέδου ζημιών ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισης του σεισμού σχεδιασμού στη διάρκεια ζωής του έργου. Νεώτερες μέθοδοι προκρίνουν ως ακριβέστερη την αποτίμηση ή το σχεδιασμό με βάση την πιθανότητα υπέρβασης της στάθμης επιτελεστικότητας καθεαυτής, αντί του σχετικού επιπέδου σεισμικής έντασης. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται ένας ικανοποιητικός συνδυασμός ασφάλειας και οικονομίας, αρκεί να καθοριστεί με ακρίβεια η επιθυμητή στάθμη επιτελεστικότητας.

Μεγάλης σημασίας στην προσέγγιση αυτή αποτελεί το ζήτημα της ποσοτικοποίησης της σεισμικής συμπεριφοράς των κτιρίων και ο καθορισμός των κατάλληλων επιδιωκόμενων στόχων. Η μέχρι σήμερα μεθοδολογία που ακολουθείται βασίζεται σε απλοποιημένες μεθόδους με πρωταρχικό ή και μόνο στόχο της την προστασία ζωής. Ένα μέγεθος που προτείνεται από πρόσφατες έρευνες για την αξιολόγηση της σεισμικής συμπεριφοράς, παράλληλα με την εξασφάλιση της προστασίας ζωής, αποτελούν οι οικονομικές απώλειες λόγω σεισμού. Οι οικονομικές απώλειες οφείλονται στην ανάγκη επισκευής ή αντικατάστασης τόσο των δομικών στοιχείων που έχουν υποστεί βλάβες κατά την ανελαστική λειτουργία του φορέα, όσο και των μη φέροντων στοιχείων και περιεχομένων του κτιρίου. Ακόμη, οικονομικές απώλειες προκύπτουν πιθανώς και από την διακοπή χρήσης του κτιρίου μέχρι την αποκατάσταση του, από την ανάγκη κατεδάφισης και αντικατάστασης σε περίπτωση σοβαρών βλαβών ή και από την πιθανή κατάρρευση λόγω σεισμού καθεαυτή.

Τα τελευταία χρόνια, σημαντική έρευνα στο πεδίο αυτό έχει γίνει από το Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, διαμορφώνοντας ένα πλαίσιο αξιολόγησης της σεισμικής συμπεριφοράς και ποσοτικοποίησης της με κατάλληλους δείκτες, χρήσιμους στους αρμόδιους φορείς για την λήψη αποφάσεων. Η μεθοδολογία του PEER ακολουθεί μία πιθανοτική προσέγγιση για εκτίμηση των βλαβών και του αντίστοιχου κόστους που αυτές συνεπάγονται, βασιζόμενη στην σεισμική επικινδυνότητα και την συνεπαγόμενη απόκριση του κτιρίου.

Διάφορες μέθοδοι αποτίμησης οικονομικών απωλειών σε επίπεδο κτιρίου αναπτύχθηκαν πρόσφατα με μεγάλο μειονέκτημα, ωστόσο, την περιπλοκότητα τους και τον μεγάλο όγκο των απαιτούμενων υπολογισμών. Συνεπώς, βασικός στόχος για την περαιτέρω εξέλιξη τους και την πιθανή υιοθέτησή τους στο μέλλον από κανονισμούς και

μελετητές, αποτελεί η κατά το δυνατό απλοποίηση τους και η ελαχιστοποίηση του υπολογιστικού κόστους.

1.2 Στόχος εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διαμόρφωση μιας απλοποιημένης διαδικασίας υπολογισμού των σεισμικών οικονομικών απωλειών για διάφορες κατηγορίες μεταλλικών κτιρίων γραφείων. Βάση της εργασίας αποτελεί η συλλογή εμπειρικών και στατιστικών δεδομένων για τυπικά μεταλλικά κτίρια γραφείων και η εκτίμηση συναρτήσεων μέτρου απόκρισης - σεισμικών απωλειών, λαμβάνοντας υπόψη αβεβαιότητες που αφορούν τα δομικά και μη-δομικά στοιχεία και περιεχόμενα των κτιρίων, την τρωτότητα αυτών, καθώς και το κόστος τους. Οι συναρτήσεις σεισμικών απωλειών, μαζί με πληροφορίες σεισμικού κινδύνου και απόκρισης του κτιρίου, μπορούν κατόπιν να χρησιμοποιηθούν για μια γρήγορη εκτίμηση των μέσων απωλειών, χωρίς την ανάγκη απογραφής όλων των στοιχείων του κτιρίου που απαιτούν οι υπάρχουσες μεθοδολογίες.

1.3 Οργάνωση περιεχομένων

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται κάποιες βασικές έννοιες, παρουσιάζεται το υπόβαθρο της αποτίμησης σεισμικών απωλειών μέσω μιας βιβλιογραφικής επισκόπησης, ενώ τέλος γίνεται και μια συνοπτική αναφορά στην μεθοδολογία του FEMA P-58.

Το τρίτο κεφάλαιο αφορά τη συλλογή των εμπειρικών και στατιστικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Περιλαμβάνει τις πληροφορίες για όλα τα δομικά και μη-δομικά στοιχεία και περιεχόμενα που θεωρήθηκαν στα κτίρια, τη διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των κατανομών και του κόστους τους, και τις παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία εξαγωγής των συναρτήσεων EDP - DV, παρουσιάζεται η ομαδοποίηση των στοιχείων και η επιλογή των συναρτήσεων που υπολογίστηκαν. Ακόμη, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε μορφή πινάκων, διαγραμμάτων και συναρτήσεων και τέλος περιγράφεται συνοπτικά η προτεινόμενη διαδικασία για τον υπολογισμό του κόστους επισκευής.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια εφαρμογή σε ένα τετραώροφο μεταλλικό κτίριο και το μέσο κόστος επισκευής υπολογίζεται τόσο μέσω της προτεινόμενης διαδικασίας όσο και μέσω της μεθοδολογίας του FEMA P-58.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένα συμπεράσματα.

2 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

2.1 Βασικές έννοιες

2.1.1 Μέτρο έντασης (IM)

Το μέτρο έντασης (*IM*, intensity measure) είναι ένα χαρακτηριστικό της σεισμικής εδαφικής κίνησης, που επιλέγεται για την ποσοτικοποίηση της "έντασης" του σεισμού και χρησιμοποιείται συχνά για την αποτίμηση βλαβών και απωλειών. Πολλά μεγέθη έχουν προταθεί για αυτό το σκοπό, όπως το μέγεθος σεισμικής ροπής, η διάρκεια του σεισμού, η τροποποιημένη ένταση Mercalli, κ.α., η χρήση των οποίων ωστόσο καθιστά δύσκολη την προσαρμογή (*Scaling*) των εδαφικών καταγραφών στην επιθυμητή ένταση. Άλλα μεγέθη που κρίνονται καταλληλότερα όσον αφορά τη δυνατότητα προσαρμογής τους αποτελούν η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (*PGA*, peak ground acceleration), η μέγιστη εδαφική ταχύτητα (*PGV*, peak ground velocity), η φασματική επιτάχυνση στην πρώτη ιδιοπερίοδο της κατασκευής με απόσβεση $\zeta=5\%$ ($S_a(T_{1,5\%})$). Η τελευταία είναι και η επικρατέστερη καθώς καλύπτει την ευαισθησία συνηθισμένων κατασκευών με μεγάλη συμμετοχή της πρώτης ιδιομορφής στο συχνοτικό περιεχόμενο της διέγερσης κοντά στην ιδιοσυχνότητα τους και παρουσιάζει έτσι μικρότερη διασπορά στις αποκρίσεις.

2.1.2 Μέτρο απόκρισης (EDP)

Ως μέτρο απόκρισης (*EDP*, engineering demand parameter) ορίζεται ένα μέγεθος που χαρακτηρίζει την απόκριση του φορέα για συγκεκριμένη σεισμική διέγερση και μπορεί να προκύψει από την δυναμική ανάλυση του κτιρίου. Το συνηθέστερο μέτρο απόκρισης αποτελεί η ανηγμένη σχετική μετακίνηση ορόφου (*IDR*, interstory drift ratio), καθώς κρίνεται ιδιαίτερα αντιπροσωπευτική της ενδεχόμενης βλάβης των δομικών αλλά και ορισμένων μη δομικών στοιχείων του κτιρίου που είναι σταθερά προσδεδεμένα σε αυτό. Αντίθετα, για να εκτιμηθεί η βλάβη σε περιεχόμενα του κτιρίου, πολλές φορές κρίνεται καταλληλότερη η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου (*PFA*, peak floor acceleration) ή ακόμη και η μέγιστη ταχύτητα ορόφου (*PVA*, peak floor velocity).

2.1.3 Μέτρο βλάβης (DM)

Ως μέτρο βλάβης (*DM*, damage measure) για την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς των κατασκευών μπορεί να οριστεί η κρίσιμη απαίτηση που σηματοδοτεί κάποιου είδους αστοχία του εκάστοτε στοιχείου που μελετάται. Η βλάβη, τόσο σε επίπεδο κτιρίου όσο και σε στοιχείου, επέρχεται συνήθως σαν συνεχές φαινόμενο, που εξελίσσεται συναρτήσει της απαίτησης. Για την ποσοτικοποίηση της, αντι να θεωρηθεί συνεχής, ορίζονται διακριτές στάθμες βλάβης (*Damage States DS*) για τον χαρακτηρισμό της κατάστασης του στοιχείου. Κάθε στάθμη βλάβης σχετίζεται με ένα μοναδικό σύνολο συνεπειών που συνήθως περιλαμβάνουν μία μοναδική ενέργεια επισκευής με το απαιτούμενο κόστος και χρόνο, μία μοναδική πιθανότητα να προκαλέσει ανάγκη διακοπής χρήσης του κτιρίου, μία μοναδική πιθανότητα να προκαλέσει απώλεια ανθρώπινης ζωής ή κάποιον συνδυασμό των παραπάνω.

Για κάποιο δεδομένο τύπο στοιχείου, στον προσδιορισμό των σταθμών βλάβης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η σχέση της κάθε στάθμης με τις άλλες. Έτσι, διακρίνονται τρία είδη πιθανών σχέσεων (βλέπε FEMA P-58):

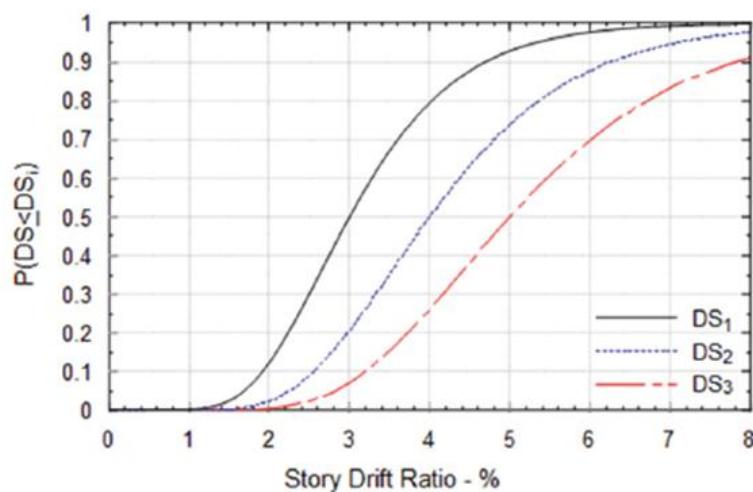
1. *Διαδοχικές (Sequential)*: Η μία στάθμη διαδέχεται την άλλη καθώς αυξάνει η απαίτηση. Συνήθως, η διαδοχή των σταθμών βλάβης αντιπροσωπεύει τόσο την αύξηση της βλάβης καθεαυτής όσο και της σοβαρότητας των συνεπειών που επιφέρει
2. *Αμοιβαίως Αποκλειόμενες (Mutually Exclusive)*: Η είσοδος του στοιχείου σε μία στάθμη βλάβης αποκλείει την είσοδο του σε άλλη. Κάθε αμοιβαίως αποκλειόμενη στάθμη βλάβης πρέπει να έχει μια δεσμευμένη πιθανότητα εμφάνισης, δεδομένου ότι έχει επέλθει βλάβη. Το άθροισμα αυτών των δεσμευμένων πιθανοτήτων για όλες τις στάθμες πρέπει να ισούται με τη μονάδα.
3. *Ταυτόχρονες (Simultaneous)*: Οι ταυτόχρονες στάθμες βλάβης είναι ανεξάρτητες και ασυσχέτιστες όσον αφορά το ότι μπορεί να συμβούν ταυτόχρονα. Κάθε στάθμη έχει μια δεσμευμένη πιθανότητα εμφάνισης δεδομένου ότι έχει επέλθει βλάβη στο στοιχείο. Το άθροισμα τους μπορεί να ξεπερνάει τη μονάδα, καθώς πολλές φορές περισσότερες από μία στάθμες βλάβης ενδέχεται να συμβαίνουν ταυτόχρονα.

2.1.4 Συναρτήσεις τρωτότητας στοιχείου (EDP - DM)

Οι *συναρτήσεις τρωτότητας στοιχείων (Component fragility functions)* αποτελούν στατιστικές κατανομές που υποδεικνύουν την πιθανότητα ένα στοιχείο ή σύστημα να πάθει βλάβη ως συνάρτηση ενός συγκεκριμένου μέτρου απόκρισης, όπως η ανηγμένη σχετική μετακίνηση ορόφου ή η επιτάχυνση ορόφου. Οι συναρτήσεις τρωτότητας λαμβάνουν συνήθως τη μορφή λογαριθμοκανονικής αθροιστικής κατανομής με διάμεσο θ και τυπική απόκλιση (διασπορά) β και περιγράφονται από την παρακάτω μαθηματική σχέση:

$$F_i(D) = \Phi\left(\frac{\ln(D/\theta_i)}{\beta_i}\right) \quad (2.1)$$

όπου $F_i(D)$ η δεσμευμένη πιθανότητα το στοιχείο να βρεθεί στη στάθμη βλάβης i για δεδομένο μέτρο απόκρισης D_i , Φ η τυπική κανονική αθροιστική συνάρτηση, θ_i η διάμεσος της πιθανοτικής κατανομής, β_i η λογαριθμική τυπική απόκλιση.



Εικόνα 1. Παράδειγμα καμπυλών τρωτότητας για διαδοχικές στάθμες βλάβης (FEMA P-58-1)

Η διασπορά β_i εκφράζει την αβεβαιότητα όσον αφορά την πραγματική τιμή απαίτησης D_i , στην οποία το στοιχείο αναμένεται να εισέλθει στην αντίστοιχη στάθμη βλάβης. Η αβεβαιότητα αυτή προέρχεται από την μεταβλητότητα της ποιότητας κατασκευής και εγκατάστασης των στοιχείων σε ένα κτίριο, αλλά και από την μεταβλητότητα στην ιστορία φόρτισης που ενδεχομένως έχει επιβληθεί στο στοιχείο που μελετάται πριν την αστοχία του. Όταν οι παράμετροι της συνάρτησης τρωτότητας εκτιμώνται βάσει περιορισμένου αριθμού δεδομένων, η αβεβαιότητα μπορεί να χωριστεί σε δύο συνιστώσες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Η πρώτη συνιστώσα, που συμβολίζεται β_r , εκφράζει την τυχαία μεταβλητότητα που παρατηρείται στα πειραματικά δεδομένα, από τα οποία εξάγονται οι παράμετροι της τρωτότητας. Η δεύτερη συνιστώσα, που συμβολίζεται β_u , εκφράζει την αβεβαιότητα λόγω ελλειπούς γνώσης που έγκειται π.χ. στο εάν τα εν λόγω πειράματα απεικονίζουν πραγματικές συνθήκες εγκατάστασης και φόρτισης και στο εάν τα διαθέσιμα δεδομένα κρίνονται επαρκή σαν δείγμα για τον προσδιορισμό της τυχαίας μεταβλητότητας. Η συνολική διασπορά υπολογίζεται ως:

$$\beta = \sqrt{\beta_r^2 + \beta_u^2} \quad (2.2)$$

Για κάθε μία διαδοχική και για κάθε ομάδα αμοιβαίως αποκλειόμενων ή ταυτόχρονων σταθμών βλάβης, απαιτείται μία μοναδική συνάρτηση τρωτότητας. Για διαδοχικές στάθμες βλάβης, η δεσμευμένη πιθανότητα ένα στοιχείο να έχει φτάσει τη στάθμη i για απαίτηση D_i δίνεται από τη σχέση:

$$P[i|D] = F_{i+1}(D) - F_i(D) \quad (2.3)$$

όπου $F_{i+1}(D)$ η δεσμευμένη πιθανότητα το στοιχείο να φτάσει τη στάθμη βλάβης $i+1$ ή κάποια υψηλότερη και $F_i(D)$ αντίστοιχα για στάθμη i .

Οι συναρτήσεις τρωτότητας των στοιχείων προσδιορίζονται από πειραματικά δεδομένα, συλλογή στοιχείων από πραγματικούς σεισμούς, ανάλυση, αλλά και από την εμπειρία των μελετητών.

2.1.5 Συναρτήσεις κόστους (DM - DV)

Οι *συναρτήσεις κόστους*, γενικότερα γνωστές και ως *συναρτήσεις συνεπειών* (*Consequence Functions*) αποτελούν σχέσεις που εκφράζουν την πιθανή κατανομή απωλειών σαν συνάρτηση της στάθμης βλάβης. Οι συναρτήσεις συνεπειών συνδέουν, δηλαδή, τη βλάβη με *μεταβλητές σχεδιασμού* (*DV*, decision variables) που εκφράζουν πιθανές συνέπειες, είτε αυτές έχουν τη μορφή οικονομικού κόστους επισκευής ή αντικατάστασης, είτε χρόνου επισκευής, διακοπής χρήσης του κτιρίου ή απώλειας ανθρώπινων ζωών.

Το *κόστος επισκευής* περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες ενέργειες για την επαναφορά του βλαμμένου στοιχείου στην αρχική του κατάσταση και βασίζεται στα απαιτούμενα μέτρα αποκατάστασης που ορίζονται για κάθε στάθμη βλάβης.

Ο *χρόνος επισκευής* ενός κτιρίου, κατά τον οποίο αυτό δεν θα είναι λειτουργικό, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το ποιος είναι αρμόδιος για την επισκευή, τις οικονομικές δυνατότητες αυτού, την διαθεσιμότητα ειδικών για την αποτίμηση και τον σχεδιασμό των εργασιών αποκατάστασης, τη διαθεσιμότητα κατάλληλων εργολάβων και του απαραίτητου εξοπλισμού και υλικών, το χρόνο προμήθειας εξειδικευμένου εξοπλισμού ή υλικών για το συγκεκριμένο κτίριο, το αν οι εργασίες επισκευής απαιτούν την εκκένωση του κτιρίου, το αν το κτίριο έχει καταστεί

επικίνδυνο κατά την μετασεισμική αποτίμηση και ο χρόνος που θα απαιτηθεί μέχρι να κριθεί ασφαλής η επισκευή του.

2.2 Βιβλιογραφική επισκόπηση

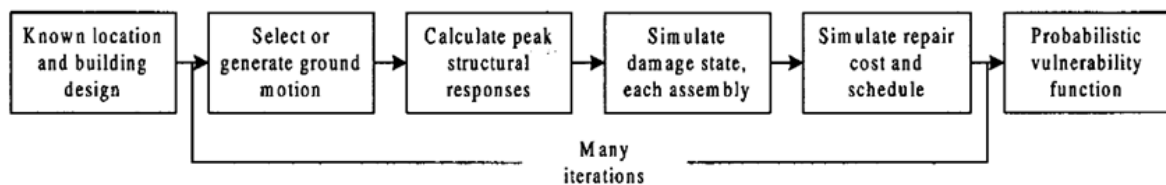
Η αποτίμηση σεισμικών απωλειών έχει αποτελέσει ένα αρκετά δημοφιλές πεδίο για πολλούς ερευνητές τα τελευταία χρόνια. Στα πλαίσια της έρευνας του PEER, οι **Cornell και Krawinkler (2000)** παρουσιάζουν μία πιθανοτική βάση για την σεισμική αποτίμηση με κριτήριο την επιτελεστικότητα, ορίζοντας μεταβλητές σχεδιασμού DV, όπως οι ετήσιες απώλειες λόγω σεισμού ή η υπέρβαση ορισμένων οριακών καταστάσεων, και αναγάγοντας το πρόβλημα στον υπολογισμό της μέσης ετήσιας συχνότητας $\lambda(DV)$ υπέρβασης οριακών τιμών. Αξιοποιώντας το θεώρημα ολικής πιθανότητας, η $\lambda(DV)$ προσδιορίζεται από την παρακάτω σχέση, αφού γίνει αποσύζευξη της σε όρους δεικτών βλάβης DM, μέτρου απόκρισης EDP και μέτρου έντασης IM.

$$\lambda(DV) = \iiint G(DV|DM) \cdot dG(DM|EDP) \cdot dG(EDP|IM) \cdot d\lambda(IM) \quad (2.4)$$

Με αυτό το τρόπο, ο υπολογισμός διαχωρίζεται σε 3 επιμέρους προβλήματα: ανάλυση σεισμικού κινδύνου, δυναμικής ανάλυσης για δεδομένο σεισμικό κίνδυνο και εκτίμησης απωλειών ή αστοχίας για δεδομένη απόκριση. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στην επιλογή των ενδιάμεσων μεταβλητών, ώστε αφενός να περιορίζεται η διασπορά της εκάστοτε δεσμευμένης πιθανότητας $G(A|B)$ για δεδομένη τιμή της μεταβλητής που ορίζει το ενδεχόμενο B, και επιπλέον, για δεδομένη τιμή DM, η μεταβλητή DV να είναι υπό συνθήκη ανεξάρτητη της IM.

Χρησιμοποιώντας το πιθανοτικό αυτό πλαίσιο, στόχος είναι η ανάπτυξη μιας γενικής μεθοδολογίας εκτίμησης του ετήσιου αναμενόμενου σχετιζόμενου με την σεισμική διακινδύνευση κόστους, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη κοινωνικούς περιορισμούς και τυχόν απαιτήσεις του ιδιοκτήτη. Εναλλακτικά, η μεθοδολογία μπορεί να εστιάζει σε συγκεκριμένες στάθμες επιτελεστικότητας και στην αποδεκτή ετήσια πιθανότητα υπέρβασης αυτών.

Οι **Porter et al. (2001)** παρουσιάζουν μια μεθοδολογία υπολογισμού της σεισμικής τρωτότητας κτιρίου αποτιμώντας τη βλάβη δομικών και μη στοιχείων και περιεχομένων. Στα πλαίσια αυτής, πραγματοποιείται δυναμική ανάλυση του υπό μελέτη κτιρίου και τα ζητούμενα μεγέθη απόκρισης εισάγονται σε επιμέρους συναρτήσεις τρωτότητας των στοιχείων για τον προσδιορισμό της πιθανότητας εμφάνισης βλάβης σε αυτά. Κατόπιν, χρησιμοποιώντας πιθανοτική κατανομή του ανά μονάδα κόστους επισκευής κάθε στοιχείου αλλά και του απαιτούμενου χρόνου, αθροίζοντας λαμβάνεται το συνολικό κόστος και ο χρόνος για την επισκευή του κτιρίου.



Εικόνα 2. Βήματα της μεθοδολογίας των Porter et al.(2001)

Η απογραφή των στοιχείων προτείνεται να γίνει ταξινομώντας τα με τρόπο που χωρίς να είναι υπερβολικά λεπτομερής να τα διαχωρίζει, πέρα των άλλων, και με κριτήριο τη

σεισμική τους τρωτότητα. Η δυναμική ανάλυση πραγματοποιείται για διάφορα επίπεδα μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης, χρησιμοποιώντας ένα πλήθος κατάλληλα τροποποιημένων πραγματικών ή τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων, ώστε να απεικονιστεί η μεταβλητότητα της εδαφικής κίνησης για δεδομένη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση. Η απόκριση του κτιρίου λαμβάνεται, παίρνοντας υπόψη και την αβεβαιότητα υλικών, γεωμετρίας, κλπ θεωρώντας τις αντίστοιχες μεταβλητές ως τυχαίες, και μέσω κατάλληλων σχέσεων υπολογίζεται το επίπεδο βλάβης των στοιχείων για τη δεδομένη απόκριση. Η πιθανότητα υπέρβασης του κάθε επιπέδου βλάβης για δεδομένη απόκριση περιγράφεται από την αθροιστική κατανομή πιθανότητας $P[X_d < z]$, όπου z η τιμή του εκάστοτε μεγέθους απόκρισης και X_d η τυχαία μεταβλητή, υπέρβαση της οποίας εκφράζει την εμφάνιση επιπέδου βλάβης d και η κατανομή της οποίας προκύπτει είτε από πειραματικά δεδομένα είτε από στατιστικά στοιχεία. Το επίπεδο βλάβης του κάθε στοιχείου προσδιορίζεται τελικά με πιθανοτική προσομοίωση. Παρομοίως, με προσομοίωση υπολογίζεται και το κόστος επισκευής των βλαμμένων στοιχείων, θεωρώντας ως τυχαία μεταβλητή το κόστος ανά μονάδα στοιχείου για δεδομένο επίπεδο βλάβης, αλλά και ο απαιτούμενος χρόνος, με χρήση τυπικών μεθόδων προγραμματισμού και τυχαία μεταβλητή το χρόνο επισκευής ανά μονάδα στοιχείου για δεδομένο επίπεδο βλάβης. Πέραν του κόστους επισκευής, οικονομικές απώλειες ενδεχομένως να προκύπτουν και λόγω της διακοπής χρήσης του εκάστοτε λειτουργικού χώρου. Ο εν λόγω χρόνος προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τον απαιτούμενο χρόνο επισκευής των στοιχείων που περιγράφηκε προηγουμένως και κάνοντας ορισμένες απλοποιητικές παραδοχές σχετικά με τον προγραμματισμό των εργασιών και άλλους πιθανούς περιορισμούς. Το κόστος λόγω διακοπής χρήσης υπολογίζεται συναρτήσει του χρόνου της διακοπής και προστίθεται στο κόστος της επισκευής. Πραγματοποιώντας έτσι πολλαπλές προσομοιώσεις για κάθε τιμή φασματικής επιτάχυνσης και υπολογίζοντας το κόστος, προκύπτει η πιθανοτική συνάρτηση σεισμικής τρωτότητας του κτιρίου καθώς και πληροφορίες σχετικά με τις αιτίες του κόστους.

Ο **Der Kiureghian (2005)** εξετάζει την εγκυρότητα της πιθανοτικής σχέσης του PEER για τον υπολογισμό της μέσης ετήσιας συχνότητας υπέρβασης ενός μεγέθους απόκρισης που είχαν προτείνει οι Cornell και Krawinkler, αλλά και της χρήσης της για την εκτίμηση της πιθανότητας υπέρβασης ενός μεγέθους απόκρισης σε κάποιο δεδομένο χρονικό διάστημα. Θεωρώντας κατανομή Poisson των σεισμικών γεγονότων με μέση συχνότητα εμφάνισης ν , προκύπτει ότι τα γεγονότα των οποίων ένα χαρακτηριστικό του σεισμού X_i υπερβαίνει μια δεδομένη τιμή x , αποτελούν και αυτά γεγονότα Poisson με μέση συχνότητα $\nu P(x < X_i)$. Με βάση αυτή την ιδιότητα καταλήγει στην προσέγγιση:

$$H(im, t) \cong \nu t P(im < IM) \quad \text{όταν} \quad \nu t P(im < IM) \ll 1 \quad (2.5)$$

Σε αντίθεση όμως με τις μεταβλητές της έντασης X_i , οι μεταβλητές που σχετίζονται με ιδιότητες του φορέα Y_i είναι μη-εργοδικές στο χρόνο, δηλαδή θεωρούνται αμετάβλητες μεταξύ διαδοχικών συμβάντων και συνεπώς τα γεγονότα ($y < Y$) δεν αποτελούν γεγονότα Poisson. Οι αβεβαιότητες χωρίζονται σε δύο μέρη, ένα εργοδικό ε_1 , που αναφέρεται για παράδειγμα στη μεταβλητότητα της εδαφικής κίνησης για δεδομένο μέτρο έντασης, και ένα μη-εργοδικό ε_2 που δεν μεταβάλλεται στο χρόνο και το οποίο σχετίζεται με τις επιστημικές αβεβαιότητες που προκύπτουν από τις παραδοχές μοντελοποίησης. Με αυτό το τρόπο, ο Der Kiureghian χρησιμοποιώντας το μοντέλο Poisson και το θεώρημα ολικής πιθανότητας καταλήγει αναλυτικά σε μία σχέση υπολογισμού της πιθανότητας υπέρβασης ενός μεγέθους απόκρισης σε κάποιο δεδομένο χρονικό διάστημα $P[edp < EDP(Y, IM, \varepsilon_1, \varepsilon_2) \text{ in } t \text{ years}]$, ενώ από αυτή εύκολα υπολογίζει και την σχέση υπολογισμού της μέσης ετήσιας συχνότητας υπέρβασης του μεγέθους επιβεβαιώνοντας τη σχέση του PEER.

Στη συνέχεια, βασιζόμενος στην προσέγγιση $1 - \exp(-a) \cong a$ για $0 < a \ll 1$ καταλήγει σε μία απλοποιημένη σχέση υπολογισμού της $P[edp < EDP(Y, IM, \varepsilon_1, \varepsilon_2)]$ την οποία συγκρίνει με αυτή που προέκυψε αναλυτικά, καθώς και με αυτή που θα προέκυπτε αν είχαν θεωρηθεί όλες οι μεταβλητές ως εργοδικές. Το σφάλμα της προσέγγισης εξαρτάται από το μέγεθος της πιθανότητας σε σχέση με τη μονάδα και αποδεικνύεται ότι αυξάνεται με το χρόνο και την αύξηση των μη-εργοδικών αβεβαιοτήτων, ενώ η περίπτωση θεώρησης μόνο εργοδικών μεταβλητών δίνει πάντα καλύτερα αποτελέσματα από την προσέγγιση.

Με στόχο την λεπτομερή παρουσίαση της μεθοδολογίας αποτίμησης σεισμικής απόδοσης αλλά και την μελέτη της επιρροής διάφορων παραμέτρων σε αυτή, οι **Goulet et al. (2007)** παρουσιάζουν ένα εκτένες παράδειγμα εφαρμογής σε κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος. Συγκεκριμένα, θεώρησαν διάφορα επίπεδα σεισμικού κινδύνου λαμβάνοντας μία σειρά σεισμικών καταγραφών για καθένα από αυτά, ενώ παράλληλα μελετήθηκαν διαφορετικά προσομοιώματα ινών και συγκεντρωμένης πλαστικότητας για την καλύτερη απεικόνιση της αρχικής ρηγμάτωσης και διαρροής από τα πρώτα και της υποβάθμισης της αντοχής και δυσκαμψίας μέχρι την κατάρρευση από τα δεύτερα. Ακόμη, λήφθηκαν διαφορετικές τιμές αρχικής δυσκαμψίας, ενώ ένα πλήθος παραμέτρων, όπως η οριακή πλαστική γωνία στροφής χορδής, θεωρήθηκαν ως τυχαίες μεταβλητές για την κάλυψη των αβεβαιοτήτων της προσομοίωσης. Τέλος, χρησιμοποιώντας κατάλληλες συναρτήσεις τρωτότητας, βλαβών και κόστους, υπολογίζεται το αναμενόμενο συνολικό κόστος επισκευής ή αντικατάστασης αλλά και οι αναμενόμενες ετήσιες απώλειες.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν την ανάγκη ρεαλιστικής εκτίμησης της οριακής πλαστικής γωνίας στροφής χορδής που δείχνει να έχει μεγάλη επιρροή αλλά και την ευαισθησία της πιθανότητας κατάρρευσης στις αβεβαιότητες του προσομοιώματος με την συχνότητα κατάρρευσης να αυξάνεται κατά ένα συντελεστή 4-8. Επιπλέον, τεράστια σημασία είναι και η επιλογή των εδαφικών κινήσεων λαμβάνοντας υπόψη την φασματική μορφή, παράγοντας που αύξησε την συχνότητα κατάρρευσης κατά 5-8 φορές. Η ανελαστική στατική ανάλυση κρίθηκε ακατάλληλη για μία τέτοια μελέτη καθώς ο μηχανισμός κατάρρευσης που προέβλεπε δεν ήταν καν ο κυρίαρχος που παρατηρήθηκε από τις δυναμικές αναλύσεις. Όσον αφορά τις οικονομικές ζημιές, κυριάρχησαν τα κόστη επισκευής των τοιχοπληρώσεων, των δομικών στοιχείων και της εσωτερικής βαφής. Οι αναμενόμενες ετήσιες απώλειες εμφανίστηκαν ιδιαίτερα ευαίσθητες στον τρόπο προσομοίωσης της αρχικής δυσκαμψίας ενώ σημαντική επιρροή είχαν και άλλες επιλογές προσομοίωσης.

Στο ίδιο πλαίσιο οι **Yang et al. (2009)** αποτιμούν την σεισμική απόδοση ενός μεταλλικού κτιρίου. Κυριότερη διαφοροποίηση τους αποτελεί ο προσδιορισμός μέσω ενός μικρότερου αριθμού δυναμικών αναλύσεων των συναρτήσεων κατανομής των μεγεθών απόκρισης (*EDP*) και της συσχέτισης αυτών, θεωρώντας πολυδιάστατη λογαριθμοκανονική κατανομή. Λαμβάνοντας έτσι κάποια αρχικά δεδομένα από περιορισμένο πλήθος αναλύσεων για κάθε επίπεδο σεισμικού κινδύνου, είναι δυνατή η αναπαραγωγή μεγάλου αριθμού διανυσμάτων μεγεθών απόκρισης που θα ακολουθούν την ίδια κατανομή με τα αρχικά δεδομένα, μειώνοντας σημαντικά το υπολογιστικό κόστος.

Οι **Baradaran et al. (2012)** επεκτείνουν περαιτέρω τη μεθοδολογία αναδεικνύοντας τη σημασία του προσδιορισμού της κατάρρευσης. Συγκεκριμένα, προτείνουν έναν νέο ορισμό της που αντιστοιχεί στην απώλεια της ικανότητας ανάληψης κατακόρυφων φορτίων και που ενδεχομένως να επικρατεί στην περίπτωση κτιρίων χαμηλής πλαστικότητας. Ο ορισμός αυτός συγκρίνεται με την επικρατούσα λογική της εξέτασης υπέρβασης της στάθμης επιτελεστικότητας "Οιωνεί Κατάρρευση" που αντιστοιχεί στην υπέρβαση κάποιας οριακής κατάστασης για το πρώτο δομικό στοιχείο, αλλά και με την κατάρρευση μέσω ενός πλάγιου μηχανισμού και φαινομένων P-Δ, η οποία προσδιορίζεται ως το σημείο

όπου εμφανίζονται μεγάλες πλευρικές μετακινήσεις για μικρή μεταβολή της σεισμικής απαίτησης.

Προς αυτό το σκοπό, χρησιμοποιήθηκαν μοντέλα διατμητικής και αξονικής αστοχίας των στοιχείων και κατάλληλη μοντελοποίηση των κόμβων. Η σύγκριση των τριών μεθοδολογιών έδειξε ότι η πρώτη προσέγγιση της στάθμης "Οιωνεί Κατάρρευση" υπερεκτιμά τις απώλειες καθώς δεν λαμβάνει υπόψη την ικανότητα αναδιανομής της έντασης, ενώ ο πλάγιος μηχανισμός πολλές φορές τις υποεκτιμά καθώς η κατάρρευση λόγω αδυναμίας ανάληψης των κατακόρυφων φορτίων προηγείται αυτού. Τέλος, παρότι τα κριτήρια κατάρρευσης φάνηκαν να επηρεάζουν σημαντικά την πιθανότητα κατάρρευσης, οι ετήσιες απώλειες αν και αυξάνονται αρκετά όταν περιλαμβάνεται η κατάρρευση, αποδείχθηκαν λιγότερο ευαίσθητες στα κριτήρια προσδιορισμού αυτής.

Η μεθοδολογία αποτίμησης των σεισμικών απωλειών χρησιμοποιήθηκε από τους **Yang et al. (2012)** για τη μελέτη δύο διαφορετικών δομικών συστημάτων. Συγκεκριμένα, έγινε σύγκριση της χρήσης κεντρικών συνδέσμων μορφής Λ (Inverted-V-braced frame), έναντι ενός καινοτόμου συστήματος που περιλαμβάνει την προσθήκη ελκυστήρα στο προηγούμενο σύστημα μεταξύ του δεύτερου ορόφου και της κορυφής του πλαισίου (Suspended zipper-braced frame). Μελετώντας τις δύο παραλλαγές σε ένα τριώροφο μεταλλικό κτίριο, το δεύτερο σύστημα παρουσίασε μεγαλύτερες ανηγμένες μετακινήσεις στον πρώτο όροφο για υψηλά επίπεδα έντασης αλλά αμελητέες στον τρίτο. Ακόμη, παρουσίασε χαμηλότερη επιτάχυνση στην κορυφή για όλα τα επίπεδα σεισμικού κινδύνου. Όσον αφορά τις οικονομικές απώλειες των δύο κατασκευών το δεύτερο σύστημα φάνηκε να συμπεριφέρεται καλύτερα έχοντας μικρότερο μέγιστο συνολικό κόστος επισκευής, μικρότερη διασπορά, ενώ ήταν και κατά 25% ελαφρύτερο.

Οι **Ramirez και Miranda (2012)** τονίζουν τη σημασία των απομένουσων παραμορφώσεων και συγκεκριμένα των απομένουσων ανηγμένων σχετικών μετακινήσεων ορόφου (*RIDR*, residual interstory drift ratio) στην αποτίμηση των σεισμικών απωλειών, ενσωματώνοντας την πιθανότητα αδυναμίας επισκευής και ανάγκης κατεδάφισης του κτιρίου για τον υπολογισμό των συνολικών απωλειών. Η πιθανότητα αυτή κατεδάφισης (*D*, demolition), για δεδομένη μη κατάρρευση του κτιρίου (*NC*, non collapse), δίνεται από την παρακάτω σχέση, ενώ θεωρήθηκε ότι ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή για να εκφράσει την προσωπική κρίση του εκάστοτε μηχανικού όσον αφορά την δυνατότητα επισκευής ή μη. Έτσι, οι συνολικές απώλειες L_T μπορούν να υπολογιστούν ως το άθροισμα των απωλειών λόγω επισκευής δεδομένης της μη-κατάρρευσης $L_{NC\cap R}$, των απωλειών λόγω ανάγκης κατεδάφισης δεδομένης της μη-κατάρρευσης $L_{NC\cap D}$ και των απωλειών λόγω κατάρρευσης L_c .

$$P(D|NC, IM) = \int_0^{\infty} P(D|RIDR) dP(RIDR|NC, IM) \quad (2.6)$$

$$L_T = L_{NC\cap R} + L_{NC\cap D} + L_c \quad (2.7)$$

Οι απομένουσες παραμορφώσεις αυξάνονται για μεγάλες ανελαστικές παραμορφώσεις, οι οποίες προβλέπονται από την μέχρι τώρα λογική του σχεδιασμού που επιτρέπει χαμηλότερα φορτία σχεδιασμού και εστιάζει μόνο στον περιορισμό της πιθανότητας κατάρρευσης. Από τα αποτελέσματα της μελέτης φάνηκε πως οι μεγάλες ανηγμένες παραμορφώσεις έχουν ενδεχομένως μεγαλύτερο ρόλο στην εκτίμηση σεισμικών απωλειών υψηλών κτιρίων, χωρίς όμως να μπορούν να αγνοηθούν και για χαμηλότερα. Σε μη πλάστιμα κτίρια πάλι, φαίνεται πως η πιθανότητα κατάρρευσης κυριαρχεί των υπολοίπων. Τέλος, η ανάλυση ευαισθησίας όσον αφορά τις παραμέτρους της κατανομής της $P(D|NC, IM)$ έδειξε πως οι οικονομικές απώλειες είναι αρκετά ευαίσθητες στην μεταβολή της διαμέσου αλλά όχι τόσο στην μεταβολή της διασποράς.

Οι **Jarayam et al. (2012)** αναπτύσσουν σχέσεις τρωτότητας για υψηλά κτίρια λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση υψηλότερων ιδιομορφών αλλά και των επιστημικών και τυχαίων αβεβαιοτήτων. Έτσι σαν μέτρο έντασης για τον υπολογισμό της απόκρισης δεν λαμβάνεται η φασματική επιτάχυνση στην θεμελιώδη ιδιοπερίοδο αλλά ένα διάνυσμα φασματικών επιταχύνσεων σε διαφορετικές περιόδους ($S_a(\mathbf{T})$). Ωστόσο, οι σχέσεις τρωτότητας υπολογίζονται για δεδομένη κάθε φορά $S_a(T_0)$ όπου T_0 μία ιδιοπερίοδος αναφοράς (π.χ. η προβλεπόμενη από τον κανονισμό). Το διάνυσμα $S_a(\mathbf{T})$ υπολογίζεται για δεδομένη $S_a(T_0)$, θεωρώντας πολυδιάστατη κανονική κατανομή της $\ln S_a(\mathbf{T})$ για διάφορες περιόδους, σε συγκεκριμένη θέση και για δεδομένο σεισμό. Έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι την ίδια κατανομή θα ακολουθεί και η $\ln S_a(\mathbf{T})$ δεσμευμένη στην $S_a(T_0)$, ενώ στην συνέχεια γίνεται αναγωγή και για διαφορετικές εκδοχές σεισμικών γεγονότων. Έτσι, προκύπτει η παρακάτω μέση συνάρτηση τρωτότητας η οποία επιλύεται με προσομοίωση Monte Carlo:

$$E(DV|S_a(T_0)) = \int \int \int \int DV |dG(DV|DM)| |dG(DM|EDP)| |dG(EDP|S_a(\mathbf{T}))| |dG(S_a(\mathbf{T})|S_a(T_0))| \quad (2.8)$$

Οι τιμές των μεγεθών απόκρισης (EDP) υπολογίζονται μέσω παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας έναν αριθμό εδαφικών κινήσεων θεωρώντας λογαριθμοκανονική κατανομή και υπολογίζοντας ενδεχόμενες συσχετίσεις. Οι επιστημικές και τυχαίες αβεβαιότητες υπολογίζονται και λαμβάνονται υπόψη στην κατανομή. Κατάλληλες κατανομές προσδιορίζονται και για τις βλάβες και οικονομικές απώλειες και η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις τιμές ενδιαφέροντος της $S_a(T_0)$.

Οι **Zareian και Krawinkler (2012)** παρουσιάζουν μία μέθοδο σχεδιασμού με βάση την επιτελεσματικότητα βασιζόμενοι στην εκτίμηση σεισμικών απωλειών ανά όροφο. Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει δύο βήματα, αυτό της σύλληψης του δομικού συστήματος και επιλογής βασικών παραμέτρων και αυτό της αποτίμησης του, κατάλληλης τροποποίησης και τέλος ενσωμάτωσης των αβεβαιοτήτων. Η μεθοδολογία ξεκινάει με την επιλογή μίας αποδεκτής τιμής μέσων απωλειών σε κάθε όροφο και από τις καμπύλες απωλειών - EDP υπολογίζεται το αντίστοιχο μέγεθος απόκρισης EDP. Στη συνέχεια, για το επιθυμητό επίπεδο σεισμικού κινδύνου στο οποίο θα αντιστοιχούν οι απώλειες που ορίστηκαν προηγουμένως, υπολογίζεται το μέτρο έντασης από την καμπύλη σεισμικού κινδύνου. Με αυτό το τρόπο, προκύπτει το στοχευόμενο σημείο σχεδιασμού στην καμπύλη IM - EDP, το οποίο ορίζει ουσιαστικά και την περιοχή των αποδεκτών λύσεων του σχεδιασμού. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι αναμενόμενες συνολικές απώλειες, προσθέτοντας τις απώλειες όλων των ομάδων στοιχείων ανά όροφο από όλους του ορόφους και ενσωματώνοντας και τις απώλειες λόγω κατάρρευσης του κτιρίου, που προκύπτουν ξεχωριστά από την αντίστοιχη καμπύλη.

Η μεθοδολογία εκτίμησης απωλειών ανά όροφο προσφέρει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης διαφορετικών καμπυλών μέσων απωλειών για κάθε όροφο σε περίπτωση που η αξία κάποιων ορόφων κρίνεται μεγαλύτερη άλλων. Ακόμη, λαμβάνεται μια πιο ακριβής εκτίμηση των απωλειών, δεδομένου ότι ένα μέγεθος απόκρισης EDP στο επίπεδο του ορόφου κρίνεται καλύτερος εκτιμητής της απαίτησης σε σύγκριση με ένα μέγεθος που αναφέρεται στο σύνολο του κτιρίου. Τέλος, η μεθοδολογία αυτή προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία όσον αφορά την κατανομή των απωλειών στους ορόφους, δίνοντας τη δυνατότητα ανάπτυξης μιας στρατηγικής σχεδιασμού που θα επιτρέπει ενδεχομένως την συγκέντρωση των απωλειών σε κάποιους ορόφους και την ελάφρυνση των υπολοίπων. Παρόλα αυτά βασίζεται σε αρκετές παραδοχές, υπολογίζοντας μόνο τις μέσες απώλειες, αγνοώντας τη διασπορά, ενώ δεν λαμβάνει υπόψη το αρχικό κόστος κατασκευής του κτιρίου. Τέλος, οι συναρτήσεις απωλειών - EDP που χρησιμοποιούν βασίζονται σε πολλές υποθέσεις και είναι απαραίτητη η ανάπτυξη συναρτήσεων από πληρέστερα δεδομένα.

2.3 FEMA P-58: Αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς κτιρίων

2.3.1 Γενικά

Το 2001 το ATC (Applied Technology Council) σε συνεργασία με τη FEMA (Federal Emergency Management Agency) ξεκίνησαν το πρόγραμμα ATC-58 με στόχο την διαμόρφωση νέων κριτηρίων για τον σχεδιασμό βάσει επιτελεσματικότητας για νέα και παλιά κτίρια. Τα νέα αυτά κριτήρια χαρακτηρίζουν την απόδοση των κτιρίων βάσει των συνεπειών λόγω σεισμού, όπως η απώλεια ανθρώπινης ζωής, οι οικονομικές απώλειες λόγω ανάγκης επισκευής ή επανοικοδόμησης, αλλά και ο χρόνος διακοπής της λειτουργίας του κτιρίου. Έτσι, μαζί με τα δομικά στοιχεία του φορέα, μελετάται και η σεισμική συμπεριφορά αρχιτεκτονικών, ηλεκτρολογικών, μηχανολογικών και άλλων μη δομικών στοιχείων και περιεχομένων. Ακολουθώντας μία μεθοδολογία που αρχικά αναπτύχθηκε από το PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center), οι οδηγίες, που εκδόθηκαν το 2012 υπό τον τίτλο FEMA P-58, περιλαμβάνουν τη διαμόρφωση ενός προσομοιώματος της συμπεριφοράς του κτιρίου, χρησιμοποιώντας συναρτήσεις τρωτότητας και συνεπειών για κάθε ένα από τα ευάλωτα στοιχεία του που φέρουν κάποια λειτουργική ή οικονομική σημασία και εκτενής χρήση προσομοιώσεων Monte Carlo.

2.3.2 Τύποι αποτίμησης σεισμικής συμπεριφοράς

Το FEMA P-58 διαχωρίζει 3 τύπους ανάλυσης με τους οποίους μπορεί να εφαρμοστεί η μεθοδολογία του:

- Αποτιμήσεις με βάση την ένταση (Intensity - Based Assessments)
- Αποτιμήσεις για συγκεκριμένη σεισμική εκδοχή (Scenario - Based Assessments)
- Χρονικές αποτιμήσεις (Time - Based Assessments)

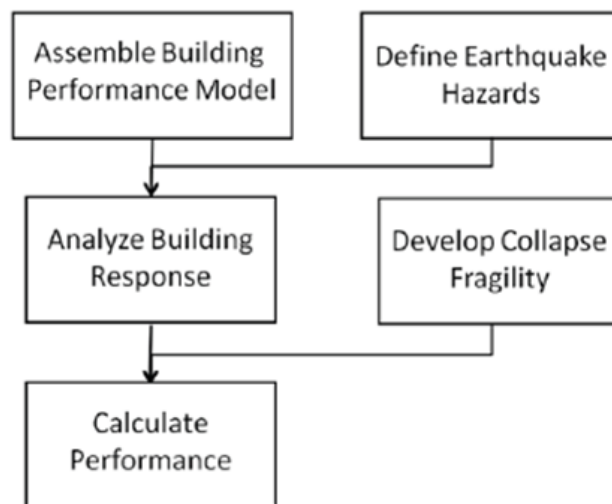
Ο τελευταίος τύπος αποτίμησης είναι και ο λεπτομερέστερος και πιο ολοκληρωμένος. Σύμφωνα με αυτόν, μελετάται η πιθανή απόδοση του κτιρίου για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, λαμβανοντας υπόψη όλους τους πιθανούς σεισμούς που θα μπορούσαν να συμβούν σε αυτό το διαστημα και την πιθανότητα εμφάνισης του καθενός από αυτούς. Ακόμη, λαμβάνεται υπόψη η αβεβαιότητα στο μέγεθος και την απόσταση μελλοντικών σεισμών καθώς και στην ένταση της εδαφικής κίνησης που θα προκληθεί. Το μελετούμενο χρονικό διάστημα αποφασίζεται από τον ενδιαφερόμενο ανάλογα με τους σκοπούς της αποτίμησης. Αποτιμήσεις για χρονικό διάστημα ενός έτους είναι συχνά χρήσιμες για μελέτες κόστους - ωφέλειας για αποφάσεις σχετικές την υιοθέτηση εναλλακτικών κριτηρίων επιτελεσματικότητας, ενώ μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα χρησιμοποιούνται για άλλου είδους αποφάσεις.

2.3.3 Σύνοψη μεθοδολογίας υπολογισμού απόδοσης κτιρίου

Η μεθοδολογία του FEMA P-58 παρουσιάζεται συνοπτικά στο διάγραμμα ροής της Εικόνας 3. Αρχικά, δημιουργείται ένα *προσομοίωμα της απόδοσης του κτιρίου (building performance model)*, συλλέγοντας όλα τα δεδομένα που προσδιορίζουν τα στοιχεία του κτιρίου που ενδέχεται να πάθουν βλάβη και την έκθεση τους στον σεισμικό κίνδυνο. Αυτά περιλαμβάνουν δομικά και μη στοιχεία και πληροφορίες σχετικές με τα ενδεχόμενα είδη βλάβης τους και τις αντίστοιχες απαιτήσεις απόκρισης, την τοποθεσία τους στο κτίριο, τις ενδεχόμενες συνέπειες σε όρους κόστους και χρόνου επισκευής, διακοπής χρήσης του

κτιρίου και ανθρώπινων ζώων. Για το τελευταίο ορίζεται και η χρήση του κτιρίου και οι αντίστοιχες κατανομές του πλήθους ατόμων μέσα στο κτίριο κατά τη διάρκεια της μέρας και του έτους.

Στη συνέχεια, ορίζεται ο σεισμικός κίνδυνος (*seismic hazard*) που συνίσταται στην ποσοτικοποίηση της έντασης επιδράσεων όπως η εδαφική κίνηση, η διάρρηξη του εδάφους, η ρευστοποίηση, κ.α. και στον προσδιορισμό της πιθανότητας εμφάνισης συγκεκριμένης έντασης επιδράσεων στην μελετούμενη τοποθεσία. Προς το παρόν, και στα πλαίσια της μεθοδολογίας του FEMA P-58, μελετάται μόνο η εδαφική κίνηση. Για χρονικές αποτιμήσεις της σεισμικής συμπεριφοράς, ο κίνδυνος λόγω εδαφικής κίνησης χαρακτηρίζεται από μία σειρά μέσων καμπυλών σεισμικού κινδύνου σε διαφορετικές τοποθεσίες, που αποτελούν τις γραφικές παραστάσεις της μέσης ετήσιας συχνότητας υπέρβασης διαφορετικών τιμών φασματικής επιτάχυνσης για συγκεκριμένη ιδιοπερίοδο. Αυτές οι καμπύλες χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή μίας σειράς φασμάτων επιταχύνσεων που αντιπροσωπεύουν ένα εύρος εντάσεων εδαφικής κίνησης για ένα λογικό εύρος πιθανοτήτων υπέρβασης και μεγεθών απόκρισης.



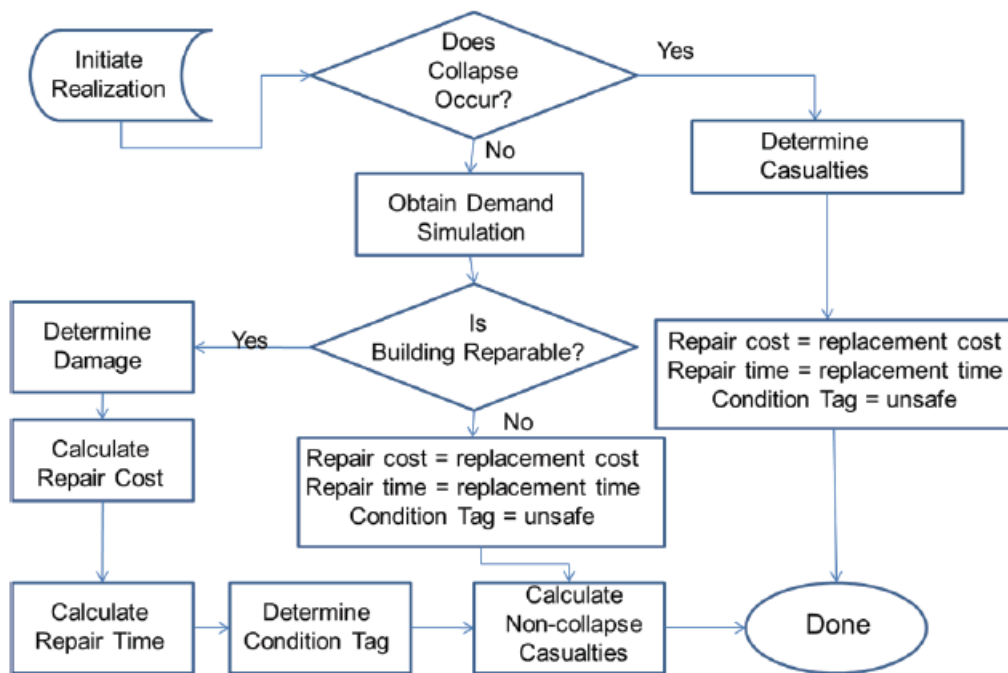
Εικόνα 3. Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας του FEMA P-58 (2012)

Η απαίτηση υπολογίζεται από την ανάλυση του κτιρίου και εκφράζεται σε μορφή μεγεθών απόκρισης που σχετίζονται με τη βλάβη δομικών και μη στοιχείων. Συνήθως, ενδιαφέρον παρουσιάζουν μεγέθη όπως η μέγιστη ανηγμένη σχετική μετακίνηση ορόφου σε κάθε μία από τις δύο ορθογωνικές διευθύνσεις, η ταχύτητα ορόφου, η επιτάχυνση ορόφου και η παραμένουσα ανηγμένη σχετική μετακίνηση. Το FEMA P-58 περιγράφει δύο μεθόδους ανάλυσης για την πρόβλεψη της απόκρισης του κτιρίου, μία μη-γραμμική ανάλυση χρονιστορίας και μία απλοποιημένη ψευδοστατική ανάλυση με ισοδύναμα οριζόντια φορτία. Η πρώτη κρίνεται κατάλληλη για οποιαδήποτε κατασκευή και για τον υπολογισμό οποιουδήποτε μεγέθους απόκρισης που μπορεί να προκύψει από την προσομοίωση. Αντίθετα, η απλοποιημένη μέθοδος περιορίζεται σε κανονικά, χαμηλά και μέσου ύψους κτίρια, με μικρή ανελαστικοποίηση και παράγει μόνο τιμές ανηγμένης σχετικής μετακίνησης ορόφου και μέγιστης επιτάχυνσης και ταχύτητας ορόφου.

Η πιθανότητα μερικής ή ολικής κατάρρευσης προκύπτει με τη μορφή *συναρτήσεων τρωτότητας έναντι κατάρρευσης (collapse fragility functions)*. Οι συναρτήσεις αυτές δίνουν την πιθανότητα κατάρρευσης σαν συνάρτηση της έντασης της εδαφικής κίνησης για κάθε πιθανό μηχανισμό κατάρρευσης.

Στον υπολογισμό της απόδοσης του κτιρίου, για την κάλυψη των πολλών αβεβαιοτήτων που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς, η μεθοδολογία χρησιμοποιεί προσομοιώσεις Monte Carlo για τον υπολογισμό των απωλειών. Έτσι, η απόδοση του κτιρίου υπολογίζεται με μία επαναληπτική διαδικασία για κάθε μία από πολλές πραγματοποιήσεις της ανάλυσης όπως φαίνεται στην Εικόνα 4. Κάθε πραγματοποίηση αντιπροσωπεύει μία πιθανή έκβαση όσον αφορά τη συμπεριφορά του κτιρίου, λαμβάνοντας υπόψη έναν πιθανό συνδυασμό τιμών κάθε αβέβαιου παράγοντα.

Στις χρονικές αποτιμήσεις υπολογίζεται η απόδοση του κτιρίου για όλες τις πιθανές εντάσεις της εδαφικής κίνησης που ενδέχεται να εμφανιστούν στο μελετούμενο χρονικό διάστημα και λαμβάνονται σταθμισμένα τα αποτελέσματα για κάθε μία ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισής τους. Για αυτό το σκοπό είναι απαραίτητη η καμπύλη σεισμικού κινδύνου της περιοχής που δίνει την ετήσια συχνότητα υπέρβασης εδαφικών κινήσεων με διαφορετικές εντάσεις. Η καμπύλη αυτή χωρίζεται σε διαστήματα και η ετήσια συχνότητα εμφάνισης εδαφικής κίνησης με ένταση που να αντιστοιχεί στο μέσον του εκάστοτε διαστήματος ισούται με τη διαφορά των ετήσιων συχνοτήτων υπέρβασης των εντάσεων στα άκρα του διαστήματος. Για κάθε διάστημα πραγματοποιείται αποτίμηση με βάση την αντίστοιχη ένταση. Τα αποτελέσματα σε όρους απόκρισης, που προκύπτουν, σταθμίζονται με την ετήσια συχνότητα εμφάνισης των εντάσεων του εκάστοτε διαστήματος και προστίθενται.



Εικόνα 4. Διάγραμμα ροής υπολογισμού επιτελεστικότητας κτιρίου για κάθε πραγματοποίηση της ανάλυσης (FEMA P-58-1, 2012)

2.3.4 Προσομοίωμα απόδοσης κτιρίου

Βασικά δεδομένα

Βασικά δεδομένα του προσομοιώματος απόδοσης αποτελούν πληροφορίες όπως ο αριθμός των ορόφων του κτιρίου, το ύψος ορόφου, η επιφάνεια κάθε ορόφου, αλλά και το κόστος συνολικής αντικατάστασης του κτιρίου, το κόστος αντικατάστασης φέροντος οργανισμού και κελύφους, ο χρόνος αντικατάστασης και το όριο συνολικών απωλειών. Τα

κόστη αντικατάστασης χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις κατάρρευσης ή σε περίπτωση βλάβης στο κτίριο, η επισκευή της οποίας ξεπερνάει ένα όριο κόστους. Συνήθως, το δεύτερο συμβαίνει για μεγάλη παραμένουσα ανηγμένη σχετική μετακίνηση ορόφου. Το όριο συνολικών απωλειών ουσιαστικά βάζει ένα φράγμα στην πρόθεση επισκευής του κτιρίου ανάλογα με το κόστος αυτής και σύμφωνα με τη FEMA, αν και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, τίθεται στο 50% του κόστους αντικατάστασης.

Το κόστος αντικατάστασης φέροντος οργανισμού και κελύφους περιλαμβάνει τα δομικά στοιχεία, την εξωτερική πλήρωση, μηχανολογικό, ηλεκτρολογικό και υδραυλικό εξοπλισμό που είναι γενικά παρόντα στο κτίριο εξαιρώντας τις τροποποιήσεις και τα περιεχόμενα των ενοίκων. Το συνολικό κόστος και ο χρόνος αντικατάστασης περιλαμβάνουν και την αντικατάσταση των τροποποιήσεων και των περιεχομένων, αλλά και το κόστος και χρόνο κατεδάφισης του βλαμμένου κτιρίου και εκκαθάρισης του οικοπέδου.

Χρήση κτιρίου και πληθυσμιακά μοντέλα

Για υπολογισμούς σχετικά με τον κίνδυνο απώλειας ανθρώπινων ζώων υιοθετείται ένα πληθυσμιακό μοντέλο ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου. Τα μοντέλα αυτά δίνουν τον αριθμό των ατόμων που ενδέχεται να είναι παρόντα κατά τη διάρκεια της μέρας, της εβδομάδας και του χρόνου. Το FEMA P-58 παρέχει μοντέλα για κτίρια εμπορικών γραφείων, κτιρίων εκπαίδευσης, ιατρικής περίθαλψης, ξενοδοχεία, κτίρια διαμερισμάτων, ερευνητικά εργαστήρια και αποθήκες.

Ομάδες τρωτότητας

Μία ομάδα τρωτότητας αποτελεί σύνολο στοιχείων με τις παρακάτω όμοιες ιδιότητες:

- χαρακτηριστικά κατασκευής συμπεριλαμβανομένων των λεπτομερειών κατασκευής και τεχνικών εγκατάστασης
- πιθανούς τύπους βλάβης
- πιθανότητα εμφάνισης των τύπων βλάβης υπό σεισμική φόρτιση
- πιθανές συνέπειες από την εμφάνιση βλάβης

Παρότι οι ομάδες τρωτότητας μπορούν να περιλαμβάνουν διαφορετικά στοιχεία με τις παραπάνω παρόμοιες ιδιότητες, προσοχή πρέπει να δίνεται ώστε να είναι πράγματι εξίσου ευάλωτα σε βλάβη και στις συνέπειες αυτής. Ακόμη και παρόμοια στοιχεία του ίδιου τύπου με ελαφρώς διαφορετική κατασκευή ή εγκατάσταση ενδέχεται να χρειαστεί να συμπεριληφθούν σε διαφορετικές ομάδες.

Ομάδες συμπεριφοράς

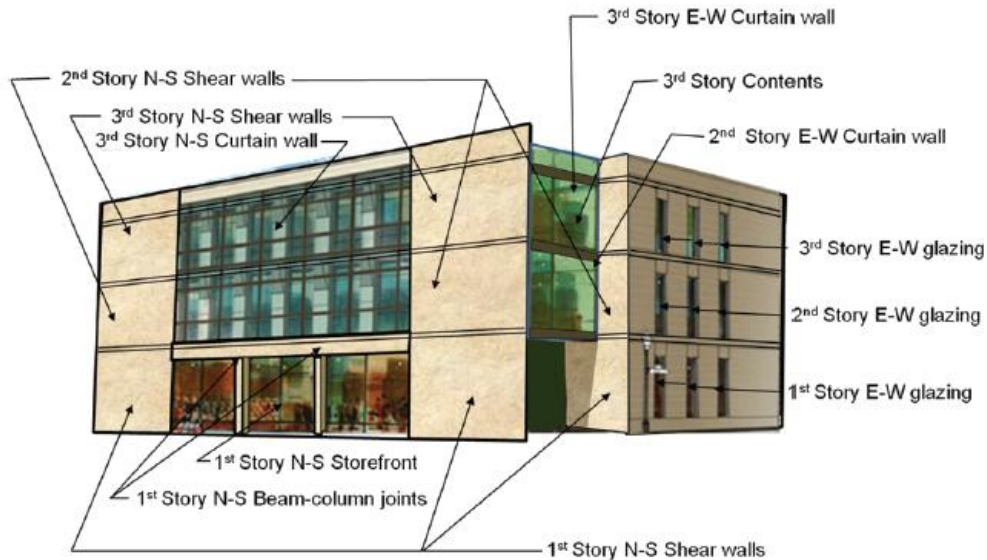
Οι ομάδες συμπεριφοράς είναι μια υποκατηγορία των ομάδων τρωτότητας με στοιχεία που υποβάλλονται στην ίδια σεισμική απαίτηση. Για παράδειγμα, οι διατεταγμένες κατά x τοιχοποιίες ενός ορόφου ορίζονται σε διαφορετική ομάδα συμπεριφοράς από τις όμοιες τους τοιχοποιίες κατά y ή από τις αντίστοιχες του επόμενου ορόφου. Οι περισσότερες ομάδες συμπεριφοράς διαχωρίζονται ανά όροφο και ανά διεύθυνση λόγω διαφορετικής ανηγμένης σχετικής μετακίνησης βάσει των δύο αυτών κριτηρίων. Στοιχεία σε ομάδες τρωτότητας με κρίσιμο μέτρο απόκρισης την επιτάχυνση ορίζονται σε ομάδες συμπεριφοράς ανεξάρτητα από την διεύθυνση. Προσοχή πρέπει να δίνεται στην επιλογή του μέτρου έντασης από το κατάλληλο επίπεδο για κάθε ομάδα. Για παράδειγμα, στοιχεία

που αναρτώνται σε οροφή θα πρέπει να μελετώνται βάσει της επιτάχυνσης του άνω ορόφου. Ωστόσο, οι συνέπειες σε περίπτωση αστοχίας τους θα επηρεάσουν τον όροφο στον οποίο βρίσκονται.

Στάθμες βλάβης και συσχέτιση βλάβης στοιχείων

Ορίζονται διαφορετικές στάθμες βλάβης, όπως περιγράφηκαν παραπάνω, για κάθε ομάδα τρωτότητας. Οι στάθμες βλάβης μπορεί να είναι διαδοχικές, αμοιβαίως αποκλειόμενες ή ταυτόχρονες.

Οι ομάδες συμπεριφοράς μπορεί να οριστούν με συσχετισμένη βλάβη ή μη, δηλαδή με όλα τα στοιχεία να εμφανίζουν την ίδια βλάβη ή για κάθε στοιχείο της ομάδας να υπολογίζεται ξεχωριστά με προσομοίωση η στάθμη βλάβης στην οποία θα βρεθεί. Η συσχέτιση της βλάβης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περιπτώσεις όπου η αστοχία ενός στοιχείου μπορεί να σηματοδοτήσει την αστοχία και τον υπόλοιπων στοιχείων της ομάδας, όπως για παράδειγμα οι διαδοχικοί σύνδεσμοι μίας σειράς πλαισίων ενός ορόφου. Αν η κοινή οριζόντια μετατόπιση τους προκαλέσει λυγισμό σε ένα σύνδεσμο, πιθανότατα η ανακατανομή των δυνάμεων στους γειτονικούς θα προκαλέσει τον λυγισμό και αυτών.



Εικόνα 5. Παράδειγμα ομάδων συμπεριφοράς (FEMA P-58-1, 2012)

Η χρήση συσχετισμένης βλάβης μειώνει σημαντικά το υπολογιστικό κόστος καθώς χρειάζεται να προσδιοριστεί η στάθμη βλάβης μόνο μία φορά για κάθε ομάδα συμπεριφοράς. Ωστόσο, σε περίπτωση ασυσχέτιστων στην πραγματικότητα στοιχείων ως προς τη βλάβη τους, η θεώρηση της, αν και δεν θα μεταβάλλει κατά πολύ τα μέσα αποτελέσματα, μπορεί να αλλοιώσει σημαντικά την διασπορά τους. Ακόμη μεγαλύτερη σημασία έχει μάλιστα, όταν το ενδεχόμενο να χαρακτηριστεί το κτίριο επικίνδυνο και να διακοπεί η χρήση του έχει σημαντικές συνέπειες. Αν τα στοιχεία εισαχθούν συσχετισμένα, μεγαλύτερος αριθμός στοιχείων θα εμφανίσουν ταυτόχρονα βλάβη, με αποτέλεσμα οι πραγματοποιήσεις που θα πληρούν τα κριτήρια χαρακτηρίσης του κτιρίου ως επικίνδυνο να είναι αυξημένες.

Μέτρα απόκρισης

Στη μεθοδολογία του FEMA P-58 οι στάθμες βλάβης κάθε ομάδας τρωτότητας προσδιορίζονται από ένα μόνο μέτρο απόκρισης, αυτό που μπορεί να προβλέψει καλύτερα τις πιθανές βλάβες με την μικρότερη δυνατή αβεβαιότητα. Για τα περισσότερα δομικά και μη δομικά στοιχεία το μέγεθος αυτό είναι η ανηγμένη σχετική μετακίνηση ορόφου, ενώ συχνά χρησιμοποιούνται και η επιτάχυνση και ταχύτητα ορόφου. Εναλλακτικά, όταν κρίνεται σκόπιμο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα μέτρα απόκρισης. Καθώς συνήθως τα στοιχεία των κτιρίων είναι διατεταγμένα σε δύο ορθογωνικές διευθύνσεις, απαιτούνται τιμές τις ανηγμένης σχετικής μετακίνησης και στις δύο, ενώ οι περισσότεροι τύποι αστοχίας των στοιχείων που είναι ευαίσθητα σε επιτάχυνση ή ταχύτητα, είναι ανεξάρτητοι της διεύθυνσης και χρησιμοποιούνται οι συνισταμένες των μέγιστων τιμών. Το FEMA P-58 υπολογίζει τις συνισταμένες μέγιστες επιταχύνσεις και ταχύτητες πολλαπλασιάζοντας με ένα συντελεστή ίσο με 1.2 τις μέγιστες τιμές που προκύπτουν από τις αναλύσεις.

Συναρτήσεις τρωτότητας

Θεωρούνται λογαριθμοκανονικές συναρτήσεις τρωτότητας όπως περιγράφηκαν παραπάνω για κάθε ομάδα τρωτότητας. Σε κάθε πραγματοποίηση που δεν επέρχεται κατάρρευση, οι συναρτήσεις αυτές χρησιμοποιούνται μαζί με τις τιμές των μέτρων απόκρισης για τον προσδιορισμό της στάθμης βλάβης κάθε στοιχείου.

Το FEMA P-58 παρέχει ένα σύνολο συναρτήσεων τρωτότητας για διάφορα στοιχεία, ενώ παρέχεται και η διαδικασία προσδιορισμού διάφορων παραμέτρων για διάφορα στοιχεία που απαιτούν πιο εξειδικευμένους σε επίπεδο συγκεκριμένου κτιρίου υπολογισμούς.

Συναρτήσεις κόστους

Οι συναρτήσεις κόστους, όπως περιγράφηκαν και παραπάνω, συνδέουν τη βλάβη και τις πιθανές συνέπειες της, είτε αυτές έχουν τη μορφή οικονομικού κόστους επισκευής ή αντικατάστασης, είτε χρόνου επισκευής, επιβολής διακοπής χρήσης του κτιρίου ή απώλειας ανθρώπινων ζωών.

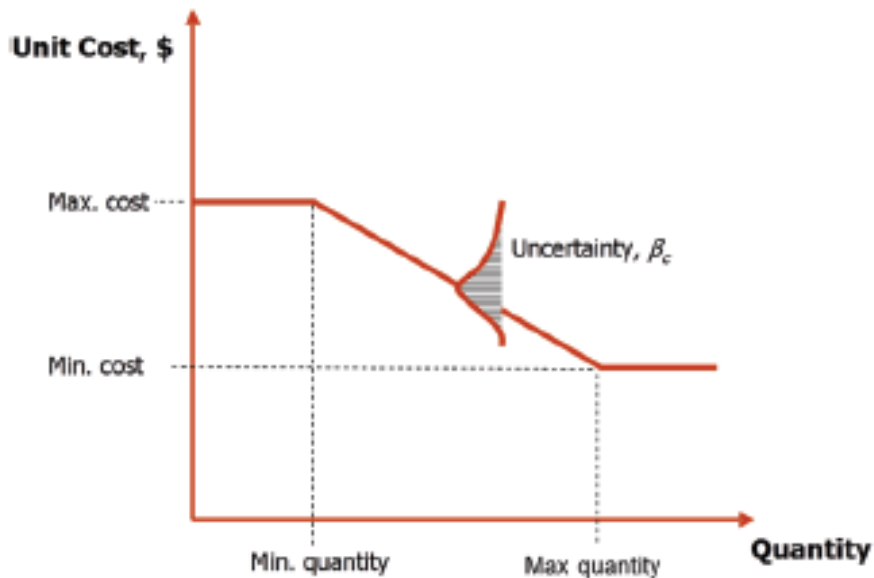
Το κόστος επισκευής αναφέρεται αποκλειστικά στις ενέργειες για την επισκευή ή αντικατάσταση του εκάστοτε στοιχείου ως έχει και όχι στον επανασχεδιασμό του για να πληρεί διαφορετικά, ενδεχομένως πιο σύγχρονα, κριτήρια. Οι συναρτήσεις κόστους επισκευής που χρησιμοποιούνται από το FEMA P-58 προέκυψαν από οικονομικά δεδομένα για συγκεκριμένη περιοχή των Η.Π.Α. (Βόρεια Καλιφόρνια) και για συγκεκριμένο έτος αναφοράς (2011) και αγνοούν αβεβαιότητες που οφείλονται σε στρατηγικές τιμολόγησης από την πλευρά του εργολάβου ή σε κλιμάκωση του κόστους κατασκευής. Στον προσδιορισμό των συναρτήσεων λαμβάνονται υπόψη φαινόμενα οικονομίας κλίμακας και αποδοτικότητας, που οδηγούν σε μειωμένο κόστος ανά μονάδα στην περίπτωση που απαιτείται μεγάλος αριθμός επανάληψης της ίδιας εργασίας.

Μια τυπική συνάρτηση κόστους επισκευής δίνεται στην Εικόνα 6. Σε κάθε σημείο της συνάρτησης ορίζεται μια κανονική ή λογαριθμοκανονική κατανομή του πιθανού κόστους κατασκευής. Για κάθε στάθμη βλάβης, ορίζεται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Ελάχιστη ποσότητα: Ποσότητα συγκεκριμένων ενεργειών επισκευής κάτω από την οποία δεν προκύπτουν εκπτώσεις λόγω οικονομίας κλίμακας, ούτε μπορεί να θεωρηθεί αύξηση της αποδοτικότητας.

- Μέγιστο κόστος: Το μοναδιαίο κόστος για την πραγματοποίηση μίας ενέργειας επισκευής χωρίς κανενός είδους απομείωση.
- Μέγιστη ποσότητα: Ποσότητα συγκεκριμένων ενεργειών επισκευής πάνω από την οποία δεν προκύπτουν περαιτέρω εκπτώσεις λόγω οικονομίας κλίμακας, ούτε μπορεί να θεωρηθεί ακόμη μεγαλύτερη αύξηση της αποδοτικότητας.
- Ελάχιστο κόστος: Το μοναδιαίο κόστος για την πραγματοποίηση μίας ενέργειας επισκευής λαμβάνοντας υπόψη κάθε είδους δυνατή απομείωση.
- Διασπορά: Αβεβαιότητα στις τιμές του μοναδιαίου κόστους

Επιπλέον παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, αποτελούν, για παράδειγμα, το αυξημένο κόστος επισκευής σε περίπτωση δυσκολίας πρόσβασης στη βλαμμένη περιοχή ή το αυξημένο κόστος για πιθανά αναγκαία μέτρα προστασίας ή λόγω παρουσίας επικίνδυνων υλικών. Η μεθοδολογία του FEMA P-58 καλύπτει αυτές τις περιπτώσεις με τη χρήση μακροσκοπικών συντελεστών ανά όροφο για τη ρύθμιση του κόστους επισκευής υπό τις συνέπειες τους. Με παρόμοιους συντελεστές είναι δυνατό να τροποποιηθούν τα κόστη επισκευής λόγω πληθωρισμού ή λόγω διαφορετικής τοποθεσίας σε σχέση με την περιοχή και το χρόνο αναφοράς, δηλαδή την περιοχή και τον χρόνο από όπου λήφθηκαν τα δεδομένα για τον σχηματισμό των συναρτήσεων κόστους.



Εικόνα 6. Τυπική συνάρτηση κόστους επισκευής ανά στοιχείο δεδομένου του αριθμού στοιχείων - επίδραση οικονομίας κλίμακας (FEMA P-58-1, 2012)

3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1 Γενικά

Για τη διαμόρφωση των σχέσεων μέτρων απόκρισης - κόστους ανά ορόφο θεωρήθηκε μια αντιπροσωπευτική για κάθε κατηγορία κτιρίου κατανομή των δομικών και μη δομικών στοιχείων και περιεχομένων τους. Τα δομικά στοιχεία λήφθησαν κατ'εκτίμηση για τυπικές μορφές κτιρίων με εμπειρικές εκτιμήσεις και συγκρίθηκαν με στοιχεία του NIST GCR 10-917-8. Όσον αφορά τα περιεχόμενα και τα μη δομικά στοιχεία, έγινε δειγματοληψία λαμβάνοντας στοιχεία από κτίρια γραφείων του ΕΜΠ. Συγκεκριμένα, απογράφηκαν τα περιεχόμενα τεσσάρων κτιρίων γραφείων του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και συγκεκριμένα, του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών, του Εργαστηρίου Στατικής και Αντισεισμικών Ερευνών, του Τομέα Γεωτεχνικής και της γραμματείας του τμήματος. Τα οικονομικά δεδομένα σχετικά την επισκευή ή αντικατάσταση των δομικών και μη-δομικών στοιχείων λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων του FEMA P-58 και θεωρήθηκε πως δεν διαφέρουν ιδιαίτερα από τα αντίστοιχα ελληνικά, ενώ για τα περιεχόμενα έγινε αναζήτηση στην ελληνική αγορά.

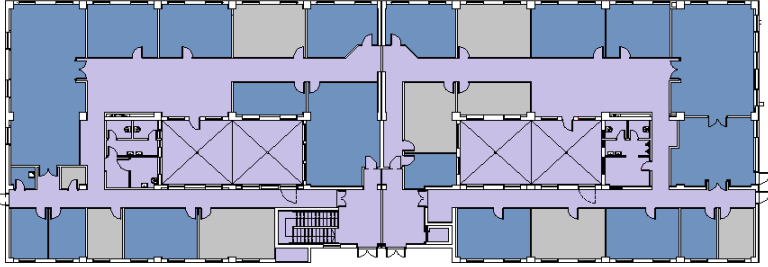
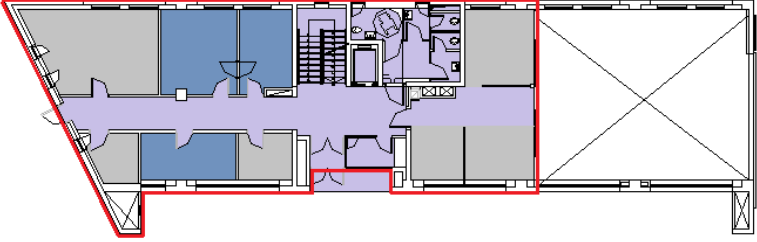
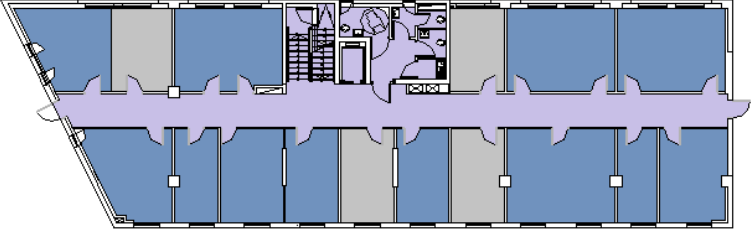
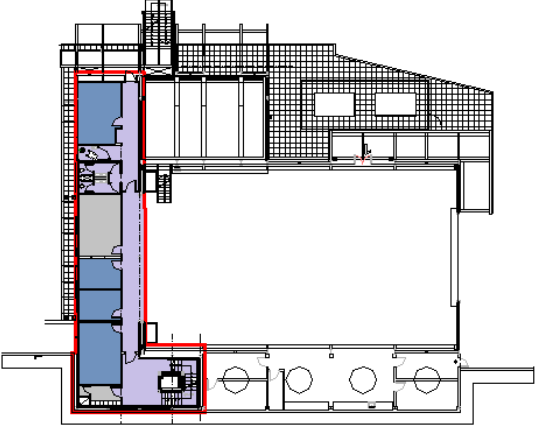
Όλα τα στοιχεία ορίστηκαν σε ομάδες τρωτότητας με στοιχεία που λήφθηκαν από τις οδηγίες του FEMA P-58. Κάθε ομάδα προσδιορίζεται από έναν κωδικό αριθμό ταυτοποίησης βάσει του NISTIR 6389 Report, UNIFORMAT II *Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating and Cost Analysis* (NIST, 1999).

3.2 Διαδικασία δειγματοληψίας και παραδοχές

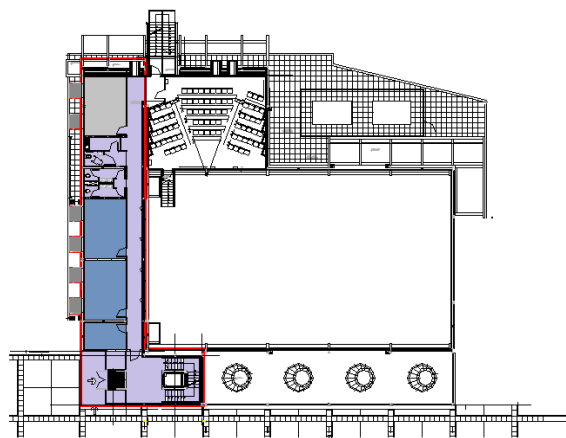
Όπως προαναφέρθηκε, έγινε δειγματοληψία από τέσσερα κτίρια γραφείων του ΕΜΠ. Στη συνέχεια, έγινε αναγωγή των στοιχείων κάθε κτιρίου σε 100 m^2 και χρησιμοποιώντας σαν δείγματα τα ανηγμένα σε 100 m^2 στοιχεία που προέκυψαν από κάθε κτίριο, υπολογίστηκε η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση τους.

Τα περιεχόμενα που απογράφηκαν αντιστοιχίστηκαν κατά το δυνατόν με τα στοιχεία της βάσης δεδομένων του FEMA P-58. Χώροι και γραφεία τα οποία βρέθηκαν κλειστά ή στα οποία γενικά δεν ήταν δυνατή η πρόσβαση κατά τη δειγματοληψία, θεωρήθηκαν παρόμοια με τα γειτονικά τους. Εργαστηριακοί χώροι και ανάλογος εξοπλισμός, καθώς και χώροι εκπαίδευσης (π.χ. αμφιθέατρα, PC labs, κλπ) αγνοήθηκαν και περιλήφθηκαν μόνο τα τμήματα των κτιρίων που στεγάζουν γραφεία. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα τμήματα των κτιρίων που απογράφηκαν.

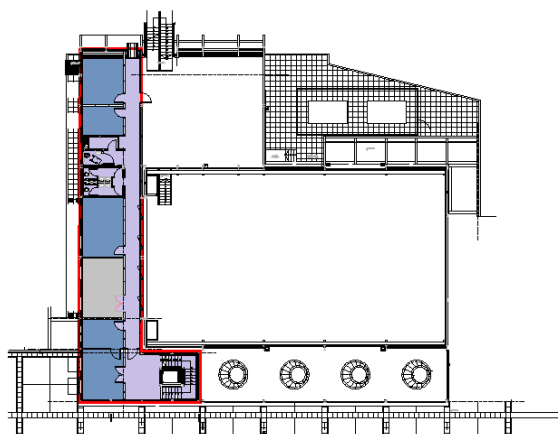
Πίνακας 1. Χώροι απογραφής περιεχομένων

	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="display: flex; gap: 10px;"> <div style="width: 20px; height: 15px; background-color: #4a7ebb; border: 1px solid black;"></div> Γραφεία και κοινόχρηστοι χώροι που απογράφηκαν </div> <div style="display: flex; gap: 10px;"> <div style="width: 20px; height: 15px; background-color: #a6a6a6; border: 1px solid black;"></div> Γραφεία που δεν απογράφηκαν </div> <div style="display: flex; gap: 10px;"> <div style="width: 20px; border-bottom: 2px solid red;"></div> Τμήμα κτιρίου που λήφθηκε υπόψη </div> </div>
<p>Τομέας Γεωτεχνικής 18/26 Γραφεία</p>	
<p>Ισόγειο Εργαστηρίου Στατικής και Αντισεισμικών Ερευνών (Αγνοήθηκε το PC Lab του εργαστηρίου) 3/9 Γραφεία</p>	
<p>Οροφος Εργαστηρίου Στατικής και Αντισεισμικών Ερευνών 12/16 Γραφεία</p>	
<p>Υπόγειο Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών (Αγνοήθηκε το εργαστήριο και το PC Lab) 4/5 Γραφεία</p>	

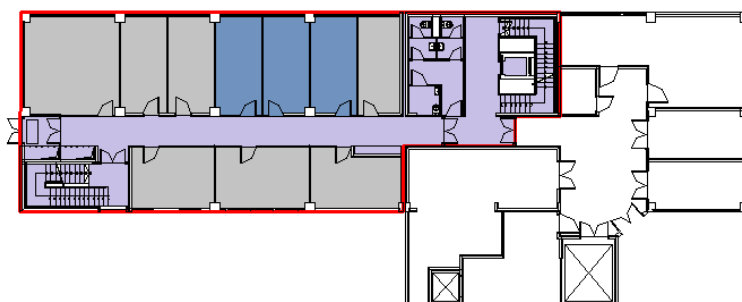
Ισόγειο Εργαστηρίου
Μεταλλικών Κατασκευών
(Αγνοήθηκε το αμφιθέατρο και
το εργαστήριο)
3/4 Γραφεία



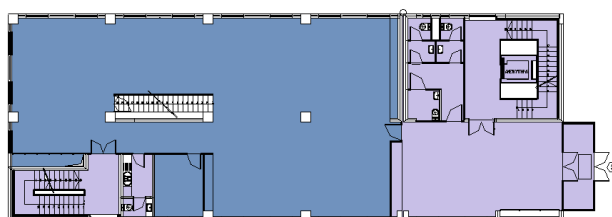
Όροφος Εργαστηρίου
Μεταλλικών Κατασκευών
(Αγνοήθηκε το εργαστήριο)
4/5 Γραφεία



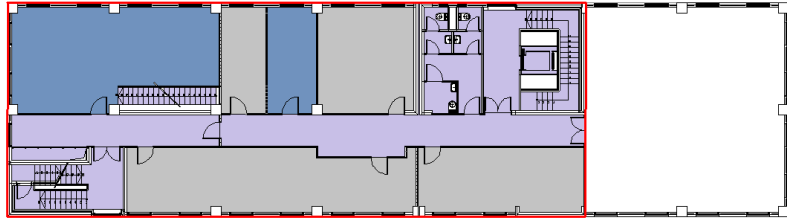
Υπόγειο Γραμματείας
(Αγνοήθηκαν οι χώροι Η/Μ
εξοπλισμού)
3/11 Γραφεία



Ισόγειο Γραμματείας
Όλα τα γραφεία



Όροφος Γραμματείας
(Αγνοήθηκε το PC Lab)
3/7 Γραφεία



3.3 Δομικά Στοιχεία

Επιλέχθηκε να μελετηθούν τρεις κατηγορίες μεταλλικών κτιρίων:

- Κτίρια με Χιαστί Εγκάρσιους Συνδέσμους (Concentric X-Braced Frames)
- Κτίρια με Εγκάρσιους Συνδέσμους Λ (Chevron Braced Frames)
- Κτίρια με Πλαίσια Ροπής (Moment Resistant Frames)

3.3.1 Κτίρια με Χιαστί Εγκάρσιους Συνδέσμους

Για να υπολογιστούν κάποιες αντιπροσωπευτικές τιμές για τον αριθμό των δομικών στοιχείων, θεωρήθηκαν τετραώροφα κτίρια με 2 έως 8 φατνώματα σε κάθε πλευρά, ίσου μήκους 7m, που θεωρείται μια τυπική τιμή για μεταλλικά κτίρια. Έγινε η παραδοχή ότι τοποθετείται ένας χιαστί σύνδεσμος για κάθε τέσσερα φατνώματα και υπολογίστηκε ο συνολικός αριθμός συνδέσμων, όπως και υποστυλωμάτων και συνδέσεων δοκών-υποστυλωμάτων για κάθε συνδυασμό αριθμού ζυγωμάτων κατά x και y (Πίνακας 2).

Για παράδειγμα, ένα κτίριο με 5 ζυγώματα κατά x και 3 κατά y, δηλαδή εμβαδού $A = (5 \cdot 7) \cdot (3 \cdot 7) = 735 \text{ m}^2$, θεωρήθηκε ότι θα έχει 2 συνδέσμους σε κάθε πλευρά κατά x και 1 σύνδεσμο σε κάθε πλευρά κατά y. Οι συνδέσεις αποκατάστασης συνέχειας υποστυλωμάτων συνήθως τοποθετούνται ανά 2 - 4 ορόφους και το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά τους είναι η ανηγμένη σχετική μετακίνηση ορόφου. Προς απλοποίηση, κρίθηκε ότι μπορούν να καταναμηθούν ανά όροφο χωρίς μεγάλο σφάλμα και θεωρώντας κτίρια μέσου ύψους, δηλαδή 3-6 ορόφων, υπολογίστηκαν ως ο αριθμός των υποστυλωμάτων ανά 4 ορόφους. Ακόμη, στο μοντέλο συμπεριλήφθηκαν και οι πλάκες έδρασης των υποστυλωμάτων στο ισόγειο.

Παρατηρώντας τις υπολογισθείσες ποσότητες, φαίνεται πως τόσο οι συνδέσεις των δοκών όσο και οι πλάκες έδρασης δεν διαφέρουν ιδιαίτερα για κτίρια διαφορετικής επιφάνειας ορόφου. Ωστόσο, υπάρχει ουσιαστική διαφορά στον αριθμό των χιαστί συνδέσμων. Προς αυτό το σκοπό, τα κτίρια ομαδοποιήθηκαν ως προς το εμβαδόν, και κρίθηκε σκόπιμο να θεωρηθούν διαφορετικές κατανομές δομικών στοιχείων για κτίρια διαφορετικού μεγέθους. Ορίστηκαν 3 κατηγορίες επιφάνειας:

- $A < 750 \text{ m}^2$
- $750 \text{ m}^2 < A < 1500 \text{ m}^2$
- $A > 1500 \text{ m}^2$

Τα στοιχεία αυτά σχετικά με τα δομικά στοιχεία, συγκρίθηκαν και με αυτά των τυπικών κτιρίων του NIST GCR 10-917-8 του NEHRP. Το NIST GCR 10-917-8 θεωρεί μία τυπική κάτοψη μεταλλικού κτιρίου με χιαστί συνδέσμους επιφάνειας περίπου 2000 m^2 .

Πίνακας 2. Κατανομές δομικών στοιχείων για κτίρια με χιαστί συνδέσμους

Κτίριο	Φαγνώματα κατά x	Φαγνώματα κατά y	A (m ²)	Σύνολο συνδέσμων δυσκαμψίας	Αριθμός υποστολωμάτων	Αριθμός συνδέσεων δοκών	Συνδέσεις συνεχείας υποστολωμάτων ανά όροφο	Χιαστί συνδέσμοι ανά 100m ²	Υποστολώματα ανά 100m ²	Συνδέσεις δοκών ανά 100m ²	Συνδέσεις συνεχείας υποστολωμάτων 100m ²
1	2	3	294	4	12	34	3	1.36	4.08	11.56	1.02
2	2	4	392	4	15	44	3.75	1.02	3.83	11.22	0.96
3	3	3	441	4	16	48	4	0.91	3.63	10.88	0.91
4	2	5	490	6	18	54	4.5	1.22	3.67	11.02	0.92
5	2	6	588	6	21	64	5.25	1.02	3.57	10.88	0.89
6	3	4	588	4	20	62	5	0.68	3.40	10.54	0.85
7	3	5	735	6	24	76	6	0.82	3.27	10.34	0.82
	Μέσος όρος							1.00	3.64	10.92	0.91
	Τυπική απόκλιση							0.23	0.27	0.41	0.07
8	4	4	784	4	25	80	6.25	0.51	3.19	10.20	0.80
9	3	6	882	6	28	90	7	0.68	3.17	10.20	0.79
10	4	5	980	6	30	98	7.5	0.61	3.06	10.00	0.77
11	3	7	1029	6	32	104	8	0.58	3.11	10.11	0.78
12	3	8	1176	6	36	118	9	0.51	3.06	10.03	0.77
13	4	6	1176	6	35	116	8.75	0.51	2.98	9.86	0.74
14	5	5	1225	8	36	120	9	0.65	2.94	9.80	0.73
15	4	7	1372	6	40	134	10	0.44	2.92	9.77	0.73
16	5	6	1470	8	42	142	10.5	0.54	2.86	9.66	0.71
	Μέσος όρος							0.56	3.03	9.96	0.76
	Τυπική απόκλιση							0.08	0.12	0.20	0.03
17	4	8	1568	6	45	152	11.25	0.38	2.87	9.69	0.72
18	5	7	1715	8	48	164	12	0.47	2.80	9.56	0.70
19	6	6	1764	8	49	168	12.25	0.45	2.78	9.52	0.69
20	5	8	1960	8	54	186	13.5	0.41	2.76	9.49	0.69
21	6	7	2058	8	56	194	14	0.39	2.72	9.43	0.68
22	6	8	2352	8	63	220	15.75	0.34	2.68	9.35	0.67
23	7	7	2401	8	64	224	16	0.33	2.67	9.33	0.67
24	7	8	2744	8	72	254	18	0.29	2.62	9.26	0.66
25	8	8	3136	8	81	288	20.25	0.26	2.58	9.18	0.65
	Μέσος όρος							0.37	2.72	9.42	0.68
	Τυπική απόκλιση							0.07	0.09	0.16	0.02

Για τριώροφα και εξάωροφα κτίρια προτείνει τη χρήση ενός χιαστί συνδέσμου σε κάθε εξωτερικό πλαίσιο. Αναλύοντας τα δομικά στοιχεία των κτιρίων αυτών ανά 100 m², προκύπτουν οι τιμές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3. Σύγκριση κατανομής δομικών στοιχείων κτιρίου με χιαστί εγκάρσιους συνδέσμους με τυπικό κτίριο NIST GCR 10-917-8

	Χιαστί σύνδεσμοι ανά 100m ²	Υποστυλώματα ανά 100m ²	Συνδέσεις δοκών ανά 100m ²
NIST GCR 10-917-8	0.20	1.74	5.78
Πίνακας 3. A>1500 m ²	0.37	2.72	9.42

Η διαφορά στα υποστυλώματα και τις δοκούς έγκειται στα μεγαλύτερα ανοίγματα (9m) που θεωρεί το NIST GCR 10-917-8, ενώ γενικά χρησιμοποιεί και λιγότερους εγκάρσιους συνδέσμους δυσκαμψίας.

Οι χιαστί σύνδεσμοι ορίστηκαν στην ομάδα τρωτότητας "Special Concentric Braced Frame w HSS braces, balanced design criteria, X Brace, Brace w < 40 PLF (B1033.013a)" θεωρώντας ότι οι διατομές των συνδέσμων που τοποθετούνται έχουν βάρος μικρότερο των 40 PLF (pounds per linear foot). Γίνεται δηλαδή η υπόθεση ότι στα κτίρια μέσου ύψους που μελετούνται, οι διατομές των χιαστί συνδέσμων είναι μικρότερες από HEA240, RHS 260x140x10 ή CHS 273.1x9.3 για παράδειγμα. Οι χιαστί σύνδεσμοι συνηθίζεται πολλές φορές να εκτείνονται σε δύο ορόφους προκειμένου η γωνία τους να διατηρείται μεταξύ 30° - 45°. Στην παρούσα εργασία, θεωρήθηκαν ανεξάρτητα συστήματα χιαστί συνδέσμων σε κάθε όροφο.

Οι συνδέσεις δοκών υποστυλωμάτων θεωρήθηκαν κοχλιωτές και ορίστηκαν στην ομάδα τρωτότητας "Bolted shear tab gravity connections (B1031.001)". Οι συνδέσεις αποκατάστασης συνέχειας των υποστυλωμάτων θεωρήθηκαν συγκολλητές, καθώς η βάση δεδομένων του FEMA P-58 δεν παρέχει πληροφορίες για κοχλιωτές συνδέσεις και ορίστηκαν στην ομάδα τρωτότητας "Welded column splices, Column W < 150 plf (B1031.021a)". Θεωρήθηκαν, έτσι, διατομές υποστυλωμάτων με βάρος μικρότερο των 150 plf, δηλαδή διατομές μικρότερες από HEB600 για παράδειγμα. Αντίστοιχα, οι πλάκες έδρασης των υποστυλωμάτων ορίστηκαν στην ομάδα τρωτότητας "Steel Column Base Plates, Column W < 150 plf (B1031.011a)".

Πίνακας 4. Σύγκριση θεωρούμενων διατομών δομικών στοιχείων με το τυπικό κτίριο του NIST GCR10-917-8

	Όροφοι με χιαστί συνδέσμους W < 40PLF	Όροφοι με χιαστί συνδέσμους W > 40PLF	Όροφοι με υποστυλώματα W < 150PLF	Όροφοι με υποστυλώματα W > 150PLF
3ώροφο με Dmax	1	2	3	0
3ώροφο με Dmin	3	0	3	0
6ώροφο με Dmax	2	4	2	4
6ώροφο με Dmin	6	0	4	2

Τα κτίρια του NIST GCR 10-917-8 λαμβάνονται στη σεισμική ζώνη D και διαστασιολογούνται με την μέγιστη και την ελάχιστη επιτάχυνση, Dmax και Dmin αντίστοιχα, που αντιστοιχούν σε αυτή. Στον Πίνακα 4, συγκρίνονται οι διατομές τους με τις διατομές των δομικών στοιχείων που θεωρήθηκαν. Παρατηρείται πως οι διατομές του

NIST GCR 10-917-8 είναι μεγαλύτερες από τις θεωρούμενες., ειδικά για την περίπτωση D_{max} , όπου η προκύπτουσα όμως επιτάχυνση είναι αρκετά μεγαλύτερη από τις επιταχύνσεις σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα.

3.3.2 Κτίρια με Εγκάρσιους Συνδέσμους Λ

Για τα κτίρια με εγκάρσιους συνδέσμους Λ γίνονται οι ίδιες παραδοχές που έγιναν και για τα κτίρια με χιαστί εγκάρσιους συνδέσμους. Οι διατομές των συνδέσμων Λ ενδεχομένως να προκύπτουν λίγο μεγαλύτερες, ωστόσο και πάλι θεωρείται ότι εμπίπτουν στις ίδιες κατηγορίες με προηγουμένως.

3.3.3 Κτίρια με Πλαίσια Ροπής

Για τα κτίρια με πλαίσια ροπής (MRF) ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με πριν. Αυτή τη φορά, έγινε η παραδοχή ότι τοποθετούνται πλαίσια ροπής στην περίμετρο του κτιρίου, εκτός των ακραίων φατνωμάτων για την αποφυγή διαξονικής κάμψης στα γωνιακά υποστυλώματα. Ωστόσο, πλαίσια με λιγότερα από 4 φατνώματα θεωρήθηκε ότι σχεδιάζονται ολόκληρα σαν πλαίσια ροπής. Έτσι, υπολογίστηκε και πάλι ο συνολικός αριθμός συνδέσμων, όπως και υποστυλωμάτων και συνδέσεων δοκών-υποστυλωμάτων για κάθε συνδυασμό αριθμού ζυγωμάτων κατά x και y (Πίνακας 5).

Η τρωτότητα των πλαισίων ροπής καθορίζεται από τις συνδέσεις της δοκού με τα υποστυλώματα, οι οποίες θεωρήθηκαν τύπου RBS. Έτσι, κάθε πλαίσιο ροπής ορίστηκε στην ομάδα τρωτότητας "Post-Northridge RBS connection with welded web, beams both sides of column, beam depth \leq W27 (B1035.011)", θεωρώντας συνδέσεις ροπής και στα δύο άκρα της δοκού, καθώς και ότι το ύψος των δοκών που τοποθετούνται είναι μικρότερο των 27 in, δηλαδή διατομές μικρότερες της HEA700 για παράδειγμα.

Πίνακας 5. Κατανομές δομικών στοιχείων για κτίρια με πλαίσια ροπής

Κτίριο	Φατνώματα κατά x	Φατνώματα κατά y	A (m ²)	Αριθμός πλασιών ροπής	Αριθμός υποστολωμάτων	Αριθμός συνδέσεων τείνουσας δοκών	Συνδέσεις συνέχειας υποστολωμάτων ανά όροφο	Πλαίσια ροπής ανά 100m ²	Υποστολώματα ανά 100m ²	Συνδέσεις τείνουσας δοκών ανά 100m ²	Συνδέσεις συνέχειας υποστολωμάτων ανά 100m ²
1	2	3	294	5	12	24	3	1.70	4.08	8.16	1.02
2	2	4	392	6	15	32	3.75	1.53	3.83	8.16	0.96
3	3	3	441	6	16	36	4	1.36	3.63	8.16	0.91
4	2	5	490	5	18	44	4.5	1.02	3.67	8.98	0.92
5	2	6	588	6	21	52	5.25	1.02	3.57	8.84	0.89
6	3	4	588	7	20	48	5	1.19	3.40	8.16	0.85
7	3	5	735	6	24	64	6	0.82	3.27	8.71	0.82
							Μέσος όρος	1.23	3.64	8.45	0.91
							Τυπική απόκλιση	0.31	0.27	0.37	0.07
8	4	4	784	8	25	64	6.25	1.02	3.19	8.16	0.80
9	3	6	882	7	28	76	7	0.79	3.17	8.62	0.79
10	4	5	980	7	30	84	7.5	0.71	3.06	8.57	0.77
11	3	7	1029	8	32	88	8	0.78	3.11	8.55	0.78
12	3	8	1176	9	36	100	9	0.77	3.06	8.50	0.77
13	4	6	1176	8	35	100	8.75	0.68	2.98	8.50	0.74
14	5	5	1225	6	36	108	9	0.49	2.94	8.82	0.73
15	4	7	1372	9	40	116	10	0.66	2.92	8.45	0.73
16	5	6	1470	7	42	128	10.5	0.48	2.86	8.71	0.71
							Μέσος όρος	0.71	3.03	8.54	0.76
							Τυπική απόκλιση	0.17	0.12	0.18	0.03
17	4	8	1568	10	45	132	11.25	0.64	2.87	8.42	0.72
18	5	7	1715	8	48	148	12	0.47	2.80	8.63	0.70
19	6	6	1764	8	49	152	12.25	0.45	2.78	8.62	0.69
20	5	8	1960	9	54	168	13.5	0.46	2.76	8.57	0.69
21	6	7	2058	9	56	176	14	0.44	2.72	8.55	0.68
22	6	8	2352	10	63	200	15.75	0.43	2.68	8.50	0.67
23	7	7	2401	10	64	204	16	0.42	2.67	8.50	0.67
24	7	8	2744	11	72	232	18	0.40	2.62	8.45	0.66
25	8	8	3136	12	81	264	20.25	0.38	2.58	8.42	0.65
							Μέσος όρος	0.45	2.72	8.52	0.68
							Τυπική απόκλιση	0.07	0.09	0.08	0.02

3.3.4 Σύνοψη Δομικών Στοιχείων

Συνοπτικά, επιλέχθηκε να γίνει κατηγοριοποίηση ανά σύστημα ανάληψης οριζόντιων φορτίων (X, Λ, MRF) και ανάλογα με την επιφάνεια ορόφου. Επίσης, διαχωρισμός γίνεται και στο ισόγειο, όπου θα υπάρχουν επιπλέον και οι βάσεις έδρασης των υποστυλωμάτων. Οι κατανομές των δομικών στοιχείων που τελικά θεωρήθηκαν για κάθε κατηγορία κτιρίου δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6. Κατανομές δομικών στοιχείων ανά 100 m²

		A < 750 m ²		750 m ² < A < 1500 m ²		A > 1500 m ²	
		Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση
Κτίρια με Εγκάρσιους Χιαστί Συνδέσμους							
B1033.013a	Special Concentric Braced Frame w HSS braces, balanced design criteria, X Brace, Brace w < 40 PLF	1.00	0.23	0.56	0.08	0.37	0.07
B1031.001	Bolted shear tab gravity connections	10.92	0.41	9.96	0.20	9.42	0.16
B1031.021a	Welded column splices, Column W < 150 plf	0.91	0.07	0.76	0.03	0.68	0.02
Κτίρια με Εγκάρσιους Συνδέσμους Λ							
B1033.011a	Special Concentric Braced Frame w HSS braces, balanced design criteria, Chevron Brace, Brace w < 40 PLF	1.00	0.23	0.56	0.08	0.37	0.07
B1031.001	Bolted shear tab gravity connections	10.92	0.41	9.96	0.20	9.42	0.16
B1031.021a	Welded column splices, Column W < 150 plf	0.91	0.07	0.76	0.03	0.68	0.02
Κτίρια με Πλαίσια Ροπής							
B1035.011	Post-Northridge RBS connection with welded web, beams both sides of column, beam depth <= W27	1.23	0.31	0.71	0.17	0.45	0.07
B1031.001	Bolted shear tab gravity connections	8.45	0.31	8.54	0.18	8.52	0.08
B1031.021a	Welded column splices, Column W < 150 plf	0.91	0.07	0.76	0.03	0.68	0.02
Πλάκες Έδρασης Υποστυλωμάτων Ισογείου		Μέσος όρος			Τυπική Απόκλιση		
B1031.011a	Steel Column Base Plates, Column W < 150 plf	3.09			0.41		

3.4 Μη Δομικά Στοιχεία

3.4.1 Πληροφορίες και ποσότητες μη-δομικών στοιχείων

Τα μη δομικά στοιχεία που συμπεριλήφθηκαν περιλαμβάνουν τα εσωτερικά και εξωτερικά χωρίσματα, τις ψευδοροφές, τα κλιμακοστάσια καθώς και τον Η/Μ εξοπλισμό. Τα στοιχεία αυτά αντιστοιχίστηκαν με στοιχεία της βάσης δεδομένων του FEMA P-58. Στοιχεία σχετικά με την κατανομή τους λήφθηκαν από τα κτίρια του ΕΜΠ, από την εμπειρία μηχανικών του κλάδου και τις χαρακτηριστικές τιμές του FEMA P-58. Συγκεκριμένα, το τελευταίο παρέχει ένα δείγμα τυπικών στοιχείων για διάφορα είδη κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων των κτιρίων γραφείων, που προέκυψε έπειτα από δειγματοληψία σε περισσότερα από 3000 κτίρια. Ακόμη και στις περιπτώσεις που τα δεδομένα δεν λήφθηκαν από αυτό, κρίθηκε σκόπιμη η σύγκριση των προτεινόμενων τιμών με τις θεωρούμενες.

Τα μη δομικά στοιχεία επιλέχτηκε να διαχωριστούν σε αυτά του τυπικού ορόφου και στον Η/Μ εξοπλισμού υπογείου/ισογείου και οροφής. Κατόπιν, θεωρήθηκαν διαφορετικά δεδομένα Η/Μ ανάλογα με τη συνολική επιφάνεια του κτιρίου και συγκεκριμένα ορίστηκαν τρεις περιπτώσεις:

- $A < 2000 \text{ m}^2$ (θεωρώντας μέσο κτίριο 1500 m^2)
- $2000 \text{ m}^2 < A < 5000 \text{ m}^2$ (θεωρώντας μέσο κτίριο 3000 m^2)
- $A > 5000 \text{ m}^2$ (θεωρώντας μέσο κτίριο 6000 m^2)

Στην πρώτη κατηγορία οι μέσες τιμές βασίστηκαν σε χαρακτηριστικό κτίριο 1500 m^2 , στη δεύτερη σε κτίριο 3000 m^2 και στην τρίτη σε 6000 m^2 . Στη συνέχεια, δίνονται πληροφορίες για όλα τα μη δομικά στοιχεία που θεωρήθηκαν.

Χωρίσματα

Θεωρήθηκαν γυψοσανίδες με παγίωση πάνω και κάτω. Το μήκος των εσωτερικών χωρισμάτων ανά όροφο μετρήθηκε από τα αρχιτεκτονικά σχέδια των κτιρίων και στη συνέχεια έγινε αναγωγή στα 100 m^2 . Το μήκος των εξωτερικών χωρισμάτων θεωρήθηκε ίσο με την περίμετρο του κάθε ορόφου που εξετάστηκε, δεδομένου της ούτως ή άλλως απλοποιητικής προσέγγισης, αλλά και του γεγονότος ότι σε αντίθεση με τα κτίρια από σκυρόδεμα του ΕΜΠ με τοιχοκολώνες και τοιχία στην περίμετρο, τα ενδεχόμενα μεταλλικά υποστυλώματα θα είχαν αρκετά μικρότερο πλάτος.

Εξωτερικά και εσωτερικά χωρίσματα ορίστηκαν στις ομάδες τρωτότητας "Exterior Wall - Cold formed steel walls with flat strap X-bracing, interior - gypsum board (B2011.011a)", "Wall Partition, Type: Gypsum with metal studs, Full Height, Fixed Below, Fixed Above (C1011.001a)", αντίστοιχα. Για τα πρώτα η ανηγμένη σχετική μετακίνηση ορόφου, που δίνεται από το FEMA P-58, κρίθηκε υπερβολικά μεγάλη και έγινε η κατάλληλη μετατροπή θεωρώντας ότι εκ παραδρομής δόθηκε ως % ποσοστό. Τα χωρίσματα καταμετρώνται ανά 100 sf τα εξωτερικά και ανά 100 ft τα εσωτερικά, ενώ το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά της ομάδας είναι η ανηγμένη σχετική μετακίνηση ορόφου στη διεύθυνση των χωρισμάτων.

Πίνακας 7. Στοιχεία απογραφής χωρισμάτων ανά 100 m²

Fragility Name		Exterior Wall - Cold formed steel walls with flat strap X-bracing, interior - gypsum board	Wall Partition, Type: Gypsum with metal studs, Full Height, Fixed Below, Fixed Above
Fragility Number		B2011.011a	C1011.001a
Actual Unit		SF	LF
Assumed Quantity per component within PACT		100 SF	100 LF
NTUA Survey	Mean Quantity	852.43	100.09
	Mean PACT Quantity	8.52	1.00
	PACT Quantity CV	0.38	0.18
FEMA P-58 Normative Quantities	Mean Quantity	-	107.6
	Mean PACT Quantity	-	1.1
	PACT Quantity Beta/CV	-	0.20

Κλιμακοστάσια

Θεωρήθηκαν μεταλλικά κλιμακοστάσια και ορίστηκαν στην ομάδα τρωτότητας "Prefabricated steel stair with steel treads and landings with no seismic joint (C2011.001b)". Τα κλιμακοστάσια καταμετρώνται ανά μονάδα σε κάθε όροφο, ενώ το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά της ομάδας είναι η ανηγμένη σχετική μετακίνηση ορόφου στη διεύθυνση της σκάλας. Η τυπική τιμή που προτείνει το FEMA P-58 είναι περίπου ένα κλιμακοστάσιο ανά 10000 sf ορόφου που αντιστοιχεί σε ένα ανά 929 m², δίνοντας και μία τιμή διασποράς. Θεωρήθηκε τελικά ένα κλιμακοστάσιο ανά 650 m², σαν μία πιο αντιπροσωπευτική τιμή για τυπικές επιφάνειες κτιρίων.

Ψευδοροφές

Για τα κτίρια του ΕΜΠ, η συνολική επιφάνεια της ψευδοροφής υπολογίστηκε ως η καθαρή επιφάνεια των χώρων του εκάστοτε κτιρίου, αφαιρώντας τα κλιμακοστάσια και τις τουαλέτες. Το FEMA P-58 προτείνει σαν τυπική τιμή το 90% της συνολικής επιφάνειας του ορόφου, ενώ όσον αφορά την τρωτότητα και το κόστος επισκευής, διαχωρίζει τις ψευδοροφές βάσει της επιφάνειας τους. Οι ψευδοροφές θεωρήθηκαν ανεξάρτητες σε κάθε γραφείο των κτιρίων που μελετήθηκαν, ενώ αυτές των κοινών χώρων διαχωρίστηκαν με λογικά κριτήρια. Έτσι, ανάλογα με την επιφάνεια τους ορίστηκαν ακολούθως στις ομάδες τρωτότητας "Suspended Ceiling, SDC A,B, Area (A): A <250, Vert support only (C3032.001a)", "Suspended Ceiling, SDC A,B, Area (A): 250 < A < 1000, Vert support only(C3032.001b)" και "Suspended Ceiling, SDC A,B, Area (A): 1000 < A < 2500, Vert support only(C3032.001c)". Οι ψευδοροφές καταμετρώνται ανά μονάδες 250 SF, 600 SF και 1800 SF αντίστοιχα, ενώ το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά της ομάδας είναι μέγιστη επιτάχυνση ορόφου.

Πίνακας 8. Στοιχεία απογραφής ψευδοροφών ανά 100 m²

Fragility Number	Fragility Name	Actual Unit	Assumed Quantity per component within PACT	NTUA Survey and Assumptions		
				Mean Quantity	Mean PACT Quantity	PACT Quantity CV
C3032.001a	Suspended Ceiling, SDC A,B, Area (A): A < 250, Vert support only	SF	250 SF	405.84	1.62	0.46
C3032.001b	Suspended Ceiling, SDC A,B, Area (A): 250 < A < 1000, Vert support only	SF	600 SF	269.98	0.45	0.49
C3032.001c	Suspended Ceiling, SDC A,B, Area (A): 1000 < A < 2500, Vert support only	SF	1800 SF	63.96	0.04	3.00

Ανελκυστήρες

Λήφθηκαν υδραυλικοί ανελκυστήρες και ορίστηκαν στην ομάδα τρωτότητας "Hydraulic Elevator – Applies to most California Installations 1976 or later, most western states installations postdating 1982 and most U.S installations postdating 1998. (D1014.021)". Οι ανελκυστήρες καταμετρώνται ανά μονάδα και θεωρούνται στο ισόγειο/υπόγειο μόνο, ενώ το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά της ομάδας είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ο αριθμός των ανελκυστήρων ανά κτίριο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες ωστόσο χαρακτηριστικές τιμές κυμαίνονται μεταξύ του ενός ανά 40000 sf και 50000 sf επιφάνειας του κτιρίου. Η τυπική τιμή που προτείνει το FEMA P-58 είναι ένας ανά 36000 sf, δίνοντας ωστόσο μεγάλη διασπορά. Επιλέχθηκε να θεωρηθούν 1/1500 m² (~1/16100 SF) για κτίρια με A < 2000 m², και 1/3000 m² (~1/32300 SF) για τις δύο άλλες κατηγορίες.

Σωληνώσεις κρύου νερού για οικιακή χρήση

Οι σωληνώσεις κρύου νερού ορίστηκαν στην ομάδα τρωτότητας "Cold Water Piping (dia > 2.5 inches), SDC A or B, PIPING FRAGILITY (D2021.011a)", καταμετρώνται ανά 1000 ft και το μέτρο απόκρισης που καθορίζει την συμπεριφορά της ομάδας είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου. Οι τιμές για τις σωληνώσεις λήφθηκαν από τα κτίρια του ΕΜΠ κάνοντας κάποιες παραδοχές ως προς τη διάταξη τους στις τοιχοπληρώσεις γύρω από τις τουαλέτες και προσθέτοντας στο μήκος αυτό και το ύψος του ορόφου. Για τουαλέτες/κουζίνες σε διαφορετικά σημεία των κτιρίων, θεωρήθηκε ότι ανεβαίνουν ξεχωριστές σωληνώσεις από το ισόγειο. Έτσι, υπολογίστηκαν κάποια ενδεικτικά μήκη για κάθε κτίριο και στη συνέχεια συγκρίθηκαν με τις προτεινόμενες τιμές του FEMA P-58. Οι τιμές που προέκυψαν είχαν σημαντική απόκλιση από τις χαρακτηριστικές τιμές του FEMA P-58, ωστόσο στα πλαίσια της απλοποιητικής προσέγγισης που υλοποιήθηκε θεωρήθηκαν χαρακτηριστικές. Η σύγκριση των δύο φαίνεται στον πίνακα 9.

Σωληνώσεις ζεστού νερού για οικιακή χρήση

Σε κτίρια γραφείων η παροχή ζεστού νερού μπορεί να γίνεται είτε μέσω συστήματος κεντρικής θέρμανσης είτε από τοπικούς θερμοσίφωνες. Σύμφωνα με τις περιορισμένες

πληροφορίες που λήφθηκαν από τεχνικά γραφεία, συνήθως προτιμάται το δεύτερο στην Ελλάδα. Οι τιμές του FEMA P-58 για τις σωληνώσεις ζεστού νερού κρίθηκαν πολύ μεγάλες και πιθανότατα αναφέρονται σε συστήματα κεντρικής θέρμανσης του νερού που ενδεχομένως να είναι πιο δημοφιλή στην Αμερική. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, όπως και προηγουμένως, έγιναν κατάλληλες παραδοχές ως προς τη διάταξη τους στα κτίρια του ΕΜΠ και προέκυψαν οι αντίστοιχες ποσότητες τους ανά 100 m² (Πίνακας 10).

Οι σωληνώσεις ζεστού νερού ορίστηκαν στην ομάδα τρωτότητας "C Hot Water Piping - Small Diameter Threaded Steel - (2.5 inches in diameter or less), SDC A or B, PIPING FRAGILITY (D2022.011a)", καταμετρώνται ανά 1000 ft και το μέτρο απόκρισης που καθορίζει την συμπεριφορά τους είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου

Σωληνώσεις αποχέτευσης

Οι σωληνώσεις αποχέτευσης ορίστηκαν στην ομάδα τρωτότητας " Sanitary Waste Piping - Cast Iron w/flexible couplings, SDC A,B, BRACING FRAGILITY (D2031.011b)", καταμετρώνται ανά 1000 ft και το μέτρο απόκρισης που καθορίζει την συμπεριφορά της ομάδας είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου. Οι τιμές για τις σωληνώσεις λήφθηκαν και πάλι από τα κτίρια του ΕΜΠ χρησιμοποιώντας παρόμοιες παραδοχές και συγκρίθηκαν με τις προτεινόμενες τιμές του FEMA P-58 (Πίνακας 11). Και πάλι παρατηρείται σημαντική απόκλιση.

Πίνακας 9. Στοιχεία Σωληνώσεων κρύου νερού για οικιακή χρήση ανά 100 m²

Fragility Number	Fragility Name	Actual Unit	Assumed Quantity per component within PACT	NTUA Survey and Assumptions	FEMA P-58 Normative Quantities		
				Mean Quantity	Mean Quantity	Mean PACT Quantity	PACT Quantity Beta
D2021.011a	Cold Water Piping (dia > 2.5 inches), SDC A or B, PIPING FRAGILITY	LF	1000 LF	12.96	61.5	0.0615	0.20

Πίνακας 10. Στοιχεία σωληνώσεων ζεστού νερού για οικιακή χρήση ανά 100 m²

Fragility Number	Fragility Name	Actual Unit	Assumed Quantity per component within PACT	FEMA P-58 Normative Quantities		
				Mean Quantity	Mean PACT Quantity	PACT Quantity Beta
D2022.011a	Hot Water Piping - Small Diameter Threaded Steel - (2.5 inches in diameter or less), SDC A or B, PIPING FRAGILITY	LF	1000 LF	5.88	0.0059	0.50

Πίνακας 11. Στοιχεία σωληνώσεων αποχέτευσης ανά 100 m²

Fragility Number	Fragility Name	Actual Unit	Assumed Quantity per component within PACT	NTUA Survey and Assumptions	FEMA P-58 Normative Quantities		
				Mean Quantity	Mean Quantity	Mean PACT Quantity	PACT Quantity Beta
D2031.011b	Sanitary Waste Piping - Cast Iron w/flexible couplings, SDC A,B, BRACING FRAGILITY	LF	1000 LF	27.53	61.4	0.0614	0.60

Εξοπλισμός θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού (HVAC)

Για την θέρμανση και ψύξη του κτιρίου, συνηθίζεται πλέον να χρησιμοποιούνται αντλίες θερμότητας (Heat Pumps) ή εναλλακτικά συνδυασμός μπόιλερ (Boiler) και ψύκτη (Chiller). Η βάση δεδομένων του FEMA P-58, ωστόσο, περιέχει πληροφορίες μόνο για το τελευταίο. Για την μεταφορά της θερμότητας στο κτίριο υπάρχουν διάφορα συστήματα, τα οποία σε γενικές γραμμές μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: συστήματα μόνο αέρα, συστήματα αέρα και νερού, συστήματα μόνο νερού. Σε πλέον σύγχρονα κτίρια γραφείων συνηθίζεται πλέον να χρησιμοποιούνται τα δύο πρώτα. Ο αέρας διανέμεται στο κτίριο μέσω κλιματιστικής μονάδας κατάλληλης ισχύος.

Στη συνέχεια, ο εν λόγω εξοπλισμός αντιστοιχίστηκε με στοιχεία του FEMA P-58. Πληροφορίες σχετικά με τη συνήθης έδραση και αγκύρωση του μηχανολογικού εξοπλισμού, λήφθηκαν από έναν αριθμό τεχνικών γραφείων. Ωστόσο λόγω των διαφορούμενων επ'αυτού απόψεων, οι εγκαταστάσεις θεωρήθηκαν με τρόπο που αντικατοπτρίζει κατά το δυνατόν τις πληροφορίες που έλαβε ο γράφοντας και ενδεχομένως να χρίζουν επανεξέτασης. Ακόμη, θεωρήθηκαν μόνο οι τρωτότητες του εξοπλισμού και αγνοήθηκαν αυτές της αγκύρωσης, δεδομένης της έλλειψης πληροφοριών.

Έτσι, για την ψύξη του κτιρίου θεωρήθηκε ψύκτης ο οποίος ορίστηκε στις ομάδες τρωτότητας " Chiller - Capacity: < 100 Ton - Equipment that is either hard anchored or is vibration isolated with seismic snubbers/restraints - Equipment fragility only (D3031.013b)", " Chiller - Capacity: 100 to <350 Ton - Equipment that is either hard anchored or is vibration isolated with seismic snubbers/restraints - Equipment fragility only (D3031.013e)", ανάλογα με την επιφάνεια του κτιρίου, ενώ αγνοήθηκε το σύστημα θέρμανσης. Δεδομένα για την απαίτηση ενός κτιρίου σε ψύξη λήφθηκαν από δύο τεχνικά γραφεία και από δεδομένα του ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) και εκτιμήθηκε μία μέση τιμή ενός ψυκτικού τόνου ανά 233.25 SF (ή 21.67 m²), δηλαδή 4.61 ton/100m². Οι ψύκτες ανάλογα με της δυναμικότητα καταμετρώνται ανά μονάδες των 75 ή 250 TN αντίστοιχα και θεωρούνται στην οροφή του κτιρίου μόνο. Το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά της ομάδας είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου. Οι ψύκτες θεωρήθηκαν εφοδιασμένοι με αντιδονητικά στηρίγματα και παγίωση.

Η κλιματιστική μονάδα ορίστηκε στις κατηγορίες " Air Handling Unit - Capacity: 5000 to <10000 CFM - Unanchored equipment that is not vibration isolated - Equipment fragility only (D3052.011b)" και " Air Handling Unit - Capacity: 25000 to <40000 CFM - Unanchored equipment that is not vibration isolated - Equipment fragility only (D3052.011d)", ανάλογα με την επιφάνεια του κτιρίου. Δεδομένα για την ισχύ της

λήφθηκαν από δύο τεχνικά γραφεία και από το στατιστικό δείγμα του FEMA P-58. Τελικά θεωρήθηκαν 788 CFM ανά 100 m² επιφάνειας του κτιρίου. Οι κλιματιστικές μονάδες μετρούνται σε μονάδες των 8000 CFM και 30000 CFM αντίστοιχα. Το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά της ομάδας είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου. Οι κλιματιστικές μονάδες θεωρήθηκαν χωρίς αγκύρωση.

Οι σωληνώσεις ζεστού νερού για θέρμανση ορίστηκαν στις ομάδες τρωτότητας "C Hot Water Piping - Small Diameter Threaded Steel - (2.5 inches in diameter or less), SDC A or B, PIPING FRAGILITY (D2022.011a)" και " Hot Water Piping - Large Diameter Welded Steel - (greater than 2.5 inches in diameter), SDC A or B, PIPING FRAGILITY (D2022.011a)", καταμετρώνται ανά 1000 ft και το μέτρο απόκρισης που καθορίζει την συμπεριφορά τους είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου. Η ύπαρξη τους και στην περίπτωση αυτή το συνολικό τους μήκος, εξαρτάται από το σύστημα θέρμανσης (μόνο αέρα, αέρα και νερού) και από τη μορφολογία του κτιρίου. Ελλείψει δυνατότητας καλύτερης προσέγγισης, οι τιμές για τις σωληνώσεις λήφθηκαν από τις προτεινόμενες τιμές του FEMA P-58 (Πίνακας 14).

Πίνακας 12. Στοιχεία ψύκτη

Fragility Number	Fragility Name	Quantity per component within PACT	Mean Quantity per 100 m ²	A,tot < 2000 m ²		2000 m ² < A,tot < 5000 m ²		A,tot > 5000 m ²	
			TN	Mean Quantity per 1500 m ²	Mean PACT Quantity per 100m ²	Mean Quantity per 3000 m ²	Mean PACT Quantity per 100m ²	Mean Quantity per 6000 m ²	Mean PACT Quantity per 100m ²
D3031.013b	Chiller - Capacity: < 100	75 TN	4.61	69.22	0.062	138.44	-	276.89	-
D3031.013e	Chiller - Capacity: 100 to <350	250 TN			-		0.018		0.018

Πίνακας 13. Στοιχεία κλιματιστικής μονάδας

Fragility Number	Fragility Name	Quantity per component within PACT	Mean Quantity per 100 m ²	A,tot < 2000 m ²		2000 m ² < A,tot < 5000 m ²		A,tot > 5000 m ²	
			CFM	Mean Quantity per 1500 m ²	Mean PACT Quantity per 100m ²	Mean Quantity per 3000 m ²	Mean PACT Quantity per 100m ²	Mean Quantity per 6000 m ²	Mean PACT Quantity per 100m ²
D3052.011b	Air Handling Unit - Capacity: 5000 to <10000 CFM -	8000 CFM	788	11816	0.10	23632	-	47264	-
D3052.011d	Air Handling Unit - Capacity: 25000 to <40000 CFM - only	30000 CFM			-		0.026		0.03

Πίνακας 14. Στοιχεία σωληνώσεων ζεστού νερού για θέρμανση ανά 100 m²

Fragility Number	Fragility Name	Actual Unit	Assumed Quantity per component within PACT	FEMA P-58 Normative Quantities		
				Mean Quantity	Mean PACT Quantity	PACT Quantity Beta
D2022.011a	Hot Water Piping - Small Diameter Threaded Steel - (2.5 inches in diameter or less), SDC A or B, PIPING FRAGILITY	LF	1000 LF	5.4	0.005	1,0
D2022.021a	Hot Water Piping - Large Diameter Welded Steel - (greater than 2.5 inches in diameter), SDC A or B, PIPING FRAGILITY	LF	1000 LF	5.4	0.005	1,0

Πίνακας 15. Στοιχεία Fan in Line Fan

Fragility Number	Fragility Name	Actual Unit	Assumed Quantity per component within PACT	NTUA Survey and Assumptions		
				Mean Quantity	Mean PACT Quantity	PACT Quantity CV
D3041.001a	HVAC Fan In Line Fan, Fan independently supported and vibration isolators, SDC A or B	EA	10 EA	0.56	0.056	0.032

Ακόμη, συμπεριλήφθηκαν στοιχεία "HVAC Fan In Line Fan, Fan independently supported and vibration isolators, SDC A or B (D3041.001a)" που μετρώνται ανά 10 μονάδες, έχουν χαρακτηριστικό μέτρο απόκρισης τη μέγιστη επιτάχυνση ορόφου και θεωρήθηκαν ένα σε κάθε τουαλέτα των κτιρίων που μελετήθηκαν.

Οι σωληνώσεις εξαερισμού ορίστηκαν στις ομάδες τρωτότητας " HVAC Galvanized Sheet Metal Ducting less than 6 sq. ft in cross sectional area, SDC A or B (D3041.011a)" και " HVAC Galvanized Sheet Metal Ducting - 6 sq. ft cross sectional area or greater, SDC A or B (D3041.012a)". Καταμετρώνται ανά 1000 ft και το μέτρο απόκρισης που χαρακτηρίζει τη συμπεριφορά των ομάδων αυτών είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου. Τα μήκη τους λήφθηκαν από τις προτεινόμενες τιμές του FEMA P-58.

Επίσης, από τις προτεινόμενες τιμές του FEMA P-58 λαμβάνονται τα στοιχεία "HVAC Drops / Diffusers in suspended ceilings - No independent safety wires, SDC A or B (D3041.031a)", " Variable Air Volume (VAV) box with in-line coil, SDC A or B (D3041.041a)". Τα στοιχεία αυτά καταμετρώνται ανά 10 μονάδες, ενώ το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά τους είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου.

Σύστημα πυροπροστασίας

Όσον αφορά το σύστημα πυροπροστασίας, θεωρήθηκαν ψεκαστές που ορίστηκαν στην ομάδα τρωτότητας "Fire Sprinkler Drop Standard Threaded Steel - Dropping into unbraced lay-in tile SOFT ceiling - 6 ft. long drop maximum, SDC A or B (D4011.031a)" με κατανομή που προέκυψε από την απογραφή των κτιρίων του ΕΜΠ. Οι ψεκαστές καταμετρώνται ανά 100 μονάδες και το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά της ομάδας είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου.

Επίσης, οι σωληνώσεις του συστήματος πυροπροστασίας ορίστηκαν στην ομάδα τρωτότητας "Fire Sprinkler Water Piping - Horizontal Mains and Branches - Old Style Victaulic - Thin Wall Steel - No bracing, SDC A or B, PIPING FRAGILITY (D4011.021a)". Οι σωληνώσεις αυτές καταμετρούνται ανά 1000 ft και το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά της ομάδας είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου. Το μήκος των σωληνώσεων λήφθηκε από τις χαρακτηριστικές τιμές του FEMA P-58 (Πίνακας 17).

Πίνακας 16. Στοιχεία σωληνώσεων εξαερισμού

Fragility Number	Fragility Name	Actual Unit	Assumed Quantity per component within PACT	FEMA P-58 Normative Quantities		
				Mean Quantity	Mean PACT Quantity	PACT Quantity Beta/CV
D3041.011a	HVAC Galvanized Sheet Metal Ducting less than 6 sq. ft in cross sectional area, SDC A or B	LF	1000 LF	80.7	0.08	0.20
D3041.012a	HVAC Galvanized Sheet Metal Ducting - 6 sq. ft cross sectional area or greater, SDC A or B	LF	1000 LF	21.5	0.02	0.20
D3041.031a	HVAC Drops / Diffusers in suspended ceilings - No independent safety wires, SDC A or B	EA	10 EA	9.69	0.97	0.50
D3041.041a	Variable Air Volume (VAV) box with in-line coil, SDC A or B	EA	10 EA	7.53	0.75	0.30

Πίνακας 17. Στοιχεία συστήματος πυροπροστασίας

Fragility Name		Fire Sprinkler Water Piping - Horizontal Mains and Branches - Old Style Victaulic - Thin Wall Steel - No bracing, SDC A or B, PIPING FRAGILITY	Fire Sprinkler Drop Standard Threaded Steel - Dropping into unbraced lay-in tile SOFT ceiling - 6 ft. long drop maximum, SDC A or B
Fragility Number		D4011.021a	D4011.031a
Actual Unit		LF	EA
Assumed Quantity per component within PACT		1000 LF	100 EA
NTUA Survey and Assumptions	Mean Quantity	-	3.95
	Mean PACT Quantity	-	0.04
	PACT Quantity CV	-	0.35
FEMA P-58 Normative Quantities	Mean Quantity	215.3	9.69
	Mean PACT Quantity	0.22	0.10
	PACT Quantity Beta/CV	0.10	0.20

Ηλεκτρικός εξοπλισμός

Οι μετασχηματιστές ορίστηκαν στις ομάδες τρωτότητας " Transformer/primary service - Capacity: 100 to <350 kVA - Equipment that is either hard anchored or is vibration isolated with seismic snubbers/restraints - Equipment fragility (D5011.013e)" και " Transformer/primary service - Capacity: 350 to <750 kVA - Equipment that is either hard

anchored or is vibration isolated with seismic snubbers/restraints - Equipment fragility only (D5011.013h)". Οι μετασχηματιστές ανάλογα με της δυναμικότητα τους καταμετρώνται ανά μονάδες των 250 kVA ή 500 kVA αντίστοιχα και θεωρούνται στο ισόγειο/υπόγειο. Πληροφορίες σχετικά με την απαιτούμενη δυναμικότητα μετασχηματιστή λήφθηκαν από δύο τεχνικά γραφεία και από δεδομένα της εταιρείας Electricities που αναφέρονται στην αμερικάνικη αγορά. Τελικά, επιλέχτηκε απαίτηση 11.65 kVA/ 100 m². Το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά της ομάδας είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου. Οι μετασχηματιστές θεωρήθηκαν αγκυρωμένοι.

Οι διακόπτες χαμηλής τάσης ορίστηκαν στις ομάδες τρωτότητας "Low Voltage Switchgear - Capacity: 100 to <350 Amp - Unanchored equipment that is not vibration isolated - Equipment fragility only (D5012.021a)", "Low Voltage Switchgear - Capacity: 350 to <750 Amp - Unanchored equipment that is not vibration isolated - Equipment fragility only (D5012.021b)" και "Low Voltage Switchgear - Capacity: 750 to <1200 Amp - Unanchored equipment that is not vibration isolated - Equipment fragility only (D5012.021c)". Οι διακόπτες χαμηλής τάσης ανάλογα με τη δυναμικότητα τους καταμετρώνται σε μονάδες 225 AP, 400 AP και 800 AP αντίστοιχα και θεωρούνται τοποθετημένοι στο ισόγειο/υπόγειο. Η απαίτηση τους υπολογίστηκε βάσει των μετασχηματιστών που επιλέχθηκαν και φαίνεται στον Πίνακα 19. Το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά της ομάδας είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου. Οι διακόπτες χαμηλής τάσης θεωρήθηκαν χωρίς αγκύρωση.

Οι πίνακες διανομής ορίστηκαν στην ομάδα τρωτότητας "Distribution Panel - Capacity: 100 to <350 Amp - Unanchored equipment that is not vibration isolated - Equipment fragility only (D5012.031a)" και καταμετρώνται ανά μονάδες 225 AP. Θεωρήθηκαν 1/600 m² στον τυπικό όροφο, ενώ στο ισόγειο/υπόγειο θεωρήθηκαν 1/500 m² για A < 2000 m², 1/750 m² για 2000 m² < A < 5000 m² και 1/1200 m² A > 5000 m². Το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά της ομάδας είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου.

Ακόμη, στο ισόγειο/υπόγειο θεωρήθηκε από ένα στοιχείο των ομάδων τρωτότητας "Battery Rack - Capacity: all - Unanchored equipment that is not vibration isolated - Equipment fragility only (D5092.011a)" και "Battery Charger - Capacity: all - Unanchored equipment that is not vibration isolated - Equipment fragility only (D5092.021a)". Καταμετρώνται ανά μονάδα και το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά τους είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου.

Πίνακας 18. Στοιχεία μετασχηματιστή

Fragility Number	Fragility Name	Quantity per component within PACT	Mean Quantity per 100 m ²	A,tot < 2000 m ²		2000 m ² < A,tot < 5000 m ²		A,tot > 5000 m ²	
				KV	Mean Quantity per 1500 m ²	Mean PACT Quantity per 100m ²	Mean Quantity per 3000 m ²	Mean PACT Quantity per 100m ²	Mean Quantity per 6000 m ²
D5011.013e	Transformer/primary service - Capacity: 100 to <350 kVA	250 KV	11.65	174.68	0.047	349.37	-	698.74	-
D5011.013h	Transformer/primary service - Capacity: 350 to <750 kVA	500 KV			-		0.023		0.016

Πίνακας 19. Στοιχεία διακόπτη χαμηλής τάσης

Fragility Number	Fragility Name	Quantity per component within PACT	Mean Quantity per 100 m ²	A,tot < 2000 m ²		2000 m ² < A,tot < 5000 m ²		A,tot > 5000 m ²	
			AP	Mean Quantity per 1500 m ²	Mean PACT Quantity per 100m ²	Mean Quantity per 3000 m ²	Mean PACT Quantity per 100m ²	Mean Quantity per 6000 m ²	Mean PACT Quantity per 100m ²
D5012.021a	Low Voltage Switchgear - Capacity: 100 to <350 Amp	225 AP	19.41	291.14	0.086	582.28	-	1164.6	-
D5012.021b	Low Voltage Switchgear - Capacity: 350 to <750 Amp	400 AP			-		0.049		-
D5012.021c	Low Voltage Switchgear - Capacity: 750 to <1200 Amp	800 AP			-		-		0.024

Οι γεννήτριες ορίστηκαν στις ομάδες τρωτότητας " Diesel generator - Capacity: 100 to <350 kVA - Equipment that is either hard anchored or is vibration isolated with seismic snubbers/restraints - Equipment fragility only (D5092.033b)". Οι γεννήτριες καταμετρώνται ανά μονάδες των 250 kV και θεωρούνται στο ισόγειο/υπόγειο. Πληροφορίες σχετικά με την απαιτούμενη δυναμικότητα τους λήφθηκαν από τεχνικά γραφεία και επιλέχθηκε να οριστεί 4.67 kVA/100m². Το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά της ομάδας είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου. Οι γεννήτριες θεωρήθηκαν αγκυρωμένες.

Πίνακας 20. Στοιχεία γεννήτριας

Fragility Number	Fragility Name	Quantity per component within PACT	Mean Quantity per 100 m ²	A,tot < 2000 m ²		2000 m ² < A,tot < 5000 m ²		A,tot > 5000 m ²	
			KV	Mean Quantity per 1500 m ²	Mean PACT Quantity per 100m ²	Mean Quantity per 3000 m ²	Mean PACT Quantity per 100m ²	Mean Quantity per 6000 m ²	Mean PACT Quantity per 100m ²
D5092.033b	Diesel generator - Capacity: 100 to <350 kVA	250 KV	4.67	70.01	0.019	140.01	0.019	280.0	0.019

3.5 Περιεχόμενα

3.5.1 Πληροφορίες περιεχομένων

Γραφεία και σταθμοί εργασίας

Θεωρήθηκε ένα είδος γραφείου και ορίστηκε στην ομάδα τρωτότητας "Modular office work stations (E2022.001)". Τα γραφεία καταμετρώνται ανά μονάδα, ενώ το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά της ομάδας είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου. Τα μέσα κόστη αντικατάστασης και οι συντελεστές μεταβλητότητας για κάθε κατηγορία αξίας δίνονται στον Πίνακα 23.

Ηλεκτρονικός εξοπλισμός γραφείου

Θεωρήθηκαν τρεις κατηγορίες ηλεκτρονικού εξοπλισμού γραφείου και όλες θεωρήθηκαν ότι εδράζονται σε λεία επιφάνεια και ορίστηκαν στην ομάδα τρωτότητας "Desktop electronics including computers, monitors, stereos, etc, smooth surface (E2022.023)". Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός καταμετράται ανά μονάδα, ενώ το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά της ομάδας είναι η μέγιστη επιτάχυνση ορόφου. Οι τρεις κατηγορίες που ορίστηκαν βάσει κόστους αντικατάστασης είναι οι εξής:

- Υπολογιστές/Laptops,
- Εκτυπωτές/Scanner/Fax/Πολυμηχανήματα,
- Οθόνες.

Τα μέσα κόστη αντικατάστασης και οι τυπικές αποκλίσεις για κάθε κατηγορία αξίας δίνονται στον Πίνακα 23.

Βιβλιοθήκες

Βάσει του FEMA P-58 οι βιβλιοθήκες διαχωρίζονται ανάλογα με το αν είναι αγκυρωμένες πλευρικά ή όχι και ανάλογα με τον αριθμό των ραφιών και κατ'επέκταση το ύψος τους. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, λόγω δυσκολίας εξακρίβωσης της αγκύρωσης στην πλειονότητα των περιπτώσεων, όλες οι βιβλιοθήκες θεωρήθηκαν μη αγκυρωμένες. Οι βιβλιοθήκες καταμετρώνται ανά μονάδα, ενώ το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά των ομάδων ομάδων σύμφωνα με το FEMA P-58 είναι η μέγιστη ταχύτητα ορόφου. Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τον αριθμό των ραφιών όσο και το ύψος της τυπικής βιβλιοθήκης της κάθε ομάδας (όπως αυτές περιγράφονται στη βάση δεδομένων του FEMA P-58), ορίστηκαν κατ'εκτίμηση στις ομάδες τρωτότητας "Bookcase, 2 shelves, unanchored laterally (E2022.102a)", "Bookcase, 3 shelves, unanchored laterally (E2022.103a)" "Bookcase, 4 shelves, unanchored laterally (E2022.104a)" "Bookcase, 5 shelves, unanchored laterally (E2022.105a)" "Bookcase, 6 shelves, unanchored laterally (E2022.106a)". Τα μέσα κόστη αντικατάστασης και οι τυπικές αποκλίσεις για κάθε ομάδα τρωτότητας και κατηγορία αξίας δίνονται στον Πίνακα 23. Η συναρτήσεως τρωτότητας των βιβλιοθηκών τροποποιήθηκαν κατάλληλα ώστε να αναχθούν σε συναρτήσεως της μέγιστης επιτάχυνσης ορόφου για λόγους απλοποίησης. Για τον παραπάνω σκοπό χρησιμοποιήθηκαν απλοποιητικές σχέσεις ταχύτητας - επιτάχυνσης (Kramer, 1996) που αν και αναφέρονται σε εδάφη, βασίζονται σε αρχές που μπορούν προσεγγιστικά να υιοθετηθούν και στην περίπτωση αυτή. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι εν λόγω σχέσεις για διάφορους τύπους εδαφών και αναφέρονται σε αντίστοιχες περιόδους

αρμονικού κύματος 0.35 sec, 0.70 sec, 0.87 sec. Στην περίπτωση μας, έγινε γραμμική παρεμβολή για 1.0 sec και προέκυψε συντελεστής 1.6 με τον οποίο και διαιρέθηκε η μέγιστη ταχύτητα ορόφου των συναρτήσεων τρωτότητας του FEMA P-58.

Πίνακας 21. Συσχέτιση ταχύτητας - επιτάχυνσης (Kramer, 1996)

Site Condition	v_{max}/a_{max}
Rock	55 cm/sec/g = 0.056 sec
Stiff soils (< 200 ft)	110 cm/sec/g = 0.112 sec
Deep stiff soils (> 200 ft)	135 cm/sec/g = 0.138 sec

Ντουλάπια

Το FEMA P-58 διαχωρίζει ντουλάπια αρχειοθέτησης, με πλευρική αγκύρωση ή όχι, πλευρικά ή κατακόρυφα διατεταγμένα και με δύο ή τέσσερα ράφια. Για τα ντουλάπια έγινε η ίδια παραδοχή με τις βιβλιοθήκες και θεωρήθηκαν όλα μη αγκυρωμένα. Τα ντουλάπια καταμετρώνται ανά μονάδα, ενώ το μέτρο απόκρισης που καθορίζει τη συμπεριφορά των ομάδων σύμφωνα με το FEMA P-58 είναι η μέγιστη ταχύτητα ορόφου. Λαμβάνοντας υπόψη τη διάταξη και τόσο των αριθμό των ραφιών όσο και το ύψος του τυπικού ντουλαπιού της κάθε ομάδας (όπως αυτές περιγράφονται στη βάση δεδομένων του FEMA P-58), τα ντουλάπια που καταμετρήθηκαν ορίστηκαν κατ'εκτίμηση στις ομάδες τρωτότητας "Vertical Filing Cabinet, 2 drawer, unanchored laterally (E2022.112a)", "Vertical Filing Cabinet, 4 drawer, unanchored laterally (E2022.114a)", "Lateral Filing Cabinet, 2 drawer, unanchored laterally (E2022.124a)", "Lateral Filing Cabinet, 4 drawer, unanchored laterally (E2022.125a)". Τα μέσα κόστη αντικατάστασης και οι τυπικές αποκλίσεις για κάθε ομάδα τρωτότητας και κατηγορία αξίας δίνονται στον Πίνακα 23. Για την αναγωγή των συναρτήσεων τρωτότητας των ντουλαπιών σε συναρτήσεις της μέγιστης επιτάχυνσης ορόφου χρησιμοποιήθηκε η ίδια διαδικασία με τις βιβλιοθήκες.

3.5.2 Ποσότητες περιεχομένων

Στον πίνακα 22 δίνονται οι ποσότητες των περιεχομένων ανά 100 m² που προέκυψαν από την απογραφή στα κτίρια του Ε.Μ.Π., όπως περιγράφηκε παραπάνω.

3.5.3 Αξίες περιεχομένων

Για τον υπολογισμό του κόστους αντικατάστασης των αντικειμένων έγινε αναζήτηση στην ελληνική αγορά και επιλέχθηκαν κάποιες τυπικές τιμές. Επίσης, προκειμένου να εξεταστούν κτίρια με περιεχόμενα διαφορετικής οικονομικής αξίας, έγινε διαχωρισμός σε τρεις κατηγορίες: Υψηλής Αξίας (ΥΑ), Μέσης Αξίας (ΜΑ) και Χαμηλής Αξίας (ΧΑ) με ανάλογη διαβάθμιση στα κόστη των περιεχομένων. Οι τιμές των περιεχομένων και οι συντελεστές μεταβλητότητας που επιλέχθηκαν δίνονται στον πίνακα 23.

Πίνακας 22. Ποσότητες περιεχομένων

Fragility Number	Fragility Name	Actual Unit	Assumed Quantity per component within PACT	NTUA Survey and Assumptions		
				Mean Quantity	Mean PACT Quantity	PACT Quantity Standard Deviation
E2022.001	Modular office work stations.	EA	1 EA	6.05	6.05	1.66
E2022.023	Desktop electronics including computers, monitors, stereos, etc, smooth surface (Printers/ Fax machines/ Scanners)	EA	1 EA	4.26	4.26	1.46
E2022.023	Desktop electronics including computers, monitors, stereos, etc, smooth surface (Desktop computers/ Laptops)	EA	1 EA	4.48	4.48	1.33
E2022.023	Desktop electronics including computers, monitors, stereos, etc, smooth surface (Monitors)	EA	1 EA	4.37	4.37	1.85
E2022.102a	Bookcase, 2 shelves, unanchored laterally	EA	1 EA	0.10	0.10	0.20
E2022.103a	Bookcase, 3 shelves, unanchored laterally	EA	1 EA	0.44	0.44	0.33
E2022.104a	Bookcase, 4 shelves, unanchored laterally	EA	1 EA	0.64	0.64	0.90
E2022.105a	Bookcase, 5 shelves, unanchored laterally	EA	1 EA	0.02	0.02	0.04
E2022.106a	Bookcase, 6 shelves, unanchored laterally	EA	1 EA	9.61	9.61	6.38
E2022.112a	Vertical Filing Cabinet, 2 drawer, unanchored laterally	EA	1 EA	1.07	1.07	0.97
E2022.114a	Vertical Filing Cabinet, 4 drawer, unanchored laterally	EA	1 EA	0.49	0.49	0.20
E2022.124a	Lateral Filing Cabinet, 2 drawer, unanchored laterally	EA	1 EA	0.37	0.37	0.14

Πίνακας 23. Αξίες περιεχομένων

Περιεχόμενα	Χαμηλή Αξία		Μέση Αξία		Υψηλή Αξία	
	μ (€)	CV	μ (€)	CV	μ (€)	CV
Γραφεία	80	0.20	200	0.40	500	0.40
Εκτυπωτές/Fax/Scanners	80	0.30	140	0.50	300	0.50
Υπολογιστές/Laptops	350	0.20	600	0.30	1000	0.30
Οθόνες	80	0.30	120	0.50	200	0.50
Βιβλιοθήκες, 2 ράφια	40	0.30	80	0.30	140	0.20
Βιβλιοθήκες, 3 ράφια	50	0.30	100	0.30	200	0.20
Βιβλιοθήκες, 4 ράφια	70	0.30	140	0.30	250	0.20
Βιβλιοθήκες, 5 ράφια	70	0.30	170	0.30	290	0.20
Βιβλιοθήκες, 6 ράφια	80	0.30	200	0.30	320	0.20
Κατακόρυφα ντουλάπια, 2 ράφια	30	0.20	70	0.20	100	0.30
Κατακόρυφα ντουλάπια, 4 ράφια	40	0.20	80	0.20	110	0.30
Οριζόντια ντουλάπια, 2 ράφια	30	0.20	70	0.20	100	0.30
Οριζόντια ντουλάπια, 4 ράφια	40	0.20	80	0.20	110	0.30

4 ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

4.1 Γενικά

Έχοντας πλέον όλα τα απαραίτητα δεδομένα σχετικά με τα διάφορα στοιχεία του κτιρίου, είναι δυνατός ο υπολογισμός των συναρτήσεων EDP - DV. Η απευθείας χρήση συναρτήσεων DV- EDP προς περιορισμό των απαιτούμενων υπολογισμών και της ανάγκης απογραφής όλων των στοιχείων ενός κτιρίου, προτάθηκε αρχικά από τους Ramirez and Miranda (2009) στα πλαίσια της μεθοδολογίας υπολογισμού των σεισμικών απωλειών που πρότειναν. Στόχος είναι δηλαδή ο προσδιορισμός του όρου $G(DV|EDP)$ ώστε να απλοποιηθεί ο υπολογισμός της μέσης ετήσιας συχνότητας εμφάνισης του εκάστοτε κόστους μέσω της σχέσης του PEER στην μορφή που δίνεται παρακάτω:

$$\lambda(DV) = \iint G(DV|EDP) \cdot dG(EDP|IM) \cdot d\lambda(IM) \quad (4.1)$$

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε κώδικας στο λογισμικό Matlab που βασίζεται στη μεθοδολογία του FEMA P-58. Για την κάλυψη των πολλών αβεβαιοτήτων που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς, η μεθοδολογία χρησιμοποιεί προσομοιώσεις Monte Carlo και η απόδοση του κτιρίου υπολογίζεται για κάθε μία από πολλές πραγματοποιήσεις της ανάλυσης όπως επεξηγήθηκε στην παράγραφο 2.3.3.

Δεδομένου ότι στόχος είναι η εξαγωγή συναρτήσεων οικονομικών απωλειών λόγω επισκευής του κτιρίου, παραλήφθηκε ο προσδιορισμός της πιθανότητας κατάρρευσης ή κατεδάφισης του κτιρίου και έτσι υπολογίστηκε το σκέλος των απωλειών που αφορούν την επισκευή, δηλαδή μόνο ο πρώτος όρος της εξίσωσης (2.7). Με άλλα λόγια, τα αποτελέσματα της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε δίνουν το προκύπτων κόστος έχοντας σαν δεδομένο ότι δεν γίνεται κατάρρευση, ούτε απαιτείται κατεδάφιση του κτιρίου είτε λόγω παραμενουσών παραμορφώσεων, είτε μεγάλου κόστους επισκευής.

Οι σχέσεις EDP - DV ανά 100 m² υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τα δεδομένα τρωτότητας και κόστους των στοιχείων του κτιρίου που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και λήφθηκαν επι το πλείστον από τη βάση δεδομένων του FEMA P-58. Στοιχεία της ίδιας ομάδας τρωτότητας θεωρήθηκαν απολύτως συσχετισμένα. Η πραγματική συσχέτιση τους είναι φυσικά άγνωστη, ωστόσο η παραδοχή αυτή κρίνεται σχετικά εύλογη για τα 100 m² για τα οποία έγινε ο υπολογισμός. Όλα τα στοιχεία των οποίων η συμπεριφορά καθορίζεται από την ανηγμένη σχετική μετακίνηση ορόφου, θεωρήθηκαν προσανατολισμένα στην ίδια διεύθυνση, δηλαδή, ουσιαστικά, θεωρήθηκε ένα επίπεδο προσομοίωμα με μία διεύθυνση απόκρισης. Όσον αφορά το κόστος των στοιχείων, αγνοήθηκαν οικονομίες κλίμακας και θεωρήθηκαν σταθερές τιμές για οποιαδήποτε ποσότητα των στοιχείων.

4.2 Ομαδοποίηση στοιχείων

Αρχικά, τα διάφορα στοιχεία ομαδοποιήθηκαν καταλλήλως σε 20 ομάδες, όπως εν μέρει περιγράφηκε και προηγούμενως, και για κάθε μία υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες

συναρτήσεις EDP - DV. Παρακάτω παρατίθενται συνοπτικά οι ομάδες στοιχείων που διαμορφώθηκαν.

Δομικά στοιχεία (S)

Για τα δομικά στοιχεία σχηματίστηκαν 10 συναρτήσεις σεισμικών απωλειών. Έγινε κατηγοριοποίηση ανάλογα με το σύστημα ανάληψης οριζόντιων φορτίων (Χιαστί εγκάρσιοι σύνδεσμοι, εγκάρσιοι σύνδεσμοι Λ και πλαίσια παραλαβής ροπών) και για κάθε ένα από αυτά έγινε διάκριση ανάλογα με την επιφάνεια ορόφου ($A < 750 \text{ m}^2$, $750 \text{ m}^2 < A < 1500 \text{ m}^2$, $A > 1500 \text{ m}^2$). Ακόμη, υπολογίστηκε και μια συνάρτηση για τις πλάκες έδρασης των υποστλωμάτων που ορίζεται μόνο στο ισόγειο. Για τα δομικά στοιχεία επιλέχτηκε να μη θεωρηθούν διασπορές. Τα δομικά στοιχεία του υπογείου μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν παθαίνουν βλάβη. Οι ομάδες αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 24.

Μη δομικά στοιχεία (NS)

Στα μη δομικά στοιχεία συμπεριλαμβάνεται ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, ο οποίος διαχωρίστηκε από τα υπόλοιπα στοιχεία καθώς τοποθετείται αποκλειστικά στο υπόγειο/ισόγειο και στην οροφή. Έτσι, αποφασίστηκε να εξαχθούν διαφορετικές καμπύλες EDP - DV για τα μη δομικά στοιχεία ορόφου, τον Η/Μ εξοπλισμό υπογείου/ισογείου και τον Η/Μ οροφής. Επίσης, ο Η/Μ εξοπλισμός του ισογείου/υπογείου, ο οποίος εξαρτάται από τη συνολική επιφάνεια του κτιρίου, διαχωρίστηκε, όπως προαναφέρθηκε, ανάλογα με το μέγεθος της σε τρεις κατηγορίες: $A < 2000 \text{ m}^2$, $2000 \text{ m}^2 < A < 5000 \text{ m}^2$, $A > 5000 \text{ m}^2$. Αντίστοιχος διαχωρισμός θα μπορούσε να γίνει και για τα μη δομικά στοιχεία οροφής. Ωστόσο σύμφωνα με τα αποτελέσματα δεν προέκυπτε μεγάλη διαφορά και συνεπώς για λόγους απλότητας επιλέχτηκε να μη δοθούν διαφορετικές συναρτήσεις ανάλογα με την επιφάνεια. Παρ'όλα αυτά, για τα μη δομικά στοιχεία οροφής υπολογίστηκαν δύο συναρτήσεις, μία για τα στοιχεία που οι ποσότητες τους πρέπει να αναχθούν από τα 100 m^2 στην επιφάνεια του ορόφου και μία για αυτά που οι ποσότητες τους πρέπει να αναχθούν στην επιφάνεια του κτιρίου (ψύκτης, κλιματιστική μονάδα). Ακόμη, διαχωρισμός γίνεται στα στοιχεία με μέτρο απόκρισης που καθορίζει την συμπεριφορά τους την ανηγμένη σχετική μετατόπιση ορόφου και σε αυτά με μέτρο απόκρισης την μέγιστη επιτάχυνση ορόφου. Για τα μη δομικά στοιχεία αγνοήθηκαν πιθανές διασπορές των ποσοτήτων. Συνολικά θεωρήθηκαν δηλαδή 7 συναρτήσεις σεισμικών απωλειών, όπως φαίνονται στον πίνακα 25.

Περιεχόμενα (C)

Για τα περιεχόμενα διαμορφώθηκαν 3 συναρτήσεις σεισμικών απωλειών ανάλογα με το κόστος αυτών (περιεχόμενα χαμηλής αξίας, μέσης αξίας, υψηλής αξίας). Επιλέχτηκε αντί να ληφθούν υπόψη διασπορές στις ποσότητες των στοιχείων, να χρησιμοποιηθούν μόνο οι μέσες τιμές, ορίζοντας ωστόσο διαφορετικές ποσότητες για περιεχόμενα χαμηλής, μέσης και υψηλής αξίας. Συγκεκριμένα για κτίρια με περιεχόμενα χαμηλής αξίας αφαιρέθηκε μία τυπική απόκλιση από τη μέση τιμή, ενώ για κτίρια με περιεχόμενα υψηλής αξίας προστέθηκε μία τυπική απόκλιση. Οι ομάδες φαίνονται στον πίνακα 26.

Παρακάτω, στην Εικόνα 7, φαίνονται οι θέσεις εφαρμογής της κάθε συνάρτησης EDP - DV, δηλαδή από ποια στάθμη θα πρέπει να ληφθεί το κατάλληλο μέτρο απόκρισης. Το συνολικό κόστος προκύπτει προφανώς αθροίζοντας το προκύπτων κόστος όλων των

συναρτήσεων. Τέλος, στον Πίνακα 27 δίνονται τα στοιχεία που θεωρήθηκαν σε κάθε μία από τις παραπάνω ομάδες.

Πίνακας 24. Ομάδες δομικών στοιχείων (S)

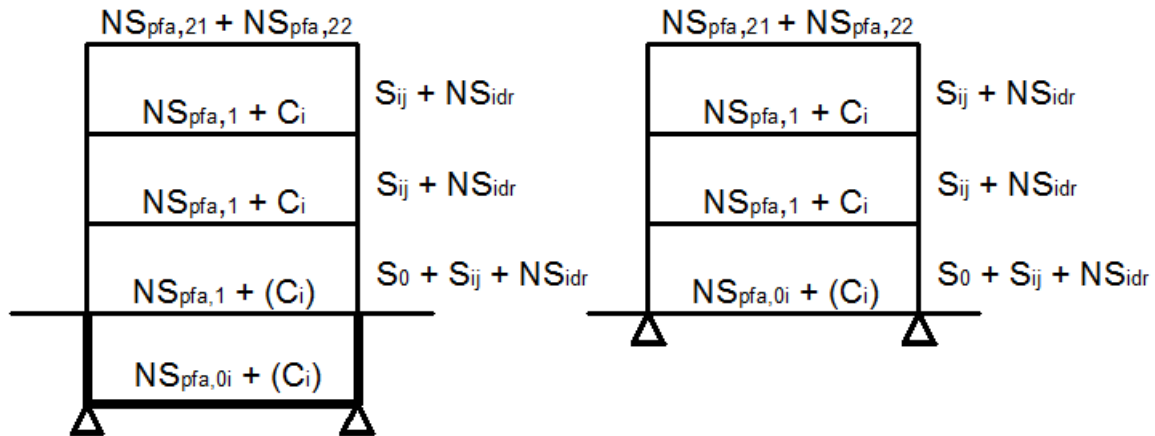
EDP - DV function number	EDP - DV function name	Structural Components	
1	S_{X1}	X-Braced	$A < 750 \text{ m}^2$
2	S_{X2}		$750 \text{ m}^2 < A < 1500 \text{ m}^2$
3	S_{X3}		$A > 1500 \text{ m}^2$
4	S_{C1}	Chevron Braced	$A < 750 \text{ m}^2$
5	S_{C2}		$750 \text{ m}^2 < A < 1500 \text{ m}^2$
6	S_{C3}		$A > 1500 \text{ m}^2$
7	S_{M1}	SMRF	$A < 750 \text{ m}^2$
8	S_{M2}		$750 \text{ m}^2 < A < 1500 \text{ m}^2$
9	S_{M3}		$A > 1500 \text{ m}^2$
10	S_0	Base Plates (ground floor only)	

Πίνακας 25. Ομάδες μη-δομικών στοιχείων (NS)

EDP - DV function number	EDP - DV function name	Non-Structural Components		
11	NS_{idr}	IDR sensitive		
12	$NS_{pfa,01}$	PFA sensitive	Basement/ Ground floor	$A < 2000 \text{ m}^2$
13	$NS_{pfa,02}$			$2000 \text{ m}^2 < A < 5000 \text{ m}^2$
14	$NS_{pfa,03}$			$A > 5000 \text{ m}^2$
15	$NS_{pfa,11}$	Typical floor		
17	$NS_{pfa,21}$	Roof	Story area dependent	
18	$NS_{pfa,22}$		Building area dependent	

Πίνακας 26. Ομάδες περιεχομένων (C)

EDP - DV function number	EDP - DV function name	Contents
18	C_l	Low value
19	C_m	Medium value
20	C_h	High value



Εικόνα 7. Συναρτήσεις σεισμικών απωλειών ανά όροφο

Πίνακας 27. Περιεχόμενα στοιχεία κάθε ομάδας στοιχείων

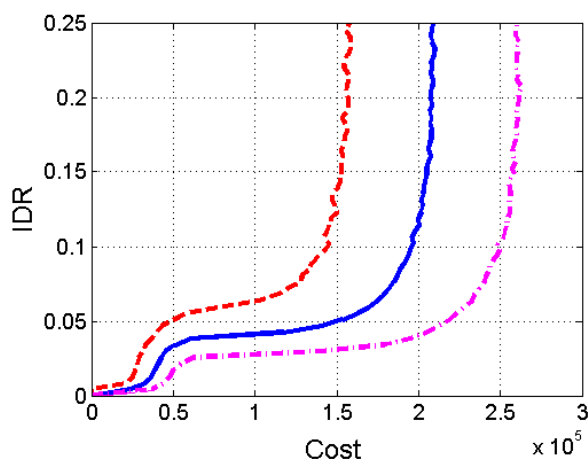
NS _{pfa,01}	NS _{pfa,03}	NS _{pfa,11}	NS _{pfa,21}	NS _{pfa,22}	S ₀
D1014.021	D1014.021	C3032.001a	C3032.001a	D3031.013e	B1031.011a
D5092.011a	D5092.011a	C3032.001b	C3032.001b	D3052.011d	C
D5092.021a	D5092.021a	C3032.001c	C3032.001c	SX	E2022.001
D5012.031a	D5012.031a	D2021.011a	D2021.011a	B1033.013a	E2022.023
D5011.013e	D5011.013h	D2022.011a	D2022.011a	B1031.001	E2022.023
D5012.021a	D5012.021c	D2022.021a	D2022.021a	B1031.021a	E2022.023
D5092.033b	D5092.033b	D2031.011b	D2031.011b	SC	E2022.102a
NS _{pfa,02}	N _{sidr}	D3041.001a	D3041.001a	B1033.011a	E2022.103a
D1014.021	B2011.011a	D3041.011a	D3041.011a	B1031.001	E2022.104a
D5092.011a	C1011.001a	D3041.012a	D3041.012a	B1031.021a	E2022.105a
D5092.021a	C2011.001b	D3041.031a	D3041.031a	SM	E2022.106a
D5012.031a		D3041.041a	D3041.041a	B1035.011	E2022.112a
D5011.013h		D4011.021a	D4011.021a	B1031.001	E2022.114a
D5012.021b		D4011.031a	D4011.031a	B1031.021a	E2022.124a
D5092.033b		D5012.031a			E2022.112a

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι συναρτήσεις απωλειών που υπολογίστηκαν για κάθε ομάδα. Όλες οι συναρτήσεις απωλειών είναι κανονικοποιημένες σε 100 m² επιφάνειας και πριν χρησιμοποιηθούν πρέπει να αναχθούν στην κατάλληλη επιφάνεια, όπως περιγράφεται σε επόμενη ενότητα. Να τονιστεί ότι οι ομάδες NS_{pfa,01}, NS_{pfa,02}, NS_{pfa,03}, NS_{pfa,22} πρέπει να αναχθούν στην επιφάνεια του κτιρίου, καθώς περιλαμβάνουν τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό που εξαρτάται από την συνολική επιφάνεια του κτιρίου. Οι υπόλοιπες ομάδες αναγόνται στην επιφάνεια του εκάστοτε ορόφου.

4.3 Καμπύλες EDP - DV

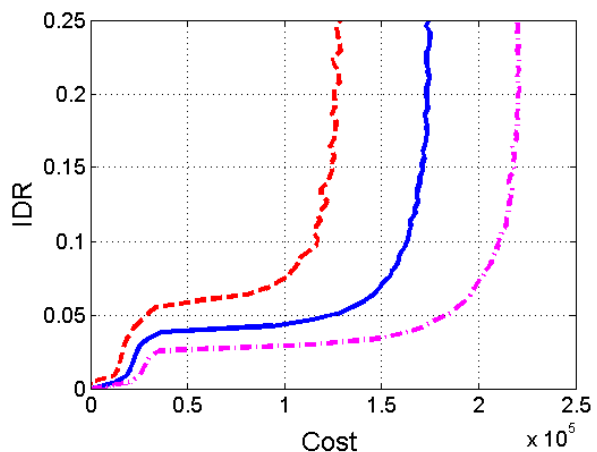
Πίνακας 28. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών δομικών στοιχείων για κτίρια $A < 750 \text{ m}^2$ με χιαστί εγκάρσιους συνδέσμους

IDR	Cost (€)			IDR	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.000	0.0	0.0	0.0	0.169	15473.5	20741.9	25919.2
0.004	0.0	2369.5	3778.8	0.174	15499.1	20788.0	26037.2
0.008	2171.8	3307.5	4471.3	0.178	15647.3	20785.1	25935.4
0.013	2550.8	3679.6	4774.0	0.182	15597.6	20720.0	26004.5
0.017	2698.1	3855.9	5019.5	0.186	15334.9	20811.2	26065.0
0.021	2828.1	4112.1	5481.4	0.191	15658.9	20727.7	26025.7
0.025	2913.8	4256.1	6230.9	0.195	15710.8	20854.5	26085.0
0.030	3143.9	4555.3	13973.7	0.199	15719.8	20773.8	26166.6
0.034	3320.7	5094.0	17906.6	0.203	15547.9	20755.6	26122.7
0.038	3663.1	6071.1	19478.4	0.208	15643.5	20864.2	26307.6
0.042	3961.8	11733.0	20494.5	0.212	15715.9	20910.7	26035.4
0.047	4312.3	14098.6	21263.0	0.216	15729.7	20775.8	26115.0
0.051	5019.3	15367.4	21902.4	0.220	15465.0	20846.6	25927.5
0.055	5771.5	16312.5	22359.7	0.225	15453.4	20809.1	26016.6
0.059	7733.9	16984.5	22847.6	0.229	15695.0	20986.1	26036.3
0.064	10261.6	17494.2	23331.2	0.233	15858.9	21005.2	26049.5
0.068	11462.9	17901.5	23443.8	0.237	15845.9	20858.5	26142.4
0.072	12013.8	18191.2	23735.7	0.242	15807.4	20776.2	25969.7
0.076	12856.7	18498.9	24069.9	0.246	15516.6	20844.9	25940.0
0.081	12879.7	18715.4	24126.2	0.250	15847.0	20903.9	26019.7
0.085	13338.1	18855.7	24383.2	SX1	X - Braces, $A < 750 \text{ m}^2$		
0.089	13488.6	19152.2	24415.6				
0.093	13865.5	19348.4	24746.6				
0.097	14282.8	19501.6	24985.5				
0.102	14571.3	19666.3	24858.4				
0.106	14190.9	19606.8	25211.6				
0.110	14432.7	19767.3	25301.4				
0.114	14564.1	20064.0	25396.3				
0.119	14627.1	20006.4	25429.7				
0.123	15008.0	20160.2	25585.2				
0.127	14925.2	20256.4	25597.9				
0.131	14725.6	20216.3	25581.8				
0.136	14743.4	20324.7	25622.5				
0.140	15111.1	20349.2	25618.3				
0.144	15218.5	20427.2	25497.9				
0.148	15298.9	20535.5	25878.8				
0.153	15329.4	20527.3	25748.4				
0.157	15291.3	20651.1	25926.0				
0.161	15381.4	20779.7	25799.3				
0.165	15286.7	20628.0	25792.3				



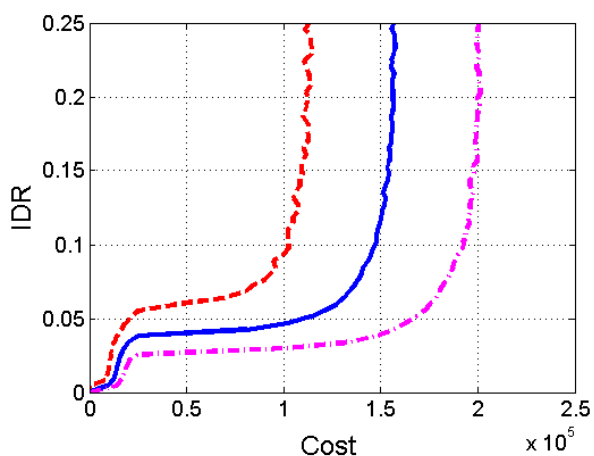
Πίνακας 29. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών δομικών στοιχείων για κτίρια $750 \text{ m}^2 < A < 1500 \text{ m}^2$ με χιαστί εγκάρσιους συνδέσμους

IDR	Cost (€)			IDR	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.000	0.0	0.0	0.0	0.169	12581.0	17295.6	21991.3
0.004	0.0	1326.9	2116.1	0.174	12621.7	17363.3	21950.2
0.008	1216.2	1852.2	2503.9	0.178	12627.5	17327.2	22018.5
0.013	1428.4	2060.6	2673.4	0.182	12660.5	17271.3	22025.0
0.017	1510.9	2159.3	2872.7	0.186	12423.7	17220.2	21989.4
0.021	1583.7	2302.8	3069.6	0.191	12589.4	17389.9	22068.1
0.025	1654.3	2413.8	3550.9	0.195	12610.3	17357.7	22007.1
0.030	1760.6	2608.2	11461.5	0.199	12566.9	17340.7	22037.0
0.034	1873.4	2943.9	14972.3	0.203	12581.5	17344.9	22136.9
0.038	2123.6	3679.5	16344.2	0.208	12832.8	17389.2	22030.3
0.042	2313.8	9371.5	17214.8	0.212	12812.4	17436.8	22005.5
0.047	2651.4	11459.0	17806.3	0.216	12773.6	17397.0	22071.9
0.051	2983.8	12725.3	18508.0	0.220	12549.9	17339.2	22013.6
0.055	3367.1	13482.1	18908.6	0.225	12481.0	17304.5	22066.6
0.059	5397.8	14106.4	19318.1	0.229	12906.7	17345.0	22019.8
0.064	8052.5	14560.6	19573.2	0.233	12873.0	17472.5	22065.0
0.068	9053.0	14891.9	19773.2	0.237	12777.4	17475.3	22031.8
0.072	9642.7	15087.4	19952.7	0.242	12733.7	17509.8	22000.4
0.076	10210.4	15473.4	20198.8	0.246	12675.4	17329.1	22044.7
0.081	10433.5	15577.8	20373.8	0.250	12869.7	17423.9	22011.0
0.085	10715.5	15832.4	20669.5	SX2	X- Braced, $750 \text{ m}^2 < A < 1500 \text{ m}^2$		
0.089	10820.6	15907.0	20692.4				
0.093	11279.6	16039.6	20893.7				
0.097	11656.5	16271.4	21008.1				
0.102	11738.7	16363.6	21073.3				
0.106	11505.0	16434.0	21189.3				
0.110	11631.0	16502.8	21426.0				
0.114	11878.7	16490.4	21447.3				
0.119	11703.2	16736.1	21530.5				
0.123	12025.9	16719.3	21560.4				
0.127	12205.2	16918.6	21585.8				
0.131	11891.8	16832.9	21646.4				
0.136	11912.6	16865.7	21745.3				
0.140	12234.9	16979.5	21570.8				
0.144	12328.5	16984.0	21629.1				
0.148	12478.5	17116.7	21908.0				
0.153	12387.8	17095.9	21754.1				
0.157	12590.6	17222.5	21856.0				
0.161	12503.7	17154.3	21817.9				
0.165	12373.5	17259.2	21754.7				



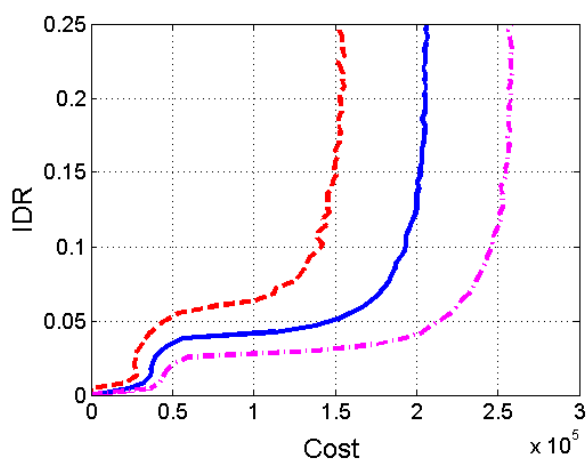
Πίνακας 30. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών δομικών στοιχείων για κτίρια $A > 1500 \text{ m}^2$ με χιαστί εγκάρσιους συνδέσμους

IDR	Cost (€)			IDR	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.000	0.0	0.0	0.0	0.169	112729.6	155522.3	198843.8
0.004	0.0	8767.3	13981.4	0.174	112839.4	155408.7	199471.7
0.008	8035.5	12237.9	16543.9	0.178	112057.4	156002.4	198781.4
0.013	9437.9	13614.4	17663.7	0.182	112614.7	156063.0	199743.3
0.017	9983.1	14267.0	18980.0	0.186	110292.3	155423.4	199849.8
0.021	10464.0	15214.8	20494.3	0.191	111354.2	156309.3	200179.8
0.025	10929.9	16151.6	24966.0	0.195	112054.9	156750.6	201267.1
0.030	11632.6	17529.3	102185.1	0.199	112973.2	156318.4	200151.4
0.034	12714.1	20265.1	134608.7	0.203	111781.6	156127.9	201384.5
0.038	14188.5	25122.1	148244.2	0.208	113999.7	156122.7	201364.9
0.042	16458.3	80959.8	155928.6	0.212	113371.5	156189.7	200698.6
0.047	18455.1	102285.3	162633.4	0.216	113107.2	157186.9	200831.4
0.051	21490.7	113904.8	167982.1	0.220	112083.0	155264.2	199594.8
0.055	25216.0	120858.9	172294.1	0.225	110668.7	155864.0	200022.2
0.059	43454.8	127256.6	175174.9	0.229	114332.1	156740.5	201279.4
0.064	68848.7	130770.3	178732.3	0.233	114492.6	157422.6	199898.2
0.068	80279.6	133665.3	179915.8	0.237	114067.3	157524.2	199647.7
0.072	83617.0	136212.5	181727.9	0.242	114052.8	157238.3	199884.3
0.076	90309.5	138298.4	183975.2	0.246	110799.8	155825.6	200220.3
0.081	93295.9	140187.2	185579.7	0.250	113436.3	156956.4	200417.9
0.085	95866.4	141073.2	187340.1	SX3	X- Braced, $A > 1500 \text{ m}^2$		
0.089	94828.2	143671.9	188421.3				
0.093	99913.7	144911.8	189932.4				
0.097	102740.3	146275.9	192080.8				
0.102	102280.2	148037.7	192561.8				
0.106	102260.5	147931.9	193827.4				
0.110	102314.7	148521.6	193990.3				
0.114	104959.1	149805.2	195665.0				
0.119	104865.3	150214.6	195145.3				
0.123	107744.9	150996.2	196311.6				
0.127	107606.2	151999.6	196036.0				
0.131	105195.0	152497.7	196915.5				
0.136	106275.8	151627.3	197681.9				
0.140	108607.3	152495.6	196100.4				
0.144	108467.6	153829.5	196198.8				
0.148	109707.9	154414.2	198324.0				
0.153	109377.1	153616.8	197351.3				
0.157	109950.4	154741.0	199767.5				
0.161	111745.7	155027.3	199928.0				
0.165	110241.8	154671.4	199503.1				



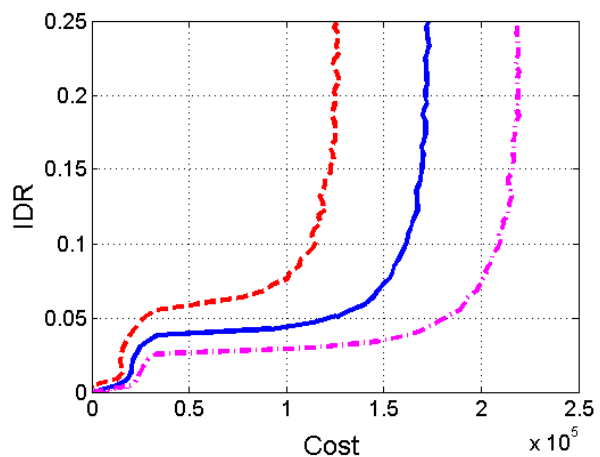
Πίνακας 31. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών δομικών στοιχείων για κτίρια $A < 750 \text{ m}^2$ με Λ εγκάρσιους συνδέσμους

IDR	Cost (€)			IDR	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.000	0.0	0.0	0.0	0.169	152639.0	204534.6	257060.7
0.004	0.0	23005.2	36687.0	0.174	152983.5	204830.0	255973.1
0.008	21957.4	32766.4	42162.6	0.178	153336.1	205161.3	257646.8
0.013	27804.7	36295.4	44419.1	0.182	152506.0	205671.7	256763.2
0.017	27140.7	36881.9	46859.4	0.186	152288.8	203598.2	256667.1
0.021	26562.6	38016.6	51103.0	0.191	153896.3	205331.4	257496.8
0.025	27282.4	39583.6	59417.0	0.195	153817.2	205399.2	257043.6
0.030	28417.8	43062.6	137674.2	0.199	153427.2	205379.0	257942.7
0.034	31266.6	48168.9	174882.7	0.203	152986.7	205183.1	258261.5
0.038	33434.9	56901.3	193016.2	0.208	155685.8	205997.7	257082.5
0.042	36772.2	113148.7	203736.2	0.212	154875.1	205092.2	257704.6
0.047	41074.9	138315.2	209512.5	0.216	155156.2	205452.8	258959.4
0.051	46807.1	151175.7	215885.7	0.220	154011.6	204493.3	258295.9
0.055	53672.5	159587.7	221410.9	0.225	151614.5	205400.6	257964.1
0.059	73592.1	167090.2	224904.9	0.229	155648.2	205476.9	257783.3
0.064	101039.9	172067.0	227762.2	0.233	154684.2	205330.7	259127.8
0.068	112119.7	176996.7	232006.6	0.237	154385.1	205877.7	258112.2
0.072	113699.4	179730.0	234196.6	0.242	154533.9	206787.6	257392.4
0.076	125250.8	182978.9	236116.6	0.246	152706.8	205833.6	256453.8
0.081	128229.5	184615.7	238388.9	0.250	153805.6	206293.5	258878.4
0.085	130951.6	186897.9	240524.0	SC1	Chevron- Braced, $A < 750 \text{ m}^2$		
0.089	132660.0	187410.3	242640.8				
0.093	134855.7	190506.7	243490.6				
0.097	139709.3	192880.7	245596.2				
0.102	142779.9	193530.0	246707.6				
0.106	139384.8	193529.4	247422.9				
0.110	139924.1	194775.9	248713.1				
0.114	144631.0	196544.8	250307.8				
0.119	142565.8	197791.5	252442.6				
0.123	146250.3	199693.2	250989.6				
0.127	145733.2	200134.4	253345.7				
0.131	145252.4	199988.8	253027.5				
0.136	145578.5	200315.8	252987.3				
0.140	147972.5	201687.4	252033.9				
0.144	148543.7	200517.6	253372.4				
0.148	151008.6	202441.9	255474.0				
0.153	149807.1	202475.7	254796.0				
0.157	150261.9	203585.6	256109.1				
0.161	151806.5	203523.3	256052.1				
0.165	150093.8	203462.2	256696.0				



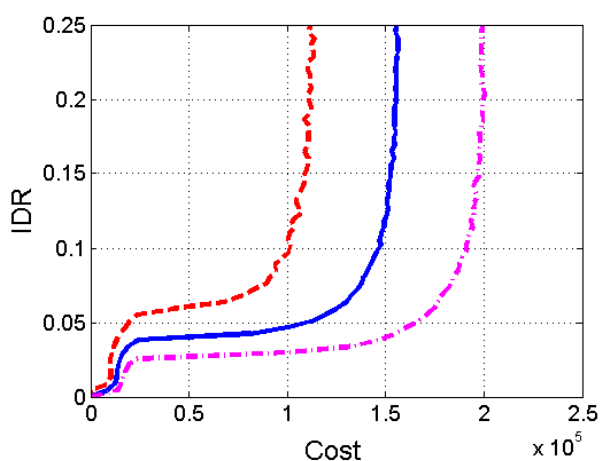
Πίνακας 32. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών δομικών στοιχείων για κτίρια $750 \text{ m}^2 < A < 1500 \text{ m}^2$ με Λ εγκάρσιους συνδέσμους

IDR	Cost (€)			IDR	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.000	0.0	0.0	0.0	0.169	125001.2	170632.7	216566.4
0.004	0.0	12882.9	20544.7	0.174	125349.1	171615.9	217364.0
0.008	12296.1	18349.2	23611.0	0.178	125145.8	171722.3	217159.4
0.013	15570.6	20325.4	24874.7	0.182	124878.4	171694.6	217769.7
0.017	15198.8	20653.9	26462.3	0.186	123288.1	170157.4	219463.0
0.021	14875.0	21289.3	28617.7	0.191	124327.5	170756.6	218269.9
0.025	15278.2	22642.8	33273.5	0.195	124762.2	172165.0	219094.5
0.030	16175.6	24436.3	114433.8	0.199	125222.1	171495.1	219021.8
0.034	17509.3	28052.2	146931.1	0.203	124464.9	171522.9	219191.7
0.038	19420.2	33642.6	162689.9	0.208	126472.2	172545.7	218610.8
0.042	22049.5	91711.4	170597.0	0.212	127034.5	172209.7	218975.9
0.047	24408.5	113723.3	177246.1	0.216	125602.9	172270.8	219998.0
0.051	27842.5	125760.0	182709.4	0.220	123916.1	171848.0	217341.4
0.055	32902.6	133436.2	188871.7	0.225	124395.7	171645.4	218477.0
0.059	54046.9	140530.4	191334.0	0.229	127279.6	172557.0	219285.4
0.064	76954.4	144302.4	193096.1	0.233	125874.1	173387.8	219161.7
0.068	88783.4	146711.9	197257.0	0.237	126355.3	172785.9	218940.6
0.072	92518.6	149355.7	199006.5	0.242	127113.7	172476.2	218316.8
0.076	100289.9	152806.7	201123.6	0.246	124602.9	172091.4	218723.1
0.081	101824.6	154551.5	202632.6	0.250	126249.0	173187.7	219055.4
0.085	106735.3	155319.8	203576.5	SC2	Chevron - Braced, $750 \text{ m}^2 < A < 1500 \text{ m}^2$		
0.089	107069.2	157515.0	205910.6				
0.093	110660.7	158870.5	205864.4				
0.097	113840.0	160800.9	209099.4				
0.102	115004.4	161898.3	209805.5				
0.106	112819.0	162798.2	209076.5				
0.110	114721.8	163904.1	210656.7				
0.114	118023.3	164562.5	211184.7				
0.119	116161.7	166148.0	213241.5				
0.123	119984.3	167490.7	213827.9				
0.127	119072.5	167397.0	214830.0				
0.131	117249.5	167195.0	215938.4				
0.136	118558.6	166772.6	215184.3				
0.140	119995.4	168112.0	214357.7				
0.144	120019.9	168665.0	213955.0				
0.148	122864.4	169478.3	216346.4				
0.153	122710.1	169935.0	216331.6				
0.157	124127.7	170050.1	216758.6				
0.161	123942.1	170453.0	216665.9				
0.165	122371.6	169665.8	216739.9				



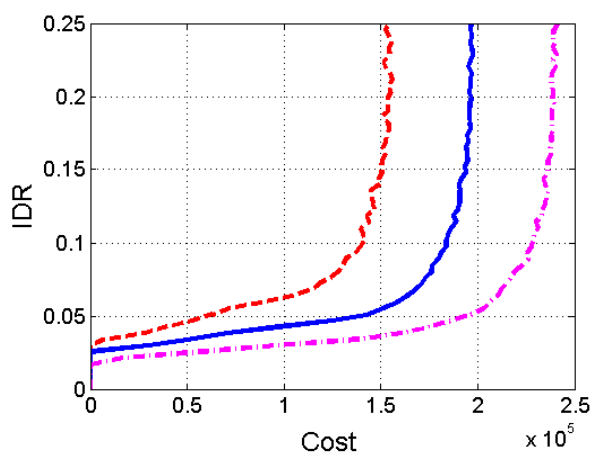
Πίνακας 33. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών δομικών στοιχείων για κτίρια $A > 1500 \text{ m}^2$ με Λ εγκάρσιους συνδέσμους

IDR	Cost (€)			IDR	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.000	0.0	0.0	0.0	0.169	110703.6	154598.6	198111.75
0.004	0.0	8511.9	13574.2	0.174	110686.1	154490.9	198181.41
0.008	8124.2	12123.6	15600.1	0.178	110906.1	155314.9	197952.49
0.013	10287.7	13429.3	16435.0	0.182	111523.1	154566.3	198939.75
0.017	10042.0	13690.0	17484.1	0.186	108420.7	154297.5	199475.14
0.021	10056.4	14226.9	19296.4	0.191	111387.4	154733.1	198935.28
0.025	10094.5	14960.4	23574.2	0.195	112393.7	154683.4	199474.32
0.030	10872.6	16522.0	101177.1	0.199	111018	155274.1	199245.55
0.034	11882.3	19289.1	133785.6	0.203	110433.4	155529.3	200627.17
0.038	13259.4	24269.3	146716.3	0.208	112433.7	155343.9	199976.76
0.042	15120.6	81203.9	154901.2	0.212	111850.9	155407	198728.3
0.047	17559.9	100339.2	160475.8	0.216	111845.7	155403.5	199218.51
0.051	19960.0	112897.7	167047.7	0.220	110461.7	155158.5	198515.87
0.055	23784.6	119651.3	170941.3	0.225	109993.3	155472.3	197895.47
0.059	42485.5	125219.0	174644.4	0.229	113558.2	155729.9	198718.57
0.064	68040.3	130128.2	176286.6	0.233	113037.6	156458.3	199128.93
0.068	77765.1	132455.2	178399.9	0.237	112128.5	156038.9	199091.64
0.072	82681.3	135356.6	181029.7	0.242	113723.4	156394.6	199102.38
0.076	89430.6	138041.6	183728.3	0.246	110748.5	155318.4	199017.34
0.081	91200.8	138902.3	184027.5	0.250	111900.3	155552.9	199475.49
0.085	94595.9	140690.3	187010.4	SC3	Chevron - Braced, $A > 1500 \text{ m}^2$		
0.089	93807.8	142316.3	187619.4				
0.093	97798.3	143707.1	188439.0				
0.097	100907.4	145240.8	191022.4				
0.102	101613.9	147555.2	191083.3				
0.106	100475.5	147171.6	191728.4				
0.110	101279.1	147771.5	193009.5				
0.114	104002.6	149320.9	194299.3				
0.119	102455.8	149398.7	193535.1				
0.123	106744.3	150848.4	195003.3				
0.127	106005.6	151328.7	194874.4				
0.131	104511.0	150623.8	195527.4				
0.136	105513.6	151225.0	196897.8				
0.140	107348.8	151772.5	193966.1				
0.144	108800.7	151831.4	195423.4				
0.148	108304.0	152736.6	197658.7				
0.153	109940.2	153008.5	197015.4				
0.157	110538.5	152940.7	197634.5				
0.161	110808.1	154550.9	198007.7				
0.165	108866.3	153304.5	197395.0				



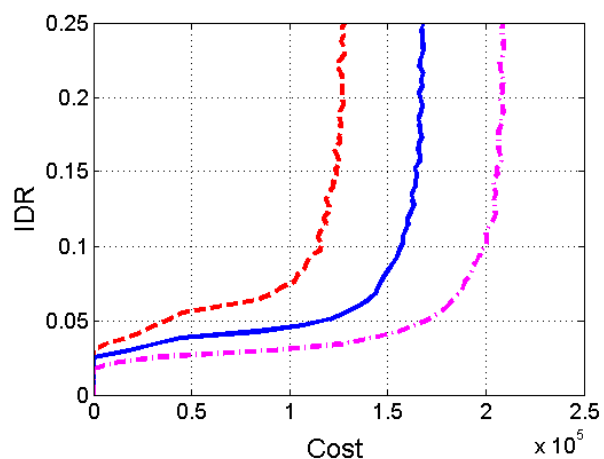
Πίνακας 34. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών δομικών στοιχείων για κτίρια $A < 750 \text{ m}^2$ με πλαίσια ροής

IDR	Cost (€)			IDR	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.000	0	0	0	0.169	152541.2	195408.1	238252.9
0.004	0.0	0.0	0.0	0.174	153202.9	194628.0	238181.9
0.008	0.0	0.0	0.0	0.178	154222.4	196323.4	238978.4
0.013	0.0	0.0	0.0	0.182	154177.7	195975.3	238521.6
0.017	0.0	0.0	0.0	0.186	150821.5	195404.0	238523.5
0.021	0.0	0.0	16987.2	0.191	153892.6	195875.0	238492.0
0.025	0.0	0.0	57813.6	0.195	153345.5	196168.6	239716.8
0.030	0.0	30365.5	96080.8	0.199	153826.2	196590.1	238778.6
0.034	6850.8	50332.2	138459.1	0.203	155177.1	195912.2	238959.4
0.038	28366.9	70938.7	160634.9	0.208	154394.5	196500.7	238432.3
0.042	39611.5	97223.6	175773.1	0.212	156045.4	196441.8	238151.3
0.047	52835.7	124987.8	186473.0	0.216	154751.9	196909.0	238426.0
0.051	63212.3	142809.3	196673.3	0.220	152401.4	195399.6	240652.6
0.055	71833.5	151120.4	203171.3	0.225	151656.8	196325.2	238442.0
0.059	88099.7	158244.5	206108.7	0.229	154682.6	197564.6	241071.7
0.064	104225.9	163613.5	210280.6	0.233	154458.2	197330.1	239090.0
0.068	114730.7	167886.0	211887.5	0.237	155623.8	196461.4	239741.3
0.072	118442.2	171004.9	214848.2	0.242	154370.8	197322.2	239018.6
0.076	124348.3	173393.9	217320.8	0.246	152556.4	196514.1	239414.6
0.081	128361.2	176370.6	219421.5	0.250	153963.2	196653.7	241284.4
0.085	130378.0	176414.9	223257.7	SM1	MRF A < 750 m ²		
0.089	131978.2	179743.3	226502.0				
0.093	137125.4	181232.6	225566.4				
0.097	139412.3	183949.5	228026.5				
0.102	141709.8	183855.3	228672.5				
0.106	140913.8	184460.8	229505.5				
0.110	139826.6	186383.6	231043.1				
0.114	143798.1	189118.4	230407.7				
0.119	142987.7	187476.6	233211.0				
0.123	146775.9	190040.3	233898.6				
0.127	146010.5	190948.8	234974.1				
0.131	145403.3	190644.8	235602.2				
0.136	144883.0	190799.8	236337.9				
0.140	149078.8	190235.5	235264.2				
0.144	149142.5	191815.7	234192.9				
0.148	150617.5	194113.2	236440.3				
0.153	150551.1	193414.9	236311.9				
0.157	150871.1	194959.7	236531.6				
0.161	152345.0	194563.1	237839.7				
0.165	151502.1	194382.1	237530.7				



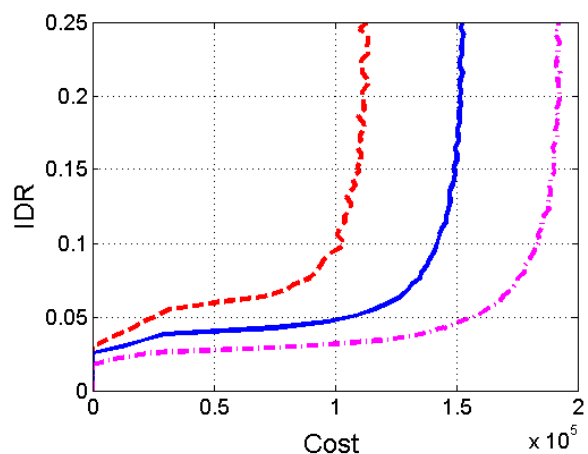
Πίνακας 35. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών δομικών στοιχείων για κτίρια $750 \text{ m}^2 < A < 1500 \text{ m}^2$ με πλαίσια ροής

IDR	Cost (€)			IDR	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.000	0.0	0.0	0.0	0.169	125632.5	166089.4	206716.0
0.004	0.0	0.0	0.0	0.174	125437.2	167487.8	206293.6
0.008	0.0	0.0	0.0	0.178	126234.9	166627.5	206720.7
0.013	0.0	0.0	0.0	0.182	126043.0	166464.2	208167.6
0.017	0.0	0.0	0.0	0.186	125568.1	165740.6	207655.3
0.021	0.0	0.0	9827.0	0.191	125619.1	167183.9	209033.6
0.025	0.0	0.0	34036.1	0.195	127432.5	167718.4	208698.3
0.030	0.0	18215.9	90529.0	0.199	127090.7	167032.9	207113.4
0.034	5721.5	30943.2	125652.2	0.203	126529.4	166101.7	208608.5
0.038	16861.9	44434.0	142320.8	0.208	127027.3	167631.8	208486.4
0.042	24642.9	83179.2	154806.8	0.212	127009.9	167228.7	208878.2
0.047	31747.5	106912.6	163563.5	0.216	126563.6	168040.5	208047.8
0.051	38712.5	120457.2	171004.1	0.220	124459.7	166400.5	207641.4
0.055	45685.9	128737.5	176595.8	0.225	125149.3	166741.7	207278.2
0.059	62883.7	134399.0	180370.7	0.229	128052.7	167567.6	208572.8
0.064	82912.7	139998.1	182927.6	0.233	128034.6	168205.5	209173.6
0.068	91355.0	143548.0	186241.7	0.237	126460.7	167940.5	208909.7
0.072	95699.1	145022.5	188646.1	0.242	127505.5	167835.4	208398.6
0.076	102571.6	146865.2	189445.2	0.246	126375.1	167415.9	208379.7
0.081	104087.7	148530.7	192258.6	0.250	128020.7	168219.4	208633.7
0.085	107851.7	150891.6	192910.2	SM2	MRF, 750 m ² <A < 1500 m ²		
0.089	108694.9	152979.1	194895.4				
0.093	110531.6	155280.9	196623.9				
0.097	115824.6	156150.2	197955.5				
0.102	116430.7	157501.3	200377.4				
0.106	114290.5	157995.0	200590.7				
0.110	115926.4	158723.3	200197.0				
0.114	119042.6	160349.2	202305.9				
0.119	117328.0	160288.2	204284.0				
0.123	120006.2	162081.1	204875.4				
0.127	120097.4	163311.4	204624.7				
0.131	118621.1	162917.8	204419.7				
0.136	120006.5	162219.3	205456.0				
0.140	122241.4	163863.2	204605.4				
0.144	122395.5	164363.0	203887.9				
0.148	123910.8	165131.1	205958.6				
0.153	123763.5	164090.7	205726.3				
0.157	125459.6	166364.6	207935.2				
0.161	124456.7	166538.3	207414.0				
0.165	122870.5	165655.5	206760.3				



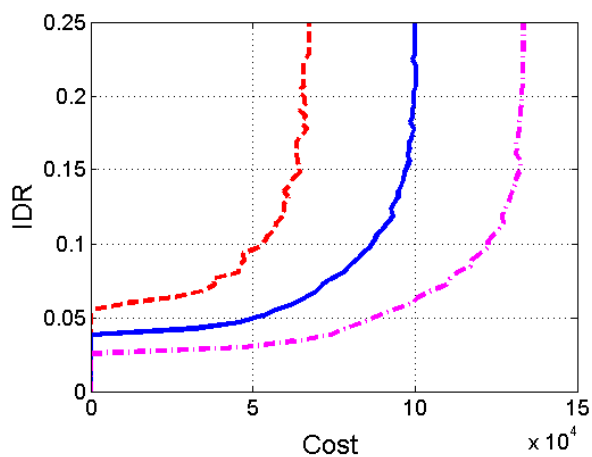
Πίνακας 36. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών δομικών στοιχείων για κτίρια $A > 1500 \text{ m}^2$ με πλαίσια ροπής

IDR	Cost (€)			IDR	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.000	0.0	0.0	0.0	0.169	110665.8	151058.4	191213.0
0.004	0.0	0.0	0.0	0.174	110373.8	150784.8	191763.1
0.008	0.0	0.0	0.0	0.178	112202.9	150590.2	191063.1
0.013	0.0	0.0	0.0	0.182	111820.9	151524.4	191490.2
0.017	0.0	0.0	0.0	0.186	109437.3	151264.5	192098.6
0.021	0.0	0.0	8792.6	0.191	112066.1	151313.2	191217.7
0.025	0.0	0.0	22970.9	0.195	111850.6	151787.5	192102.3
0.030	0.0	11976.0	84735.3	0.199	111777.5	151619.8	192809.5
0.034	5119.3	20817.4	119079.1	0.203	111449.7	152155.3	192628.7
0.038	10748.5	29451.7	135684.2	0.208	113438.6	151490.6	192179.1
0.042	16538.0	74825.5	144886.8	0.212	113210.2	151812.8	191935.4
0.047	20914.4	96994.1	151559.9	0.216	111406.9	152919.9	192907.2
0.051	26559.9	108918.7	158904.4	0.220	111302.2	151464.4	191192.0
0.055	31983.5	116206.4	162678.3	0.225	110888.0	151519.2	191395.4
0.059	49227.9	121811.8	167421.5	0.229	113637.0	152567.8	192038.8
0.064	70460.2	127009.8	169169.6	0.233	113297.7	152278.2	192271.0
0.068	79753.2	129684.9	172289.9	0.237	113739.4	152464.0	192544.1
0.072	83208.6	131551.8	174396.8	0.242	113557.7	153132.0	191050.6
0.076	89545.8	135175.3	175287.6	0.246	110200.4	151934.9	191772.4
0.081	92291.7	135641.5	178168.3	0.250	113570.5	152582.7	192266.2
0.085	94026.8	137926.6	178103.2	SM3	MRF, $A > 1500 \text{ m}^2$		
0.089	95609.4	138931.8	179906.9				
0.093	98298.8	140554.5	181738.8				
0.097	102447.1	141765.4	182931.1				
0.102	103137.6	142507.3	184702.1				
0.106	100836.3	143408.7	183515.3				
0.110	101951.1	144073.5	185155.6				
0.114	104047.7	145898.9	185310.1				
0.119	104017.2	145986.3	186193.4				
0.123	106308.2	146750.5	188241.3				
0.127	106897.3	147510.0	188011.4				
0.131	104745.5	147305.4	188676.2				
0.136	106662.0	147397.0	188797.7				
0.140	108648.1	148425.7	188522.2				
0.144	107148.9	148869.5	188839.7				
0.148	109810.7	149314.3	190600.7				
0.153	109528.6	149246.0	189980.0				
0.157	110743.0	150336.0	190374.9				
0.161	110771.9	150404.3	190606.0				
0.165	109072.5	149727.2	189734.1				



Πίνακας 37. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών πλακών έδρασης υποστυλωμάτων

IDR	Cost (€)			IDR	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.000	0	0	0	0.169	63763.1	98473.7	131408.8
0.004	0.0	0.0	0.0	0.174	65021.3	99174.1	131778.3
0.008	0.0	0.0	0.0	0.178	66885.6	99852.4	132140.0
0.013	0.0	0.0	0.0	0.182	64685.4	98536.5	132140.0
0.017	0.0	0.0	0.0	0.186	66545.0	99214.6	132494.2
0.021	0.0	0.0	0.0	0.191	64356.3	99214.6	132494.2
0.025	0.0	0.0	0.0	0.195	66211.2	99872.1	132841.1
0.030	0.0	0.0	47083.3	0.199	66211.2	99872.1	132841.1
0.034	0.0	0.0	62645.1	0.203	64033.8	99872.1	132841.1
0.038	0.0	0.0	74053.7	0.208	65884.2	100510.0	133181.1
0.042	0.0	32125.5	78201.7	0.212	65884.2	100510.0	133181.1
0.047	0.0	46073.5	84193.9	0.216	65884.2	100510.0	133181.1
0.051	0.0	52914.8	88030.8	0.220	65884.2	100510.0	133181.1
0.055	0.0	57086.1	93253.5	0.225	65884.2	99252.8	133181.1
0.059	10155.8	62355.6	99063.8	0.229	67588.7	99890.6	133514.3
0.064	25581.3	66275.4	100862.3	0.233	67588.7	99890.6	133514.3
0.068	34379.6	69554.8	104678.3	0.237	67588.7	99890.6	133514.3
0.072	38049.5	71470.1	109781.7	0.242	67588.7	99890.6	133514.3
0.076	37737.9	74233.3	110717.2	0.246	67588.7	99890.6	133514.3
0.081	45761.0	77879.9	112995.8	0.250	67588.7	99890.6	133514.3
0.085	45761.0	79789.6	117180.8	S0	Base Plates		
0.089	47465.9	81904.3	117717.5				
0.093	47083.3	83752.3	120053.4				
0.097	51821.7	86002.5	122710.4				
0.102	53744.6	87412.6	122501.5				
0.106	54911.5	88193.6	124210.6				
0.110	56794.3	90179.0	126143.8				
0.114	57393.6	91504.3	127325.6				
0.119	59227.5	93275.0	127015.4				
0.123	59745.2	92828.1	127515.2				
0.127	59745.2	93509.2	128510.1				
0.131	61002.3	94839.8	129451.6				
0.136	59745.2	94830.7	129903.9				
0.140	61487.2	95917.4	130774.6				
0.144	62454.5	96398.5	131194.0				
0.148	64375.5	96881.5	132003.2				
0.153	64015.1	97657.6	132393.8				
0.157	63662.6	98406.9	132722.9				
0.161	63317.7	97749.9	131031.1				
0.165	63763.1	98473.7	131408.8				

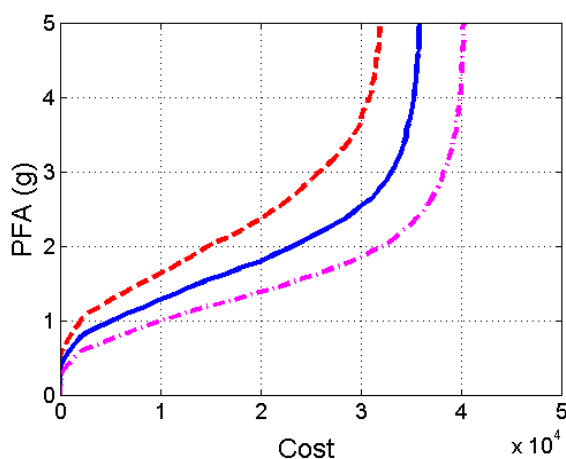


Πίνακας 38. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών μη δομικών στοιχείων τυπικού ορόφου με κρίσιμο μέτρο απόκρισης την ανηγμένη σχετική μετακίνηση ορόφου

IDR	Cost (€)			IDR	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.0000	0.0	0.0	0.0	0.0339	43313.9	48964.9	65135.2
0.0008	0.0	0.0	0.0	0.0347	43489.4	49094.9	64650.8
0.0017	0.0	0.0	2937.9	0.0356	43658.6	49007.8	65137.8
0.0025	0.0	1790.2	3594.1	0.0364	43654.5	49078.9	65137.8
0.0034	17.9	2443.9	4008.1	0.0373	43738.1	49206.8	65034.2
0.0042	932.7	2809.7	4524.3	0.0381	43838.1	49339.1	65285.0
0.0051	1482.7	3152.8	5305.4	0.0390	43890.8	49396.1	65545.9
0.0059	1779.6	3563.1	6002.0	0.0398	43923.7	49468.0	65324.1
0.0068	2058.6	4086.0	7100.0	0.0407	43942.6	49473.4	65749.9
0.0076	2372.9	4715.4	8693.8	0.0415	44042.4	49519.3	65705.8
0.0085	2715.8	5262.0	10455.2	0.0424	44135.0	49586.3	65627.3
0.0093	3136.3	5825.4	19287.2	0.0432	44272.1	49620.2	65575.3
0.0102	3688.5	6574.8	23521.8	0.0441	44158.2	49592.5	65968.5
0.0110	4307.9	7665.8	28586.9	0.0449	44258.0	49778.8	66100.8
0.0119	4879.5	8663.2	31579.5	0.0458	44279.7	49795.1	65934.4
0.0127	5412.3	10350.0	35350.7	0.0466	44368.5	49755.1	65899.4
0.0136	6182.6	24722.3	41004.5	0.0475	44495.9	49772.0	65643.3
0.0144	7041.2	28406.7	43996.4	0.0483	44572.2	49852.3	65612.7
0.0153	7913.5	30358.0	46601.6	0.0492	44409.2	49797.9	65990.6
0.0161	8985.3	32894.9	48820.0	0.0500	44482.3	49866.0	66303.9
0.0169	12108.7	36148.5	50443.3	Nsidr	IDR sensitive NS components, typical floor		
0.0178	25923.3	39977.1	51943.2				
0.0186	28092.7	42094.4	53491.3				
0.0195	29850.5	43503.2	54468.0				
0.0203	31223.0	44371.4	55750.1				
0.0212	33302.0	45210.6	57461.1				
0.0220	35718.1	45596.7	57724.9				
0.0229	38192.5	46244.2	59615.4				
0.0237	39592.6	46557.8	59812.7				
0.0246	40346.0	47057.5	61605.5				
0.0254	40919.2	47179.4	62002.8				
0.0263	41405.9	47559.9	62462.4				
0.0271	41825.1	47713.2	62752.0				
0.0280	42157.3	48072.0	63043.3				
0.0288	42405.6	48035.1	63636.2				
0.0297	42590.6	48225.1	63872.4				
0.0305	42667.4	48395.0	64023.2				
0.0314	43029.6	48612.9	63755.9				
0.0322	43042.6	48717.5	64260.3				
0.0331	43285.7	48776.2	64681.7				

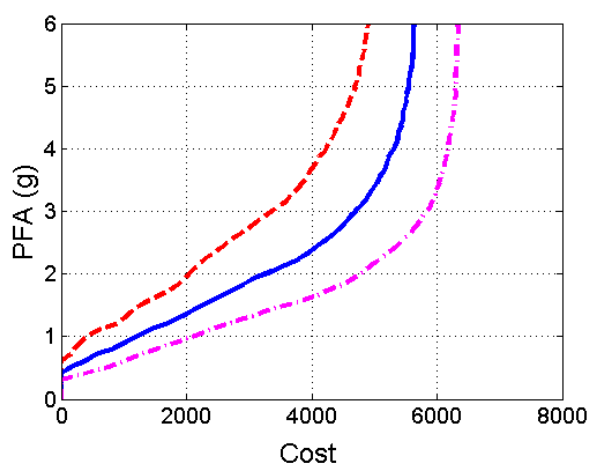
Πίνακας 39. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών μη δομικών στοιχείων τυπικού ορόφου με κρίσιμο μέτρο απόκρισης την μέγιστη επιτάχυνση ορόφου

PFA (g)	Cost (€)			PFA (g)	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.00	0.0	0.0	0.0	3.39	28776.4	34337.9	39145.2
0.08	0.0	0.0	0.0	3.47	29199.3	34574.0	39313.2
0.17	0.0	0.0	0.0	3.56	29628.0	34542.8	39570.0
0.25	0.0	0.0	76.3	3.64	30032.8	34807.5	39461.9
0.34	0.0	34.8	411.3	3.73	30106.1	34993.1	39616.6
0.42	2.1	143.0	917.4	3.81	30270.5	35111.8	39733.2
0.51	72.7	563.1	1510.4	3.90	30707.5	35192.4	39818.3
0.59	204.5	971.1	2126.8	3.98	30761.3	35315.4	39947.4
0.68	545.9	1471.3	3643.5	4.07	31099.4	35353.6	39946.2
0.76	881.1	1969.6	5359.5	4.15	31080.0	35440.3	40037.9
0.85	1319.7	2775.9	6992.9	4.24	31333.0	35547.4	39955.7
0.93	1744.5	4226.8	8787.2	4.32	31383.7	35574.8	40114.6
1.02	2173.5	5472.4	10733.2	4.41	31517.3	35609.7	40079.0
1.10	2834.9	6893.9	12617.9	4.49	31562.2	35675.2	40145.1
1.19	4038.7	8483.0	14858.1	4.58	31577.1	35705.3	40187.8
1.27	5033.6	9883.6	17399.4	4.66	31803.3	35837.5	40201.1
1.36	6162.2	11376.2	19573.4	4.75	31839.0	35782.2	40287.9
1.44	7298.7	12861.2	21719.8	4.83	31840.4	35858.2	40260.9
1.53	8470.7	14504.5	23432.3	4.92	31930.5	35858.2	40181.6
1.61	9794.0	16354.4	25505.5	5.00	31979.1	35884.4	40354.8
1.69	10940.6	17964.1	27135.9	NSpfa,11	PFA sensitive NS components, typical floor		
1.78	12038.8	19766.3	28880.7				
1.86	13217.5	21075.2	30235.8				
1.95	14244.1	22577.2	31362.7				
2.03	15226.4	23780.5	32734.3				
2.12	16842.8	24982.4	33518.2				
2.20	17988.7	26193.6	34223.7				
2.29	18988.7	27384.6	35030.6				
2.37	20196.8	28532.2	35542.2				
2.46	21007.9	29331.7	36226.7				
2.54	22043.5	30107.9	36575.4				
2.63	22822.8	30995.4	37081.1				
2.71	23663.4	31596.2	37327.2				
2.80	24261.5	31998.0	37797.4				
2.88	25042.5	32600.9	38049.2				
2.97	25601.6	32896.9	38208.1				
3.05	26465.3	33322.2	38390.7				
3.14	27018.1	33570.3	38710.3				
3.22	27665.7	33933.2	38873.5				
3.31	28186.6	34178.0	39118.8				



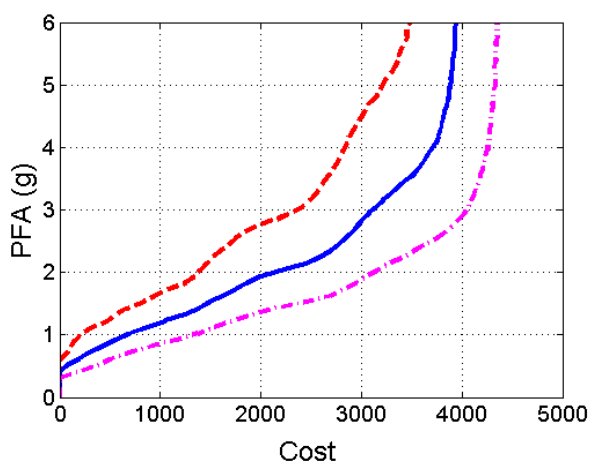
Πίνακας 40. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών μη δομικών στοιχείων ισογείου/υπογείου για επιφάνεια κτιρίου A < 2000 m²

PFA (g)	Cost (€)		PFA (g)	Cost (€)		
	50%	84%		16%	50%	84%
0.00	0.0	0.0	4.07	4266.5	5340.9	6191.1
0.10	0.0	0.0	4.17	4323.0	5382.0	6199.4
0.20	0.0	0.0	4.27	4379.0	5385.7	6225.4
0.31	0.0	0.0	4.37	4415.4	5433.7	6227.4
0.41	0.0	384.9	4.47	4480.4	5461.8	6245.5
0.51	155.6	752.2	4.58	4523.9	5463.6	6268.2
0.61	379.8	1001.7	4.68	4583.8	5489.1	6278.2
0.71	561.6	1266.4	4.78	4615.9	5507.4	6283.6
0.81	841.3	1552.3	4.88	4649.7	5528.7	6301.5
0.92	1057.6	1872.6	4.98	4697.5	5539.6	6283.9
1.02	1233.7	2142.4	5.08	4725.2	5556.5	6301.5
1.12	1444.6	2416.2	5.19	4762.3	5569.5	6300.5
1.22	1715.6	2740.9	5.29	4764.7	5596.6	6313.3
1.32	1939.8	3050.2	5.39	4795.3	5608.5	6325.0
1.42	2107.1	3363.0	5.49	4821.7	5621.5	6321.3
1.53	2304.2	3696.8	5.59	4846.1	5628.6	6319.4
1.63	2516.0	4033.1	5.69	4855.6	5626.8	6320.0
1.73	2733.8	4245.7	5.80	4875.0	5639.2	6345.3
1.83	2914.4	4501.0	5.90	4883.1	5629.3	6344.7
1.93	3083.5	4678.1	6.00	4905.4	5641.0	6333.4
2.03	3359.1	4832.8	NSpfa,01	NS components, ground floor, A < 2000 m2		
2.14	3577.6	4953.5				
2.24	3797.0	5106.1				
2.34	3962.1	5223.1				
2.44	4093.6	5355.1				
2.54	4231.7	5452.9				
2.64	4364.9	5579.7				
2.75	4467.7	5651.8				
2.85	4563.5	5739.1				
2.95	4650.7	5800.9				
3.05	4741.7	5880.4				
3.15	4846.9	5918.2				
3.25	4905.2	5974.6				
3.36	4974.1	5999.5				
3.46	5046.7	6044.0				
3.56	5091.6	6075.0				
3.66	5170.7	6108.5				
3.76	5205.4	6123.9				
3.86	5228.3	6148.9				
3.97	5291.4	6175.6				



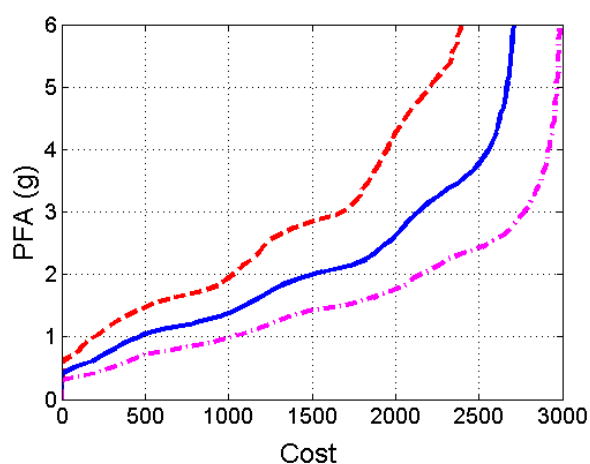
Πίνακας 41. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών μη δομικών στοιχείων ισογείου/υπογείου για επιφάνεια κτιρίου $2000 \text{ m}^2 < A < 5000 \text{ m}^2$

PFA (g)	Cost (€)			PFA (g)	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.00	0.0	0.0	0.0	4.07	2856.4	3742.7	4262.0
0.10	0.0	0.0	0.0	4.17	2878.1	3766.9	4270.7
0.20	0.0	0.0	0.0	4.27	2915.1	3785.6	4278.6
0.31	0.0	0.0	0.0	4.37	2957.3	3801.6	4289.6
0.41	0.0	0.0	187.2	4.47	2996.3	3816.6	4287.9
0.51	0.0	77.5	381.2	4.58	3033.4	3828.2	4297.5
0.61	4.2	190.4	503.0	4.68	3060.8	3852.8	4308.4
0.71	74.8	288.0	694.7	4.78	3121.5	3868.8	4311.8
0.81	115.1	421.3	916.2	4.88	3178.8	3872.8	4314.1
0.92	156.0	554.6	1158.9	4.98	3206.0	3880.7	4327.2
1.02	215.4	687.2	1375.0	5.08	3242.8	3892.3	4336.9
1.12	326.0	872.9	1532.0	5.19	3296.0	3894.5	4335.6
1.22	475.5	1044.0	1731.9	5.29	3326.9	3907.7	4325.0
1.32	562.8	1250.0	1927.1	5.39	3360.7	3908.7	4340.0
1.42	667.0	1386.1	2149.3	5.49	3380.1	3919.9	4335.9
1.53	838.0	1491.3	2453.0	5.59	3402.8	3930.4	4347.4
1.63	946.4	1628.0	2701.6	5.69	3443.6	3934.5	4340.8
1.73	1082.4	1752.6	2838.3	5.80	3454.3	3938.8	4351.0
1.83	1256.3	1857.6	2950.2	5.90	3451.5	3933.0	4349.5
1.93	1343.6	2001.0	3051.1	6.00	3479.2	3944.3	4353.4
2.03	1395.3	2239.3	3161.9	NSpfa,02	NS components, ground floor, 2000 m2 < A < 5000 m2		
2.14	1460.4	2448.1	3268.9				
2.24	1515.1	2575.9	3406.2				
2.34	1601.1	2695.0	3522.6				
2.44	1685.9	2772.0	3621.0				
2.54	1747.4	2837.8	3746.0				
2.64	1833.5	2914.7	3837.9				
2.75	1960.7	2961.3	3916.2				
2.85	2154.7	3016.6	3969.2				
2.95	2308.7	3074.9	4027.5				
3.05	2415.9	3154.6	4071.9				
3.15	2486.1	3213.2	4092.1				
3.25	2549.0	3289.5	4123.9				
3.36	2590.0	3354.9	4140.5				
3.46	2631.2	3424.0	4177.5				
3.56	2680.2	3517.9	4182.9				
3.66	2725.4	3569.8	4207.6				
3.76	2766.2	3614.0	4223.9				
3.86	2790.4	3650.5	4238.4				
3.97	2827.8	3694.7	4258.4				



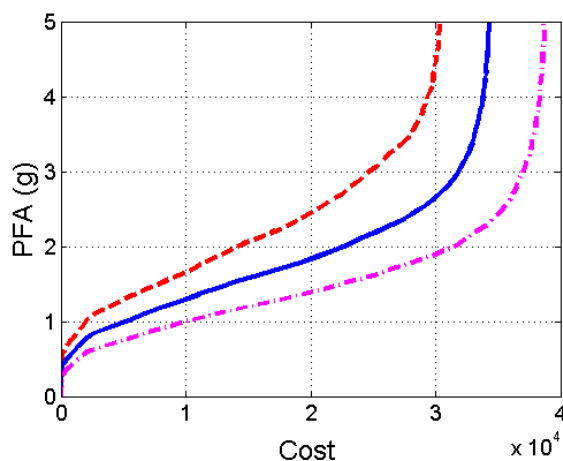
Πίνακας 42. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών μη δομικών στοιχείων ισογείου/υπογείου για επιφάνεια κτιρίου A > 5000 m²

PFA (g)	Cost (€)			PFA (g)	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.00	0.0	0.0	0.0	4.07	1960.5	2572.5	2927.0
0.10	0.0	0.0	0.0	4.17	1984.5	2589.5	2925.5
0.20	0.0	0.0	0.0	4.27	2000.8	2606.0	2941.4
0.31	0.0	0.0	0.0	4.37	2028.8	2615.2	2940.9
0.41	0.0	0.0	187.4	4.47	2049.7	2625.9	2951.6
0.51	0.0	77.3	304.2	4.58	2078.9	2629.6	2952.4
0.61	3.9	186.3	394.5	4.68	2102.2	2651.0	2954.5
0.71	72.7	252.0	495.6	4.78	2138.3	2656.4	2958.1
0.81	111.9	322.8	691.5	4.88	2173.6	2664.7	2966.9
0.92	149.1	386.2	915.7	4.98	2203.7	2667.7	2966.9
1.02	208.6	477.0	1050.5	5.08	2229.6	2672.9	2963.6
1.12	262.9	603.8	1168.2	5.19	2260.4	2683.2	2969.7
1.22	316.2	800.9	1260.9	5.29	2291.5	2683.8	2976.8
1.32	377.5	946.9	1363.9	5.39	2327.6	2691.0	2976.0
1.42	455.0	1036.6	1507.3	5.49	2334.4	2691.7	2975.5
1.53	547.9	1116.6	1736.8	5.59	2346.8	2697.4	2981.1
1.63	675.5	1185.0	1865.4	5.69	2368.0	2699.1	2977.2
1.73	844.3	1251.4	1972.0	5.80	2374.4	2701.8	2976.8
1.83	946.6	1318.8	2057.2	5.90	2383.9	2705.0	2983.9
1.93	996.0	1425.8	2105.7	6.00	2400.1	2712.9	2979.6
2.03	1044.5	1563.0	2174.9	NSpfa,03	NS components, ground floor, A > 5000 m ²		
2.14	1082.1	1725.2	2256.3				
2.24	1140.6	1821.7	2311.8				
2.34	1179.1	1876.4	2407.8				
2.44	1209.2	1921.0	2520.8				
2.54	1241.3	1971.1	2587.0				
2.64	1307.2	2011.1	2655.0				
2.75	1393.4	2044.1	2692.7				
2.85	1510.8	2076.6	2725.0				
2.95	1646.8	2113.8	2756.0				
3.05	1716.3	2157.0	2789.2				
3.15	1750.9	2200.1	2812.5				
3.25	1789.4	2256.2	2826.3				
3.36	1795.9	2304.6	2844.5				
3.46	1831.4	2373.1	2868.5				
3.56	1857.2	2415.3	2872.2				
3.66	1876.6	2464.6	2888.3				
3.76	1903.1	2498.0	2903.4				
3.86	1915.3	2524.7	2910.8				
3.97	1944.8	2552.9	2911.1				



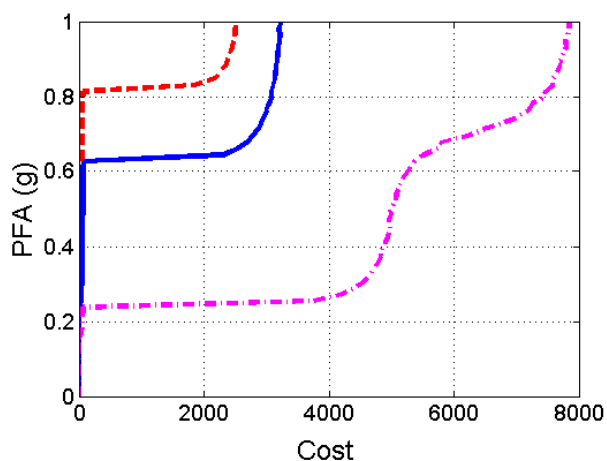
Πίνακας 43. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών μη δομικών στοιχείων οροφής εξαρτώμενων από την επιφάνεια ορόφου

PFA (g)	Cost (€)			PFA (g)	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.00	0.0	0.0	0.0	3.39	27442.9	32966.8	37737.2
0.08	0.0	0.0	0.0	3.47	27935.4	33089.3	37796.9
0.17	0.0	0.0	0.0	3.56	28213.8	33248.4	38029.8
0.25	0.0	0.0	76.3	3.64	28466.6	33393.6	38049.8
0.34	0.0	34.5	406.1	3.73	28750.6	33500.3	38108.4
0.42	2.1	144.2	907.0	3.81	29020.8	33588.6	38243.4
0.51	72.6	575.3	1503.2	3.90	29196.9	33746.2	38249.5
0.59	203.4	989.1	2117.2	3.98	29273.1	33801.6	38371.7
0.68	521.8	1453.5	3651.9	4.07	29542.1	33864.4	38395.1
0.76	884.3	1975.4	5342.7	4.15	29774.7	33931.0	38342.6
0.85	1309.9	2719.9	6967.8	4.24	29835.5	33964.7	38466.8
0.93	1724.0	4182.1	8742.3	4.32	29820.7	34083.4	38568.0
1.02	2106.0	5425.8	10527.4	4.41	29935.8	34031.3	38589.5
1.10	2673.7	6700.6	12502.9	4.49	30050.3	34127.1	38552.0
1.19	3776.5	8250.9	14793.4	4.58	30008.0	34161.8	38580.7
1.27	4866.7	9690.5	17190.9	4.66	30268.1	34213.3	38636.1
1.36	5773.0	11059.2	19401.7	4.75	30252.5	34210.2	38714.9
1.44	7043.2	12522.7	21350.5	4.83	30231.3	34215.4	38753.9
1.53	8184.4	14090.7	23109.1	4.92	30331.1	34294.4	38726.4
1.61	9425.1	15740.6	25063.8	5.00	30336.1	34314.8	38643.7
1.69	10533.9	17574.2	26547.2	NSpfa,21	NS components, story area dependent quantities		
1.78	11417.9	19130.4	28125.7				
1.86	12473.7	20551.2	29628.0				
1.95	13631.9	21923.5	30750.0				
2.03	14600.8	23097.2	31889.9				
2.12	15977.1	24163.9	32560.9				
2.20	17185.3	25413.5	33258.3				
2.29	18356.5	26514.8	34150.0				
2.37	19198.1	27560.8	34622.9				
2.46	20118.2	28383.8	35144.6				
2.54	20955.4	29189.4	35614.9				
2.63	21760.2	29812.7	36006.9				
2.71	22613.8	30386.9	36195.3				
2.80	23208.7	30875.1	36476.6				
2.88	23958.3	31373.7	36594.8				
2.97	24377.9	31730.8	36886.4				
3.05	25210.0	31985.4	37162.2				
3.14	25703.4	32307.0	37274.3				
3.22	26171.6	32548.1	37533.9				
3.31	26849.9	32784.7	37666.8				



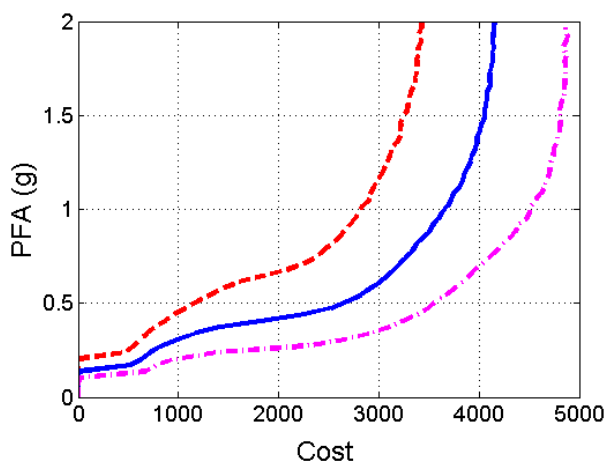
Πίνακας 44. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών μη δομικών στοιχείων οροφής εξαρτώμενων από την επιφάνεια κτιρίου

PFA (g)	Cost (€)			PFA (g)	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.00	0.0	0.0	0.0	0.68	51.1	2706.0	5797.7
0.02	0.0	0.0	0.0	0.69	51.8	2775.6	6216.3
0.03	0.0	0.0	0.0	0.71	52.5	2859.3	6475.3
0.05	0.0	0.0	0.0	0.73	53.8	2926.3	6778.8
0.07	0.0	0.0	0.0	0.75	54.9	2958.8	7014.0
0.08	0.0	0.0	0.0	0.76	56.2	3003.1	7191.6
0.10	0.0	0.0	0.0	0.78	59.0	3037.5	7259.7
0.12	0.0	0.0	0.0	0.80	61.6	3083.6	7413.3
0.14	0.0	0.0	0.0	0.81	66.9	3086.7	7471.2
0.15	0.0	0.0	0.0	0.83	1842.6	3114.1	7577.5
0.17	0.0	0.0	38.9	0.85	2170.8	3138.0	7583.7
0.19	0.0	0.0	52.5	0.86	2259.9	3144.2	7664.5
0.20	0.0	0.0	58.8	0.88	2340.2	3157.5	7698.6
0.22	0.0	0.0	64.3	0.90	2381.6	3177.4	7721.0
0.24	0.0	0.0	72.7	0.92	2423.4	3185.5	7750.2
0.25	0.0	40.2	3762.5	0.93	2455.7	3190.2	7799.1
0.27	0.0	46.8	4181.9	0.95	2477.6	3207.4	7793.0
0.29	0.0	49.8	4402.6	0.97	2499.2	3217.7	7826.1
0.31	0.0	52.0	4559.4	0.98	2503.7	3206.6	7846.3
0.32	0.0	53.5	4653.9	1.00	2519.6	3222.4	7844.0
0.34	0.0	54.5	4709.4	NSpfa,22	NS components, roof, building area dependent quantities		
0.36	0.0	55.7	4783.9				
0.37	36.5	56.5	4828.8				
0.39	40.4	56.9	4850.1				
0.41	42.7	57.6	4890.4				
0.42	43.8	58.1	4939.1				
0.44	44.8	58.5	4957.2				
0.46	45.3	58.8	4974.9				
0.47	45.7	59.4	4974.9				
0.49	46.4	60.0	4992.0				
0.51	46.6	60.3	5025.9				
0.53	47.0	61.1	5075.9				
0.54	47.2	61.7	5081.4				
0.56	47.7	62.9	5125.2				
0.58	48.3	64.7	5159.4				
0.59	48.5	65.9	5229.4				
0.61	48.8	69.0	5302.0				
0.63	49.3	76.6	5377.7				
0.64	49.9	2296.2	5505.7				
0.66	50.2	2537.0	5744.1				



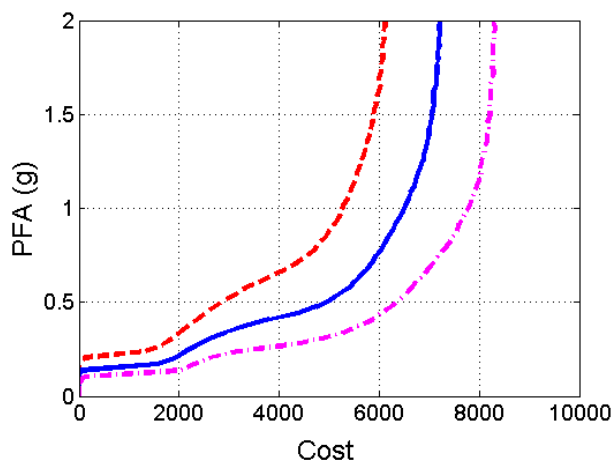
Πίνακας 45. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών περιεχομένων χαμηλής αξίας

PFA (g)	Cost (€)			PFA (g)	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.00	0.0	0.0	0.0	1.36	3178.9	3983.3	4772.5
0.03	0.0	0.0	0.0	1.39	3212.5	3985.8	4785.8
0.07	0.0	0.0	0.0	1.42	3215.5	4012.0	4806.1
0.10	0.0	0.0	14.0	1.46	3221.0	4028.5	4811.2
0.14	0.0	0.0	676.6	1.49	3240.2	4060.7	4817.9
0.17	0.0	526.1	779.9	1.53	3288.8	4060.9	4803.4
0.20	15.5	637.1	964.6	1.56	3294.8	4071.1	4814.7
0.24	464.3	718.5	1388.3	1.59	3307.1	4080.5	4841.9
0.27	556.6	820.4	2259.4	1.63	3317.9	4078.7	4852.4
0.31	615.7	992.4	2656.8	1.66	3349.7	4113.2	4856.6
0.34	683.5	1177.2	2914.5	1.69	3361.1	4111.0	4861.1
0.37	765.7	1421.3	3107.1	1.73	3376.5	4112.5	4862.2
0.41	875.3	1822.8	3240.3	1.76	3376.2	4126.9	4864.9
0.44	964.6	2261.4	3392.1	1.80	3382.9	4141.2	4857.0
0.47	1072.2	2522.5	3494.3	1.83	3401.2	4131.9	4869.7
0.51	1192.2	2686.6	3571.5	1.86	3397.4	4147.7	4845.3
0.54	1309.2	2819.4	3672.4	1.90	3423.1	4139.3	4869.1
0.58	1428.9	2911.7	3753.4	1.93	3408.1	4143.5	4880.6
0.61	1596.8	3009.9	3830.9	1.97	3429.6	4148.2	4863.1
0.64	1839.1	3085.1	3897.1	2.00	3430.3	4154.4	4876.7
0.68	2088.0	3155.1	3962.3	Cl	Contents, Low value		
0.71	2252.6	3211.1	4040.1				
0.75	2380.1	3275.9	4111.7				
0.78	2453.3	3337.7	4171.8				
0.81	2526.2	3374.8	4233.2				
0.85	2603.4	3439.1	4302.5				
0.88	2653.7	3505.7	4364.3				
0.92	2704.8	3537.7	4388.9				
0.95	2762.8	3593.2	4473.5				
0.98	2802.4	3627.1	4509.2				
1.02	2837.6	3683.1	4517.3				
1.05	2905.4	3717.8	4565.3				
1.08	2916.3	3745.4	4618.3				
1.12	2946.4	3803.1	4652.9				
1.15	2985.9	3837.4	4669.3				
1.19	3029.2	3852.6	4700.4				
1.22	3053.5	3879.8	4706.8				
1.25	3086.3	3916.9	4719.5				
1.29	3113.6	3930.8	4742.2				
1.32	3128.5	3965.3	4751.2				



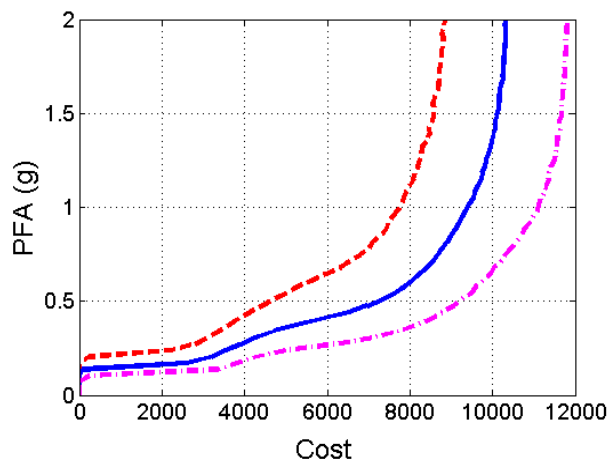
Πίνακας 46. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών περιεχομένων μέσης αξίας

PFA (g)	Cost (€)			PFA (g)	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.00	0.0	0.0	0.0	1.36	5756.6	6968.1	8158.6
0.03	0.0	0.0	0.0	1.39	5814.0	6999.7	8165.9
0.07	0.0	0.0	0.0	1.42	5840.4	7003.2	8199.4
0.10	0.0	0.0	96.9	1.46	5872.3	7038.8	8171.0
0.14	0.0	37.8	2005.2	1.49	5875.6	7055.6	8216.2
0.17	3.6	1562.1	2308.5	1.53	5896.6	7071.5	8225.7
0.20	104.7	1913.9	2609.1	1.56	5943.3	7095.0	8213.8
0.24	1322.7	2136.3	3187.3	1.59	5957.1	7089.3	8234.8
0.27	1662.3	2348.1	4183.2	1.63	5997.1	7094.7	8233.3
0.31	1849.7	2615.2	4853.2	1.66	6044.1	7150.3	8224.6
0.34	2024.6	2936.3	5272.2	1.69	6000.5	7143.9	8279.5
0.37	2179.8	3318.9	5602.6	1.73	6046.8	7143.3	8283.7
0.41	2360.8	3801.7	5867.6	1.76	6046.0	7162.2	8271.3
0.44	2533.1	4378.2	6052.3	1.80	6072.7	7188.5	8275.2
0.47	2706.9	4737.3	6229.3	1.83	6063.4	7174.1	8288.3
0.51	2907.5	5020.7	6403.1	1.86	6070.3	7202.5	8278.7
0.54	3140.5	5198.7	6532.5	1.90	6096.8	7199.6	8298.6
0.58	3323.3	5392.7	6639.1	1.93	6082.1	7220.7	8304.9
0.61	3614.4	5507.8	6750.0	1.97	6125.4	7210.4	8319.8
0.64	3881.7	5636.8	6890.3	2.00	6125.1	7218.8	8270.1
0.68	4157.1	5766.3	6985.6	Cm	Contents, Medium value		
0.71	4365.3	5860.0	7086.1				
0.75	4549.6	5936.2	7183.9				
0.78	4709.7	6044.0	7284.2				
0.81	4798.4	6108.7	7399.6				
0.85	4923.6	6185.6	7463.0				
0.88	5009.4	6261.3	7559.4				
0.92	5096.7	6327.6	7597.7				
0.95	5196.8	6401.8	7682.1				
0.98	5244.5	6487.4	7737.9				
1.02	5289.5	6528.2	7814.4				
1.05	5371.7	6597.2	7856.8				
1.08	5423.2	6628.4	7909.2				
1.12	5463.5	6710.0	7953.3				
1.15	5531.9	6738.7	7995.7				
1.19	5566.5	6778.7	8030.7				
1.22	5611.5	6832.4	8024.1				
1.25	5648.0	6879.5	8064.3				
1.29	5695.5	6898.7	8102.7				
1.32	5727.9	6935.9	8100.5				



Πίνακας 47. Συνάρτηση σεισμικών απωλειών περιεχομένων υψηλής αξίας

PFA (g)	Cost (€)			PFA (g)	Cost (€)		
	16%	50%	84%		16%	50%	84%
0.00	0.0	0.0	0.0	1.36	8429.2	9995.1	11565.1
0.03	0.0	0.0	0.0	1.39	8482.2	10036.3	11584.5
0.07	0.0	0.0	0.0	1.42	8454.5	10076.6	11641.2
0.10	0.0	0.0	232.5	1.46	8531.8	10074.8	11616.0
0.14	0.0	58.9	3362.5	1.49	8558.7	10111.0	11669.1
0.17	11.5	2592.6	3818.2	1.53	8585.9	10150.4	11672.3
0.20	237.7	3199.8	4286.6	1.56	8564.7	10151.9	11676.5
0.24	2226.5	3551.8	5004.5	1.59	8592.0	10174.1	11703.5
0.27	2814.9	3892.0	6167.9	1.63	8687.6	10180.4	11706.7
0.31	3102.9	4269.6	7109.8	1.66	8704.5	10224.4	11716.9
0.34	3365.3	4714.4	7707.4	1.69	8721.2	10248.2	11746.3
0.37	3630.6	5246.1	8177.6	1.73	8710.6	10266.5	11755.9
0.41	3851.2	5893.9	8521.3	1.76	8740.9	10260.2	11743.5
0.44	4136.3	6530.0	8778.9	1.80	8775.4	10282.6	11774.9
0.47	4411.7	6962.7	9061.5	1.83	8778.1	10298.9	11767.0
0.51	4693.4	7358.8	9250.7	1.86	8793.6	10303.5	11789.5
0.54	5015.6	7640.8	9496.1	1.90	8813.3	10314.5	11776.8
0.58	5275.8	7875.0	9595.4	1.93	8791.8	10322.8	11800.1
0.61	5614.0	8071.1	9791.6	1.97	8824.8	10300.0	11798.4
0.64	5959.7	8239.4	9952.8	2.00	8859.7	10317.4	11776.6
0.68	6319.5	8418.9	10026.8	Ch	Contents, high value		
0.71	6536.3	8545.7	10203.8				
0.75	6796.8	8677.4	10306.8				
0.78	7007.1	8770.8	10438.7				
0.81	7104.3	8898.6	10573.8				
0.85	7279.0	8985.8	10709.7				
0.88	7436.5	9102.5	10768.5				
0.92	7476.7	9189.8	10882.5				
0.95	7583.0	9264.0	10993.2				
0.98	7712.1	9341.5	11088.7				
1.02	7796.8	9431.0	11124.4				
1.05	7853.9	9546.8	11173.9				
1.08	7911.8	9566.8	11270.3				
1.12	8008.0	9655.4	11305.6				
1.15	8095.6	9724.6	11362.8				
1.19	8138.1	9752.5	11367.6				
1.22	8204.6	9816.5	11414.9				
1.25	8255.0	9857.3	11504.0				
1.29	8286.1	9898.7	11519.6				
1.32	8299.5	9958.5	11565.7				



4.4 Εξαγωγή συναρτήσεων σεισμικών απωλειών με παλινδρόμηση

Από τις καμπύλες EDP - DV που δόθηκαν παραπάνω, είναι δυνατή η εξαγωγή απλοποιημένων συναρτήσεων μέσω παλινδρόμησης στα δεδομένα που υπολογίστηκαν. Ενδεικτικά, παρατίθεται ο υπολογισμός με ανάλυση παλινδρόμησης των συναρτήσεων απωλειών για τα δομικά στοιχεία κτιρίου με πλαίσια ροπής και εμβαδόν ορόφου μικρότερο των 750 m², δηλαδή της ομάδας SM1.

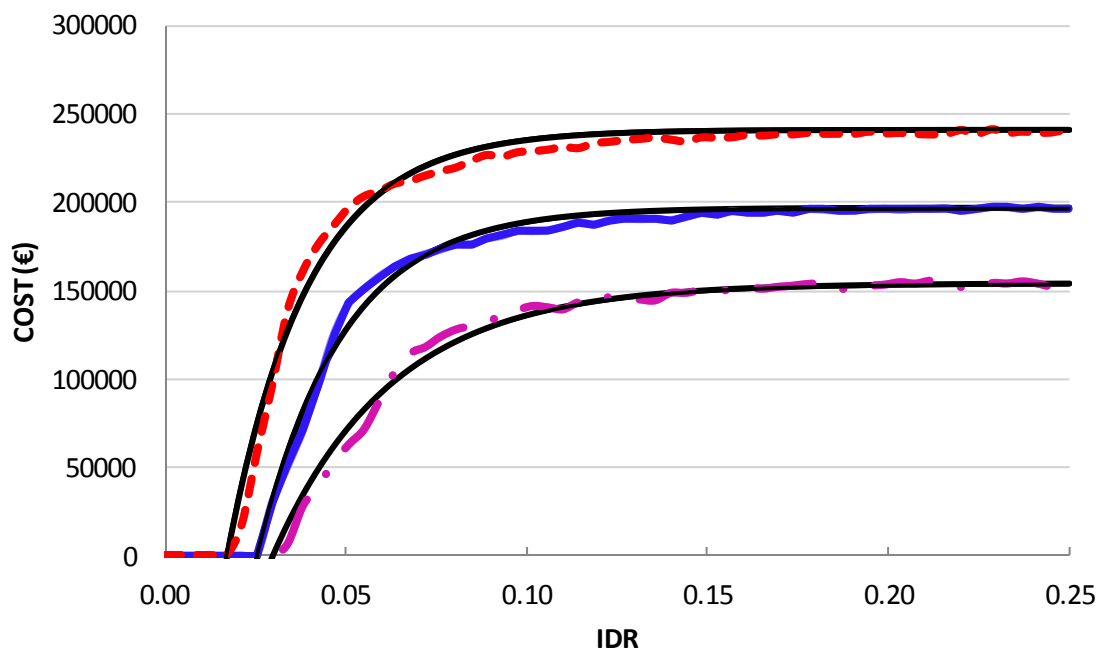
Για τον σκοπό αυτό, επιλέχτηκε βάση της μορφής των καμπυλών της ομάδας αυτής η παρακάτω συνάρτηση υπόθεσης. Για πιο περίπλοκες μορφές καμπύλες άλλων ομάδων στοιχείων μπορούν να επιλεγούν ανάλογες εκφράσεις.

$$COST(IDR) = maxCost \cdot [1 - \exp(-a \cdot (IDR - IDR_0))] \quad (4.2)$$

όπου: maxCost: το μέγιστο κόστος
a: συντελεστής που προκύπτει από την ανάλυση παλινδρόμησης

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας της μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων προσδιορίστηκαν οι συντελεστές a για τις τρεις συναρτήσεις (16%, 50%, 84%) της ομάδας SM1. Συγκεκριμένα, με τη βοήθεια του solver του Microsoft Excel, υπολογίστηκαν μέσω μαθηματικού προγραμματισμού οι συντελεστές a που ελαχιστοποιούν το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ανάμεσα στις τιμές κόστους των καμπυλών που υπολογίστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο και των συναρτήσεων υπόθεσης. Έτσι προέκυψαν συντελεστές a ίσοι με 43, 30 και 45 αντίστοιχα και οι συναρτήσεις υπόθεσης λαμβάνουν τη μορφή που φαίνεται παρακάτω και απεικονίζονται στην Εικόνα 8:

$$\begin{cases} COST_{16\%}(IDR) = 154000 \cdot [1 - \exp(-43 \cdot (IDR - 0.03))] \\ COST_{50\%}(IDR) = 197000 \cdot [1 - \exp(-30 \cdot (IDR - 0.025))] \\ COST_{84\%}(IDR) = 241000 \cdot [1 - \exp(-45 \cdot (IDR - 0.017))] \end{cases} \quad (4.3)$$



Εικόνα 8. Εξαγωγή συναρτήσεων απωλειών για δομικά στοιχεία κτιρίου με πλαίσια ροπής και επιφάνειας A <750 m² μέσω παλινδρόμησης

4.5 Διαδικασία υπολογισμού κόστους με τις συναρτήσεις σεισμικών απωλειών

Μέσω των συναρτήσεων σεισμικών απωλειών που υπολογίστηκαν προηγουμένως, ο υπολογισμός της κατανομής του κόστους για δεδομένη φασματική επιτάχυνση μπορεί πλέον να απλοποιηθεί αρκετά.

Αρχικά, απαιτείται να υπολογιστεί η απόκριση του κτιρίου, η οποία μπορεί να προκύψει μέσω μιας επαυξητικής δυναμικής ανάλυσης IDA (Incremental Dynamic Analysis, Vamvatsikos and Cornell, 2002). Έτσι, για κάθε δεδομένο μέτρο έντασης προκύπτει μια πιθανοτική κατανομή του μέτρου απόκρισης.

Σε κάθε τιμή του μέτρου έντασης χρησιμοποιούνται οι διάφορες τιμές των μέτρων απόκρισης που ακολουθούν την παραπάνω κατανομή και στη συνέχεια, για κάθε ένα από αυτά, χρησιμοποιούνται προσομοιώσεις Monte Carlo για τον υπολογισμό του κόστους. Η κατανομή του κόστους προκύπτει από τις συναρτήσεις σεισμικών απωλειών στη συγκεκριμένη τιμή του μέτρου απόκρισης και απλοποιητικά θεωρήθηκε ως κανονική κατανομή με κάτω όριο 0 ώστε να μην προκύπτουν αρνητικές τιμές κόστους.

Οι συναρτήσεις σεισμικών απωλειών πρέπει προηγουμένως να αναχθούν στην κατάλληλη επιφάνεια, είτε του ορόφου, είτε του κτιρίου, ανάλογα με την ομάδα στοιχείων. Η αναγωγή μπορεί να γίνει είτε θεωρώντας επιμέρους τμήματα 100 m^2 ασυσχέτιστα ή απολύτως συσχετισμένα. Από την άλγεβρα τυχαίων αριθμών, έχουμε:

$$E(\sum_1^n X_i) = \sum_1^n E(X_i) \quad (4.4)$$

$$\text{Απολύτως συσχετισμένα: } \text{Var}(n \cdot X_i) = n^2 \cdot \text{Var}(X_i) \quad (4.5)$$

$$\text{Ασυσχέτιστα: } \text{Var}(\sum_1^n X_i) = n \cdot \text{Var}(X_i) \quad (4.6)$$

Απλοποιητικά μπορεί να θεωρηθεί συσχέτιση και τότε οι καμπύλες των ποσοστημορίων μπορούν να υπολογιστούν πολλαπλασιάζοντας τις με τον αριθμό των τμημάτων 100 m^2 , δηλαδή με το λόγο της επιφάνειας του ορόφου ή του κτιρίου προς 100 m^2 . Δηλαδή:

$$\begin{cases} X_{A,16} = \left(\frac{A}{100}\right) \cdot X_{100,16} \\ X_{A,50} = \left(\frac{A}{100}\right) \cdot X_{100,50} \\ X_{A,84} = \left(\frac{A}{100}\right) \cdot X_{100,84} \end{cases} \quad (4.7)$$

Σε αυτή τη περίπτωση, αν υποθέσουμε κανονική κατανομή, η τυπική απόκλιση σ προκύπτει:

$$\begin{aligned} \sigma(X_A) &= 0.5 \cdot \left[\left(\frac{A}{100}\right) \cdot X_{100,84} - \left(\frac{A}{100}\right) \cdot X_{100,16} \right] \Rightarrow \\ \sigma(X_A) &= 0.5 \cdot \left(\frac{A}{100}\right) \cdot [X_{100,84} - X_{100,16}] = \left(\frac{A}{100}\right) \cdot \sigma(X_{100}) \end{aligned} \quad (4.8)$$

Έτσι:

$$\text{Var}(X_A) = \left(\frac{A}{100}\right)^2 \cdot \text{Var}(X_{100}) \quad (4.9)$$

που επιβεβαιώνει ότι τα τμήματα 100 m^2 λήφθηκαν απολύτως συσχετισμένα.

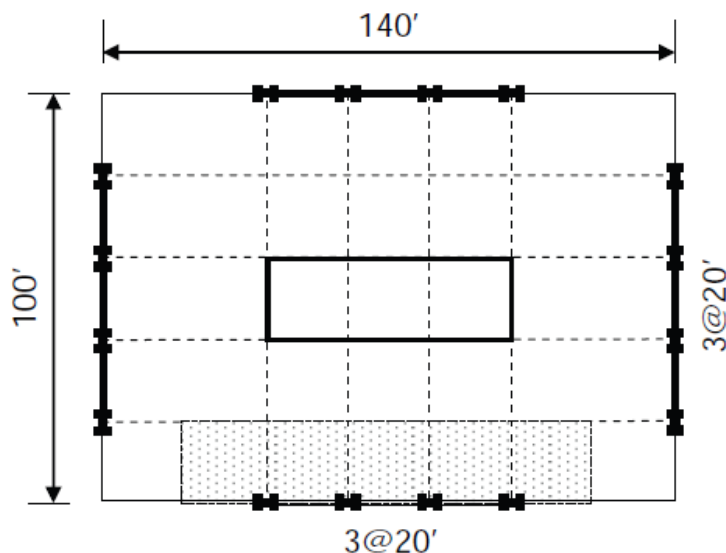
5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΤΕΤΡΑΩΡΟΦΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ

5.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό επιλέχθηκε να εφαρμοστεί η προτεινόμενη μεθοδολογία για τον υπολογισμό του κόστους επισκευής, για μία δεδομένη τιμή φασματικής επιτάχυνσης 0.5g, σε ένα τετραώροφο μεταλλικό κτίριο. Επιπλέον, το κόστος υπολογίστηκε και με την αναλυτική μεθοδολογία του FEMA P-58 προκειμένου να επαληθευτούν τα αποτελέσματα.

5.2 Περιγραφή κτιρίου

Το κτίριο που επιλέχθηκε να μελετηθεί αποτελεί ένα τετραώροφο πρότυπο μεταλλικό κτίριο που περιγράφεται στο report NIST GCR 10-917-8 (2010) του NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) για το NIST (Engineering Laboratory of the National Institute of Standards and Technology). Το κτίριο, του οποίου η κάτοψη φαίνεται στην Εικόνα 9, έχει σχεδιαστεί βάσει των προδιαγραφών του AISC 341-05 και του ASCE/SEI 7-05. Οι σεισμικές δράσεις παραλαμβάνονται από συστήματα πλαισίων ροπής (SMRF) στις δύο διευθύνσεις, ενώ οι συνδέσεις τύπου RBS πραγματοποιήθηκαν με τις προδιαγραφές του AISC 358-05.



Εικόνα 9. Κάτοψη τετραώροφο κτιρίου

Η κάτοψη του κτιρίου είναι ορθογωνική με επιφάνεια 14000 sf ($\approx 1300 \text{ m}^2$) και διαστάσεις 100' x 140' (30.5m x 42.7m). Περιμετρικά πλαίσια ροπής τριών φατνωμάτων τοποθετήθηκαν στις δύο διευθύνσεις και θεωρήθηκε ότι παραλαμβάνουν όλη τη σεισμική δράση, ενώ κατακόρυφα φορτία κατανεμήθηκαν σε αυτά βάσει της ζώνης επιρροής τους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 9. Το ύψος του πρώτου ορόφου είναι 15 ft (4.57 m) και των υπολοίπων 13 ft (3.96 m), ενώ το μήκος των φατνωμάτων είναι 20 ft (6.1m).

Χρησιμοποιήθηκε χάλυβας ASTMA992 και $f_y = 50$ ksi. Θεωρήθηκε μόνιμο φορτίο 90 psf ομοιόμορφα κατανομημένο σε κάθε όροφο. Ακόμη, θεωρήθηκε φορτίο πρόσφυσης 25 psf, το οποίο εφαρμόστηκε στις περιμετρικές δοκούς. Το ωφέλιμο φορτίο λήφθηκε 50 psf στον τυπικό όροφο και 20 psf στην οροφή. Η μέθοδος ανάλυσης για σεισμικά φορτία, με την οποία έγινε ο σχεδιασμός του κτιρίου, ήταν η μέθοδος ισοδύναμων οριζόντιων δυνάμεων (Equivalent Lateral Force Method).

Στον Πίνακα 48 δίνονται οι διατομές των δομικών στοιχείων του κτιρίου, ενώ στον Πίνακα 49 δίνονται ορισμένα χαρακτηριστικά του κτιρίου, όπως η κατηγορία αντισεισμικού σχεδιασμού, ο συντελεστής απομείωσης φασματικών επιταχύνσεων R, η ιδιοπερίοδος T βάσει κανονισμού ($T = C_u T_a$, ASCE/SEI 7-05), η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος T_1 από την ιδιομορφική ανάλυση, ο συντελεστής τέμνουσας βάσης V/W και η μέγιστη θεωρούμενη φασματική επιτάχυνση S_{MT}

Πίνακας 48. Διατομές δομικών μελών κτιρίου 3ELF_4story_Dmax_PG-2ELF

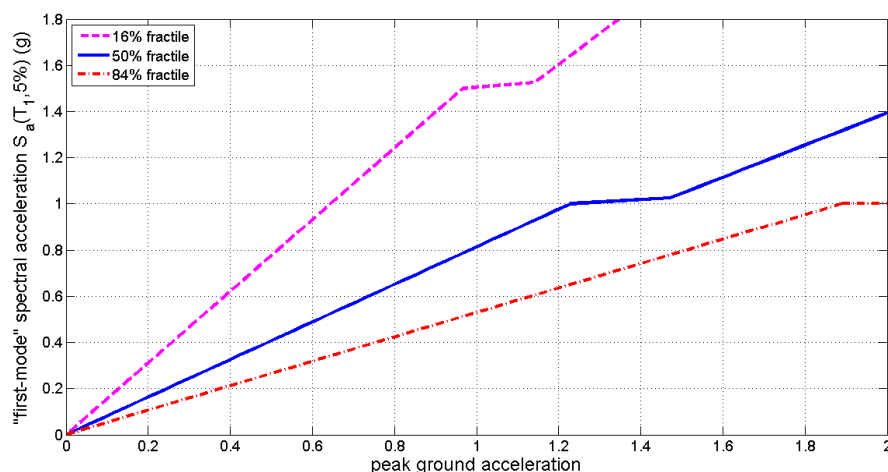
Όροφος	Ύψος (in.)	Διατομή δοκών	Διατομή εξωτερικών υποστυλωμάτων	Διατομή εσωτερικών υποστυλωμάτων	Ελάσματα στον κορμό των υποστυλωμάτων	
					Εξωτερικά	Εσωτερικά
1	166.55	W24X103	W24X103	W24X131	1/16	5/8
2	322.55	W24X103	W24X103	W24X131	1/16	7/16
3	478.55	W24X76	W24X76	W24X84	1/16	1/2
4	634.55	W24X76	W24X76	W24X84	1/16	1/2

Πίνακας 49. Χαρακτηριστικά μεγέθη σχεδιασμού του κτιρίου 3ELF_4story_Dmax_PG-2ELF

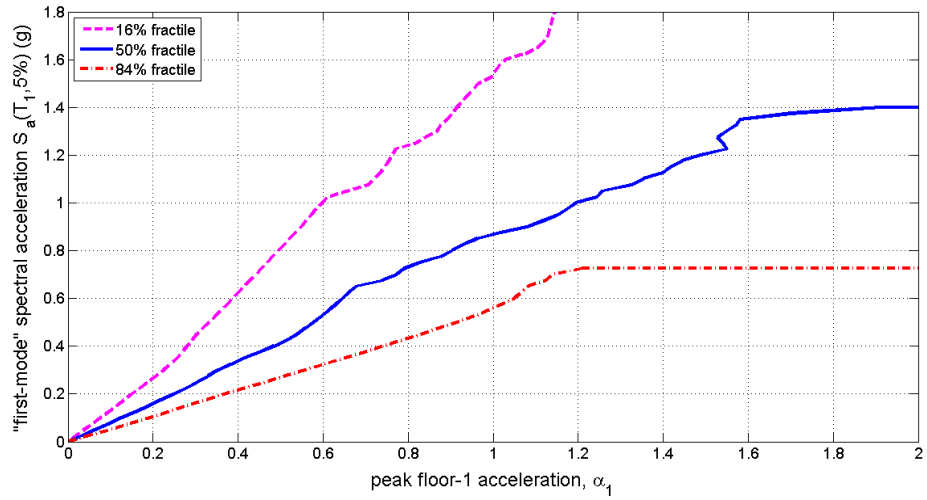
SDC	R	T (sec)	T_1 (sec)	V/W	$S_{MT}(T_1)$ (g)
D _{max}	8	0.95	1.30	0.079	0.95

5.3 Ανάλυση κτιρίου

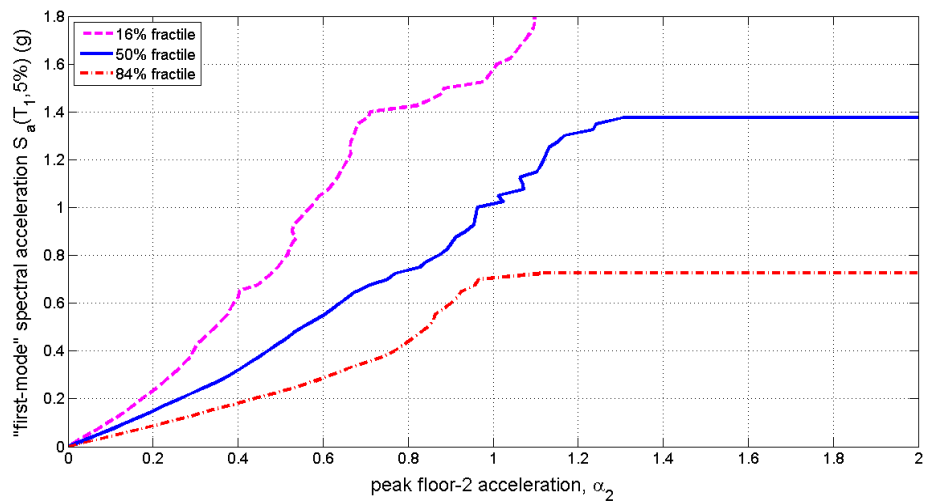
Στις παρακάτω εικόνες δίνονται οι καμπύλες IDA σε κάθε όροφο του κτιρίου σε όρους φασματικής επιτάχυνσης $S_a(T_1)$ και μέγιστης επιτάχυνσης ορόφου (PFA) ή ανηγμένης σχετικής μετακίνησης ορόφου (IDR).



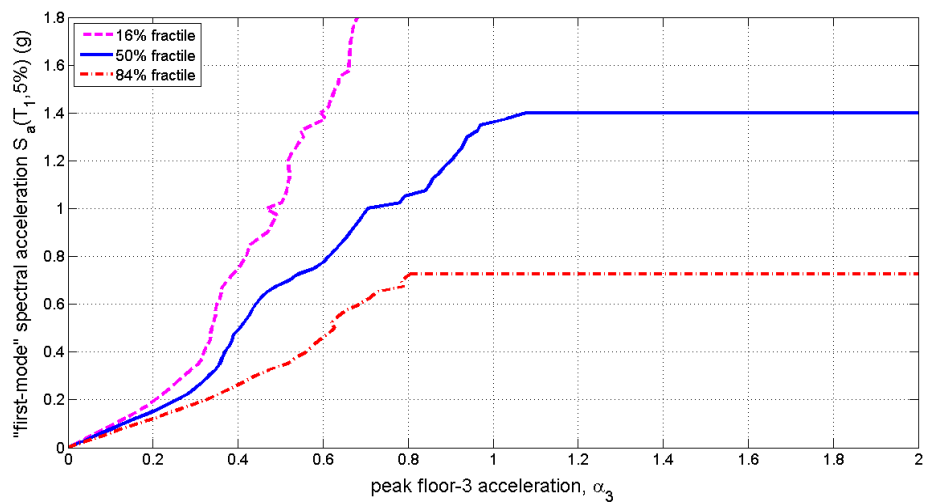
Εικόνα 10. Καμπύλες IDA σε όρους $S_a(T_1)$ - PFA ισογείου



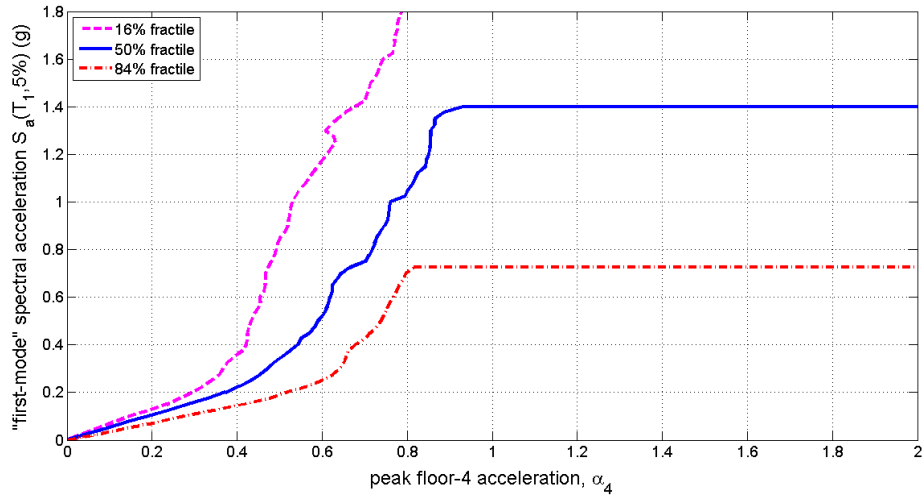
Εικόνα 11. Καμπύλες IDA σε όρους $S_a(T_1)$ - PFA πρώτου ορόφου



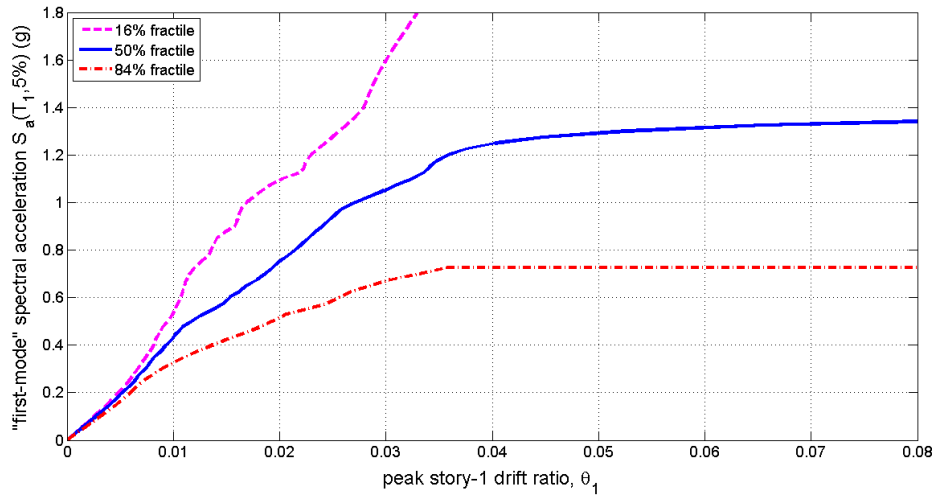
Εικόνα 12. Καμπύλες IDA σε όρους $S_a(T_1)$ - PFA δεύτερου ορόφου



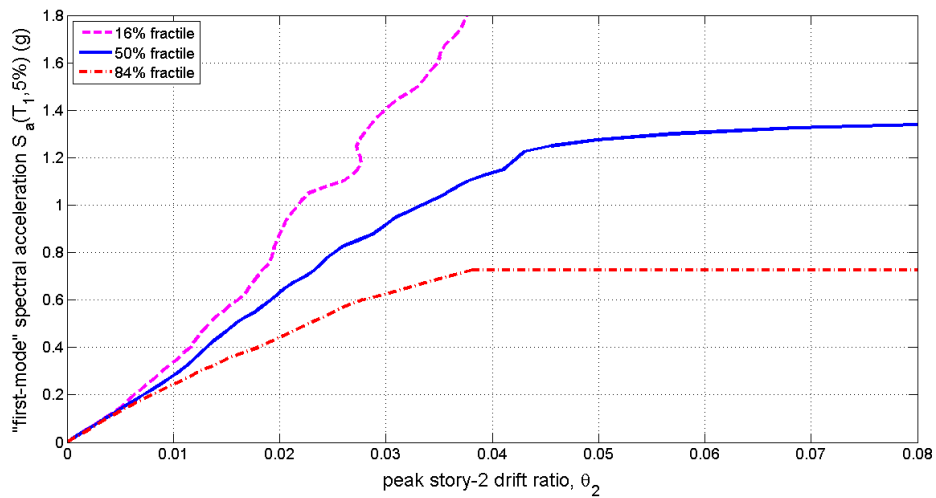
Εικόνα 13. Καμπύλες IDA σε όρους $S_a(T_1)$ - PFA τρίτου ορόφου



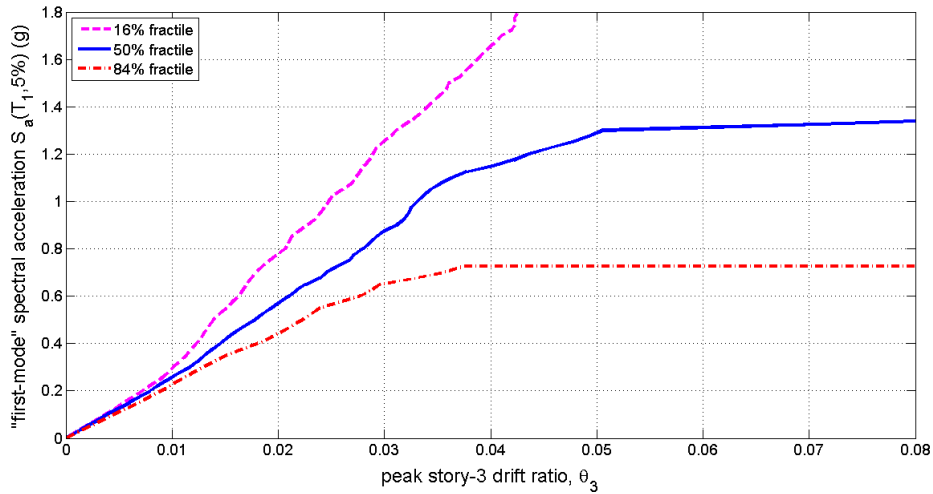
Εικόνα 14. Καμπύλες IDA σε όρους $S_a(T_1)$ - PFA τέταρτου ορόφου



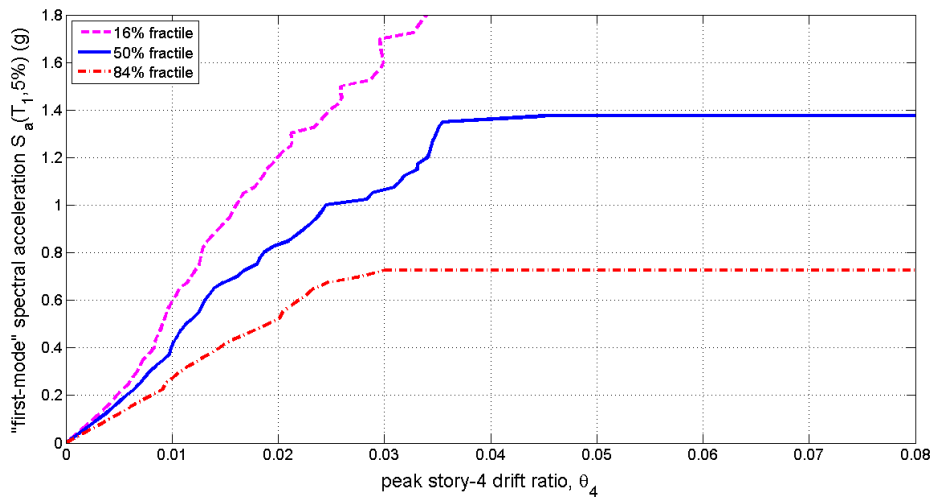
Εικόνα 15. Καμπύλες IDA σε όρους $S_a(T_1)$ - IDR πρώτου ορόφου



Εικόνα 16. Καμπύλες IDA σε όρους $S_a(T_1)$ - IDR δεύτερου ορόφου



Εικόνα 17. Καμπύλες IDA σε όρους $S_a(T_1)$ - IDR τρίτου ορόφου



Εικόνα 18. Καμπύλες IDA σε όρους $S_a(T_1)$ - IDR τέταρτου ορόφου

5.4 Υπολογισμός κόστους επισκευής κτιρίου με συναρτήσεις σεισμικών απωλειών

Αρχικά, υπολογίστηκε με αρκετά απλοποιητικό τρόπο η διάμεση τιμή του κόστους επισκευής του κτιρίου για φασματική επιτάχυνση 0.5g, ως το άθροισμα των διάμεσων τιμών κόστους των κατάλληλων συναρτήσεων σεισμικών απωλειών για τις διάμεσες τιμές EDP των καμπυλών IDA κάθε ορόφου. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι διάμεσες τιμές PFA και IDR κάθε ορόφου για φασματική επιτάχυνση 0.5g.

Πίνακας 50. Διάμεσες τιμές μέτρων απόκρισης του κτιρίου

Όροφος	IDR	PFA (g)
0	-	0.614
1	0.012	0.578
2	0.016	0.552
3	0.018	0.404
4	0.011	0.590

Για τις τιμές αυτές, λοιπόν, ανατρέχοντας στις συναρτήσεις σεισμικών απωλειών υπολογίζονται τα αντίστοιχα κόστη ανά 100 m².

Πίνακας 51. Διάμεσες τιμές κόστους (€) ανά 100m² κτιρίου για κάθε ομάδα στοιχείων με υπολογισμό διάμεσης τιμής από συναρτήσεις σεισμικών απωλειών αγνοώντας τη διασπορά

Όροφος	S _{M2}	S ₀	NS _{idr}	NS _{pfa,11}	NS _{pfa,03}	NS _{pfa21}	NS _{pfa22}	C _m
0	0	0	0	0	186	0	0	0
1	0	0	8663	898	0	0	0	5402
2	0	0	32895	773	0	0	0	5255
3	0	0	39977	118	0	0	0	3763
4	0	0	7666	0	0	989	66	0
Σύνολο	0	0	89201	1788	186	66	989	14421

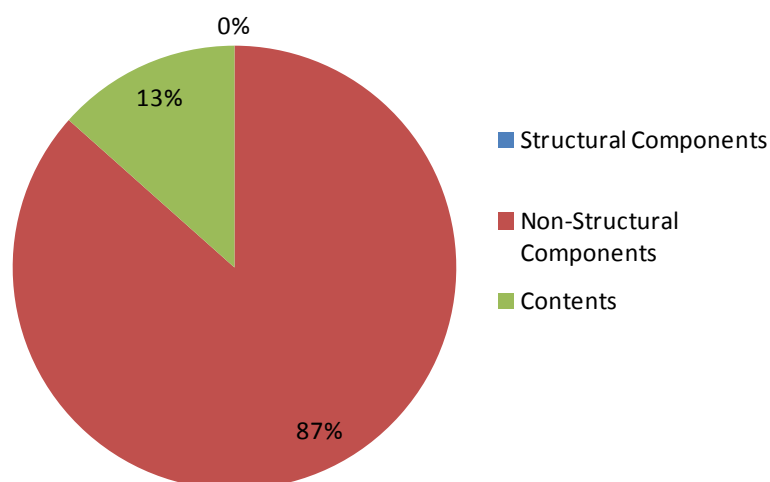
Στη συνέχεια γίνεται αναγωγή στο εμβαδόν του κτιρίου. Για τη διάμεση τιμή του κόστους αρκεί να πολλαπλασιαστούν οι παραπάνω τιμές με το λόγο της επιφάνειας του ορόφου ή του κτιρίου προς 100 m². Όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι ομάδες S_{M2}, S₀, NS_{idr}, NS_{pfa,11}, NS_{pfa,21}, C_m χρειάζεται να αναχθούν στην επιφάνεια του ορόφου, ενώ οι ομάδες NS_{pfa,03}, NS_{pfa,22} στη συνολική επιφάνεια του κτιρίου.

Η επιφάνεια ορόφου είναι 1301 m², συνεπώς οι πρώτες πολλαπλασιάζονται με συντελεστή 13.01, ενώ η επιφάνεια του κτιρίου είναι 5203 m², συνεπώς οι δεύτερες πολλαπλασιάζονται με συντελεστή 52.03. Έτσι προκύπτουν τα παρακάτω κόστη:

Πίνακας 52. Διάμεσες τιμές κόστους (€) κτιρίου με υπολογισμό διάμεσης τιμής από συναρτήσεις σεισμικών απωλειών αγνοώντας τη διασπορά

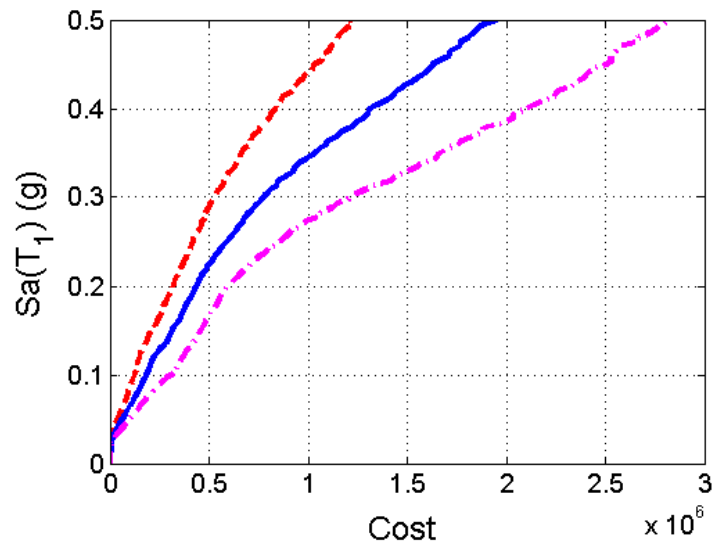
S _{M2}	S ₀	NS _{idr}	NS _{pfa,11}	NS _{pfa,03}	NS _{pfa21}	NS _{pfa22}	C _m	Σύνολο
0	0	1159612	23247	9689	3425	12858	187475	1396307

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται και η κατανομή του κόστους στα δομικά στοιχεία, μη δομικά στοιχεία και περιεχόμενα του κτιρίου για το επίπεδο αυτό της φασματικής επιτάχυνσης.

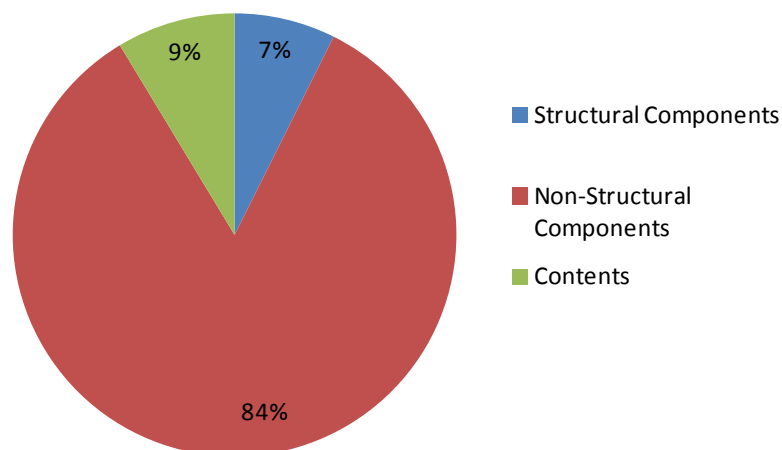


Εικόνα 19. Κατανομή κόστους στα στοιχεία του κτιρίου με υπολογισμό διάμεσης τιμής από συναρτήσεις σεισμικών απωλειών αγνοώντας τη διασπορά

Στη συνέχεια, ο υπολογισμός του κόστους έγινε λαμβάνοντας υπόψη και τη διασπορά, μέσω προσομοιώσεων Monte Carlo όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δίνονται παρακάτω. Αρχικά, τα επιμέρους τμήματα 100 m² της ίδιας ομάδας θεωρήθηκαν απολύτως συσχετισμένα ανά όροφο. Τα στοιχεία διαφορετικών ορόφων θεωρήθηκαν φυσικά ασυσχέτιστα.



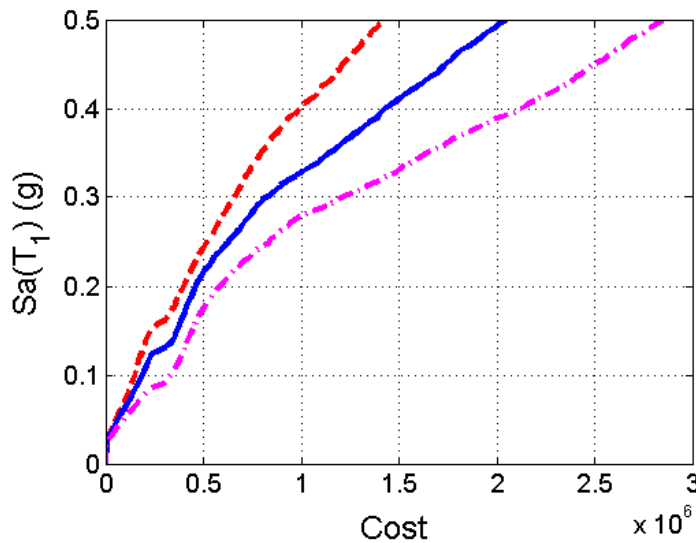
Εικόνα 20. Κόστος επισκευής κτιρίου από συναρτήσεις σεισμικών απωλειών λαμβάνοντας υπόψη τη διασπορά θεωρώντας απολύτως συσχετισμένα τμήματα 100 m² κάθε ομάδας στοιχείων ανά όροφο



Εικόνα 21. Κατανομή κόστους στα στοιχεία του κτιρίου από συναρτήσεις σεισμικών απωλειών λαμβάνοντας υπόψη τη διασπορά

Σε τιμή φασματικής επιτάχυνσης 0.5g δηλαδή, προέκυψε διάμεση τιμή κόστους ίση με 1949902 €.

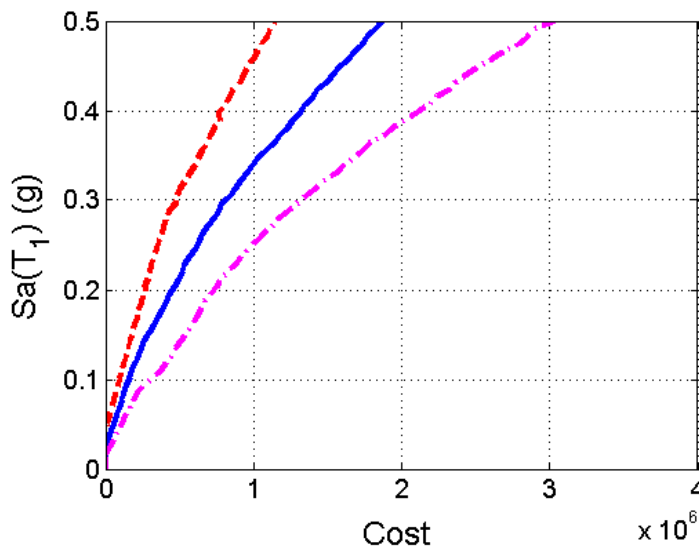
Στη συνέχεια, το κόστος υπολογίστηκε θεωρώντας τα τμήματα 100 m^2 της κάθε ομάδας ασυσχέτιστα μεταξύ τους. Το διάμεσο κόστος στην περίπτωση αυτή υπολογίστηκε ίσο με 2049247 € ενώ μειώθηκε και η διασπορά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 22.



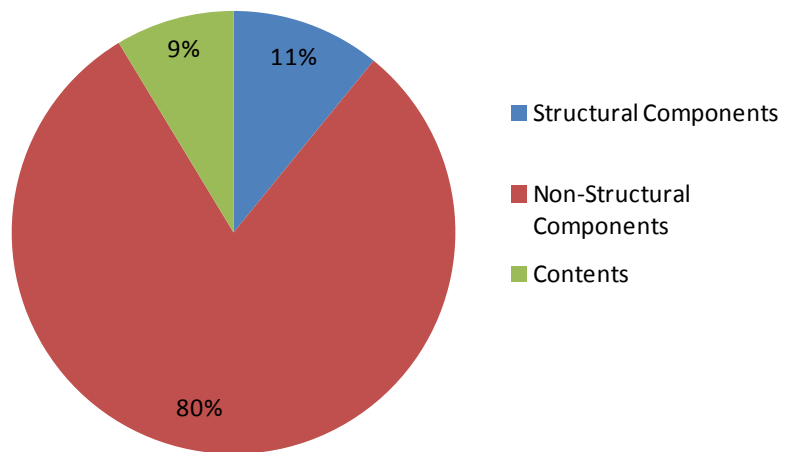
Εικόνα 22. Κόστος επισκευής κτιρίου από συναρτήσεις σεισμικών απωλειών λαμβάνοντας υπόψη τη διασπορά και θεωρώντας ασυσχέτιστα τμήματα 100 m^2 κάθε ομάδας στοιχείων

5.5 Υπολογισμός κόστους επισκευής κτιρίου με μεθοδολογία FEMA P-58

Το κόστος επισκευής υπολογίστηκε, τέλος, και με τη μεθοδολογία του FEMA P-58 για απολύτως συσχετισμένα όμοια στοιχεία και δίνεται στην Εικόνα 23. Σε τιμή φασματικής επιτάχυνσης $0.5g$ προέκυψε διάμεση τιμή κόστους ίση με 1872656 €.



Εικόνα 23. Κόστος επισκευής κτιρίου με μεθοδολογία FEMA P-58



Εικόνα 24. Κατανομή κόστους στα στοιχεία του κτιρίου όπως υπολογίστηκε βάσει του FEMA P-58

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας αναπτύχθηκαν συναρτήσεις σεισμικών απωλειών που συσχετίζουν την απόκριση του κτιρίου με το προκύπτων κόστος. Οι συναρτήσεις αυτές απλοποιούν κατά πολύ τον υπολογισμό του κόστους, καθώς όπως παρουσιάστηκε στην εφαρμογή του προηγούμενο κεφαλαίου, μπορούν να αντικαταστήσουν την αντίστοιχη χρονοβόρα διαδικασία του FEMA P-58. Αντί να απαιτείται απογραφή όλων των στοιχείων του κτιρίου και ορισμός τους στην αντίστοιχες ομάδες τρωτότητας, αρκεί πλέον η επιλογή των κατάλληλων συναρτήσεων σεισμικών απωλειών κάθε ομάδας στοιχείων για κάθε όροφο.

Οι συναρτήσεις σεισμικών απωλειών που υπολογίστηκαν είναι κανονικοποιημένες σε 100 m^2 και απαιτείται κάθε φορά αναγωγή τους στην κατάλληλη επιφάνεια. Όπως αποδείχτηκε, αν τα εκάστοτε τμήματα 100 m^2 θεωρηθούν απολύτως συσχετισμένα μπορεί εύκολα να γίνει η αναγωγή αυτή με κάποιες παραδοχές, συναρτήσει του λόγου της επιθυμητής επιφάνειας προς 100 m^2 . Αν πάλι τα τμήματα θεωρηθούν ασυσχέτιστα απαιτείται να γίνουν πρόσθετες παραδοχές ως προς την κατανομή του κόστους.

Ο υπολογισμός της διάμεσης τιμής του κόστους του τετραώροφου υπό μελέτη κτιρίου με την απλοποιημένη διαδικασία που ακολουθήθηκε αρχικά, έδωσε μια σημαντική απόκλιση σε σχέση με την μεθοδολογία του FEMA P-58. Η απόκλιση αυτή, της τάξης του 25%, εξηγείται από την αγνόηση της διασποράς τόσο της απόκρισης όσο και του κόστους. Παρ'όλα αυτά, ακόμη κι έτσι, προκύπτει μια σχετικά ενδεικτική τιμή χωρίς σύνθετους υπολογισμούς.

Χαρακτηριστικά, φαίνεται για παράδειγμα, ότι με τη χρήση των διάμεσων τιμών των συναρτήσεων σεισμικών απωλειών δεν προκύπτει βλάβη και συνεπαγόμενο κόστος στα δομικά στοιχεία (Εικόνα 19), καθώς η διάμεση τιμή απόκρισης της συνάρτησης τρωτότητας τους είναι μεγαλύτερη από τις διάμεσες ανηγμένες σχετικές μετακινήσεις των ορόφων που προέκυψαν για το κτίριο. Αντιθέτως, στον υπολογισμό με τη μεθοδολογία του FEMA P-58 παρατηρείται κόστος δομικών στοιχείων περίπου ίσο με το 11% του συνολικού (Εικόνα 24). Συγκεκριμένα, σε ορισμένες από τις πραγματοποιήσεις Monte Carlo προκύπτει βλάβη και σε αυτά τα στοιχεία λόγω της υπάρχουσας διασποράς και καθώς το συνολικό κόστος προκύπτει ως άθροισμα του κόστους επισκευής όλων των στοιχείων του κτιρίου, τυχαίνει η διάμεση τιμή του να περιλαμβάνει και βλάβες σε δομικά στοιχεία.

Αν αντί για την χρήση των διάμεσων τιμών απόκρισης και κόστους, ο υπολογισμός γίνει μέσω προσομοιώσεων Monte Carlo και ληφθεί με αυτόν τον τρόπο υπόψη και η διασπορά, η απόκλιση προκύπτει πολύ μικρότερη, συγκεκριμένα 4,1%. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην αναγωγή των ποσοστημορίων των σεισμικών απωλειών σε κατά παραδοχή κανονική κατανομή με κάτω όριο, με αποτέλεσμα να προκύπτει κάποια μικρή ανακρίβεια.

Θεωρώντας ενδεικτικά ένα κόστος αντικατάστασης κτιρίου μεταξύ 1000-1500 €/m², για το κτίριο των 5200 m² προκύπτει αξία $5.2 - 7.8 \cdot 10^6$ €, χωρίς να συμπεριληφθούν τα περιεχόμενα των ενοίκων. Παρατηρούμε ότι για φασματική επιτάχυνση 0.50g προκύπτει κόστος επισκευής περίπου $1.87 \cdot 10^6$ € και θεωρώντας περιεχόμενα αξίας περίπου $0.3 \cdot 10^6$ € βάσει των κατανομών που θεωρήθηκαν, προκύπτει απώλεια της αξίας του κτιρίου της τάξεως του 23-35%.

Ακόμη, παρατηρούμε πως για την φασματική αυτή επιτάχυνση 0.50g που ενδεχομένως βρίσκεται κοντά στην επιτάχυνση σχεδιασμού του κτιρίου, το συντριπτικά μεγαλύτερο

ποσοστό των απωλειών προέρχεται από τα μη δομικά στοιχεία, ενώ μικρότερο κόστος προκύπτει από τα δομικά στοιχεία και τα περιεχόμενα. Ειδικότερα, τα στοιχεία που συμβάλλουν περισσότερο στο κόστος επισκευής φαίνεται να είναι τα εσωτερικά και εξωτερικά χωρίσματα του κτιρίου.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Cornell C.A., Krawinkler H. (2000). "Progress and Challenges in Seismic Performance Assessment". PEER Center News 2000, 3(2), 1–2.
2. Der Kiureghian A. (2005). "Non-ergodicity and PEER's framework formula." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34(13), 1643-1652
3. FEMA (2012a). "FEMA P-58-1: Seismic Performance Assessment of Buildings, Volume 1 - Methodology". Federal Emergency Management Agency (FEMA)
4. FEMA (2012b). "FEMA P-58-2: Seismic Performance Assessment of Buildings, Volume 2 - Implementation", Federal Emergency Management Agency (FEMA)
5. 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(13), 1973-1997
6. Jayaram N., Shome N., Rahnama M. (2012). "Development of earthquake vulnerability functions for tall buildings." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 41(11), 1495-1514
7. Kramer S.L. (1996). "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey
8. NIST (2010). "Evaluation of the FEMA P-695 Methodology for Quantification of Building Seismic Performance Factors" Report No NIST GCR 10-917-8, prepared for the National Institute of Standards by the NEHRP Consultants Joint Venture, CA.
9. Porter A.K., Kiremidjian A.S., LeGrue J.S. (2001). " Assembly-Based Vulnerability of Buildings and Its Use in Performance Evaluation." *Earthquake Spectra*, 17(2), 291–312
10. Ramirez C.M., Miranda E. (2009). "Building-Specific Loss Estimation Methods & Tools for Simplified Performance-Based Earthquake Engineering." PhD Thesis, Stanford University, Stanford, CA.
11. Ramirez C.M., Miranda E. (2012). " Significance of residual drifts in building earthquake loss estimation." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 41(11), 1477-1493
12. Shoraka M.B., Yang T.Y., Elwood K.J. (2012). " Seismic loss estimation of non-ductile reinforced concrete buildings." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 42(2), 297-310
13. Vamvatsikos D., Cornell C.A. (2002). "Incremental Dynamic Analysis." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31(3), 491–514.
14. Yang T.Y., Moehle J., Stojadinovic B., Der Kiureghian A. (2009). "Seismic Performance Evaluation of Facilities: Methodology and Implementation." *ASCE Journal of Structural Engineering*, 135(10), 1146–1154.
15. Yang T.Y., Stojadinovic B., Moehle J. (2012). "Demonstration of a Practical Method for Seismic Performance Assessment of Structural Systems." *Earthquake Spectra*, 28 (2), 811–829
16. Zareian F., Krawinkler H. (2012). " Conceptual performance-based seismic design using building-level and story-level decision support system". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 41(11), 1439-1453