

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
« Αντισεισμική και Ενεργειακή Αναβάθμιση Κατασκευών
και Αειφόρος Ανάπτυξη»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ
ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΤΙΡΙΟΥ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΡΑСТ»

Της Μεταπτυχιακής Φοιτήτριας

Σινοπούλου Αθανασίας

Επιβλέπων

Πνευματικός Νικόλαος, Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου
Δυτικής Αττικής

Αθήνα, Ιούνιος 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	8
ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ.....	8
1.1 Εισαγωγή - Σεισμός	8
1.2 Μέτρηση των σεισμών	10
1.2.1. Μέγεθος σεισμού.....	10
1.2.2. Ένταση σεισμού.....	13
1.2.3. Όργανα καταγραφής σεισμών	16
1.3 Σεισμική δραστηριότητα στον Ελλαδικό χώρο	20
1.3.1. Αιτία δημιουργίας των σεισμών στην Ελλάδα.....	20
1.3.2. Οι καταστροφικότεροι σεισμοί του Ελλαδικού χώρου.....	22
1.3.3. Οι καταστροφικότεροι σεισμοί παγκοσμίως	23
1.4 Οι επιπτώσεις των σεισμών	24
1.5 Οι κυριότερες αιτίες βλάβης στα κτίρια	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	28
ΟΡΙΣΜΟΙ	28
2.1 Σεισμική Διακινδύνευση ή Σεισμικός Κίνδυνος (SeismicRisk)	28
2.2 Σεισμική Επικινδυνότητα (SeismicHazard).....	30
2.3 Σεισμική Τρωτότητα (SeismicVulnerability)	31
2.4 Καμπύλες Τρωτότητας (VulnerabilityCarves).....	32
2.5 Αποτίμηση και ενίσχυση κατασκευών	35
2.6 Στάθμες επιτελεστικότητας κατασκευής	36
2.7 Μέθοδοι ανάλυσης	38
2.8 Μέθοδος προσεισμικού ελέγχου κατά ΟΑΣΠ.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	42
PERFORMANCE ASSESSMENT CALCULATION TOOL (PACT)	42
3.1 Εισαγωγή στο λογισμικό Pact.....	42
3.2 Απόδοση κτιριακού μοντέλου στο λογισμικό Pact	43

3.1.1 Μοντελοποίηση του κτιρίου και εισαγωγή ανάλυσης των αποτελεσμάτων (Modelthebuildingandimportanalysesresults).....	44
3.1.2 Η αξιολόγηση της απόδοσης – συμπεριφοράς του κτιρίου (Evaluate performance)	62
3.1.3 Η εξέταση των αποτελεσμάτων (Examine results)	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°	80
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΤΟ PACT	80
4.1 Περιγραφή κτιρίου	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°	97
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	97
5.1 Συμπεράσματα	97
5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	99

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών παρατηρείται σε παγκόσμιο επίπεδο, έντονο ενδιαφέρον για την κατανόηση της συμπεριφοράς των κατασκευών κατά τη σεισμική διέγερση. Ένα σεισμικό γεγονός επηρεάζει αρχικά το έδαφος και στη συνέχεια τις κατασκευές και κατ' επέκταση και τον άνθρωπο. Η διερεύνηση της σεισμικής συμπεριφοράς και η πρόβλεψη των επιπτώσεων, στο περιβάλλον, στις κατασκευές και στον άνθρωπο, αποτελεί ένα από τα βασικά αντικείμενα μελέτης για τον τομέα των μηχανικών. Οι μηχανικοί στην προσπάθειά τους αυτή, κατάφεραν να αναπτύξουν μοντέλα προσομοίωσης για τον πιθανοτικό προσδιορισμό των επιπτώσεων. Συγκεκριμένα, για την εκτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς, την εκτίμηση των ζημιών, των απωλειών σε ανθρώπινες ζωές και τον υπολογισμό του κόστους αποκατάστασης αφού και ο οικονομικός παράγοντας αποτελεί σημαντική συνέπεια.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία, γίνεται μια προσπάθεια εκτίμησης του σεισμικού κινδύνου και των σεισμικών απωλειών σε μια κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος Pact (PerformanceAssessmentCalculationTool). Πρόκειται για ένα πρόγραμμα το οποίο δημιουργήθηκε και αναπτύχθηκε από την υπηρεσία διαχείρισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης FEMA της Αμερικής, για να αξιολογήσει την απόδοση του σεισμού μεμονωμένων κτιρίων και να οδηγήσει σε αποτελέσματα σχετικά με το κόστος και το χρόνο αποκατάστασης του υπό εξέταση κτιρίου, για τις απώλειες σε ανθρώπινες ζωές καθώς και για τους τραυματισμούς που ίσως προκύψουν. Η μελέτη για την εκτίμηση των απωλειών πραγματοποιήθηκε μόνο στα δομικά στοιχεία του κτιρίου τα οποία οδηγούν στις σημαντικότερες απώλειες. Το συνολικό κόστος επισκευής του κτιρίου, όπως ήταν αναμενόμενο είναι αρκετά μεγάλο, παρόλα αυτά δεν υπερβαίνει το κόστος αντικατάστασής του.

Τέτοιου είδους υπολογιστικά προγράμματα, όπως το Pact, αποτελούν σημαντικά εργαλεία όχι μόνο για τους μηχανικούς αλλά και για κάποιες άλλες ομάδες, όπως για παράδειγμα για τις υπηρεσίες πολιτικής προστασίας μιας χώρας αλλά και γενικότερα για ομάδες ατόμων οι οποίες καλούνται να διαχειριστούν και να αντιμετωπίσουν τις συνέπειες ενός σεισμικού γεγονότος.

ABSTRACT

Over the last few years it is known that many people around the world are keenly interested in understanding how constructions react during seismic stimulation. A seismic event affects initially the ground and after that it affects constructions and the people that live or work in them. Investigation of how seismic vibrations behave and prediction of the impact on environment on constructions and on people is one of the core objects of study for engineers. As a result engineers created simulation models so that they could identify possible impacts especially in estimating damages in a building, people losses and calculate the restoration cost as well as the economic factor is very important.

In this thesis we attempt to assess the seismic risk and the seismic losses on a construction of reinforced concrete. Therefore we used PACT (PerformanceAssessmentCalculationTool) which is a calculating program made and developed by the Federal Emergency Management Agency (FEMA) of America. This program evaluates the seismic performance of individual building and can lead us to a result about the cost and the time that are required to restore the construction or the number of human losses or possible injuries that may arise. Greatest losses are found on the structural elements, therefore the study on loss estimation was focused on them. The total repair cost of the building is quite big, as it was expected, but not as big as the total replacement cost.

This kind of calculation programs like PACT are very important not only for engineers ,but also for civil protection services of a country or other people that have to manage and cope with the consequences of a seismic event.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Δρ. Νικόλαο Πνευματικό, επίκουρο καθηγητή στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής για την ανάθεση της διπλωματικής αυτής εργασίας, για την άψογη συνεργασία, την καθοδήγηση και την υποστήριξη που μου προσέφερε για την υλοποίησή της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Λαμπρινή Αθανασοπούλου για τη βοήθεια της στο μεταπτυχιακό αυτό πρόγραμμα, τον Δρ. Κωνσταντίνο Δημάκο, διευθυντή του προγράμματος καθώς και όλους τους καθηγητές που συμμετείχαν στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα και μοιράστηκαν μαζί μας τις γνώσεις και τις εμπειρίες τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους ήταν δίπλα μου το διάστημα αυτό, με στήριξαν και μου έδωσαν τεράστια δύναμη να συνεχίσω και να καταφέρω να ολοκληρώσω τη διπλωματική αυτή εργασία.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελλάδα ανήκει στις χώρες που παρουσιάζουν έντονα σεισμικά γεγονότα και κατέχει την πρώτη θέση στη Μεσόγειο και την Ευρώπη καθώς και την έκτη θέση σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι ραγδαίες εξελίξεις στον τομέα της αντισεισμικής μηχανικής και η επιστήμη της σεισμολογίας έχουν καταφέρει να ερευνήσουν σε βάθος τα αίτια γέννησης ενός σεισμού, τα φυσικά χαρακτηριστικά του καθώς και τη σεισμική συμπεριφορά των κτιρίων. Παρόλα αυτά, δεν έχουν καταφέρει να προσδιορίσουν με ακρίβεια το χρόνο, τον τόπο και το μέγεθος ενός μελλοντικού σεισμού. Η αβεβαιότητα αυτή οδηγεί σε συνεχείς έρευνες με σκοπό την ακριβή εκτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς των κτιρίων, την εκτίμηση των ζημιών και των καταστροφών που μπορεί να προκαλέσει ένας σεισμός, την εκτίμηση του κόστους και του χρόνου αποκατάστασης ενός κτιρίου καθώς και τον υπολογισμό των απωλειών.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου και των σεισμικών απωλειών ενός κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος Pact (PerformanceAssessmentCalculationTool).

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται η εισαγωγή στο φυσικό φαινόμενο του σεισμού, αναφορά στα όργανα μέτρησης του και στα μεγέθη του σεισμού. Επίσης, αναφέρεται η σεισμικότητα που παρουσιάζει ο Ελλαδικός χώρος, οι μεγαλύτεροι σεισμοί της Ελλάδας και παγκοσμίως, οι βλάβες που παρουσιάζουν τα κτίρια και οι επιπτώσεις των σεισμών στο περιβάλλον, στις τεχνικές κατασκευές και στον άνθρωπο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά σε ορισμούς όπως ο σεισμικός κίνδυνος, η σεισμική επικινδυνότητα και η σεισμική τρωτότητα και παρουσιάζεται η μέθοδος του ΟΑΣΠ με την αξιολόγηση και τη βαθμολόγηση της τρωτότητας ενός κτιρίου.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται η περιγραφή του λογισμικού προγράμματος Pact.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η απόδοση του κτιριακού μοντέλου που θα εξετάσουμε, εισάγοντας όλες τις πληροφορίες που διαθέτουμε και στη συνέχεια λαμβάνοντας τα αποτελέσματα του κόστους και του χρόνου επισκευής του κτιρίου και των απωλειών που προκύπτουν.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και γίνεται αναφορά προτάσεων για μελλοντικές έρευνες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ

1.1 Εισαγωγή - Σεισμός

Η Γη παρατηρούμε ότι από τη δημιουργία της μεταβάλλεται συνεχώς λόγω πολλαπλών παραγόντων, όπως για παράδειγμα από τη περιστροφή της, τη βαρύτητα, την ηλιακή ακτινοβολία και τις έλξεις που δέχεται από τη Σελήνη και τον Ήλιο. Τις μεταβολές, τις παραμορφώσεις και τις μετακινήσεις που παρουσιάζονται τις παρατηρούμε στην επιφάνεια της Γης μέσω των διάφορων γεωδυναμικών φαινομένων. Τα γεωδυναμικά αυτά φαινόμενα είναι τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τεκτονικής προέλευσης (οι οροσειρές, οι ηπειρωτικές και ωκεάνιες λεκάνες, οι ωκεάνιες τάφροι, κλπ), οι παραμορφώσεις και οι διαταράξεις του φλοιού της Γης, οι γεωθερμικές εκδηλώσεις καθώς και η ηφαιστειακή και η σεισμική δράση.

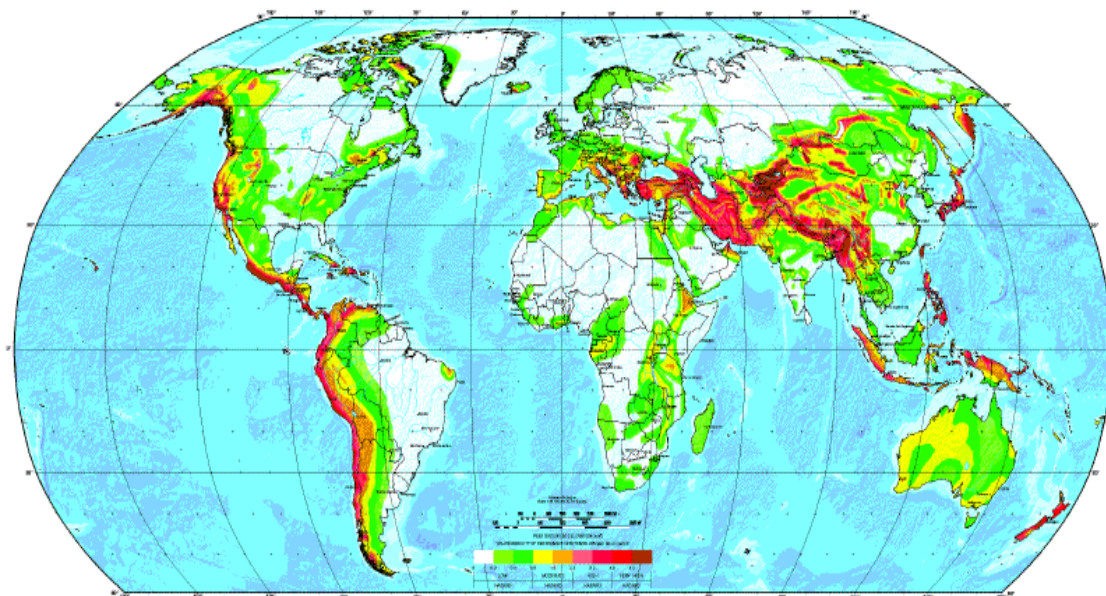
Για την κατανόηση του σεισμικού φαινομένου τα τελευταία 25 χρόνια έχει αναπτυχθεί η θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών η οποία ερμηνεύει με πολύ ικανοποιητικό τρόπο το σύνολο των βασικών γεωφυσικών και γεωλογικών παρατηρήσεων. Οι λιθοσφαιρικές πλάκες είναι μεγάλα αλλά κ μικρότερα τμήματα της λιθόσφαιρας, η οποία αποτελεί το δύσκαμπτο επιφανειακό στρώμα της Γης. Η κίνηση και η σύγκρουση των λιθοσφαιρικών πλακών έχει ως αποτέλεσμα την αργή παραμόρφωση των πετρωμάτων στα οποία συγκεντρώνονται μεγάλα ποσά δυναμικής ενέργειας. Υπάρχουν οι επτά μεγάλες πλάκες οι οποίες είναι : η Αφρικανική, η Ευρασιατική, η Ινδο-Αυστραλιανή, η Βορειο-Αμερικανική, η Νοτιο-Αμερικανική, η Ανταρκτική και η πλάκα του Ειρηνικού, καθώς και αρκετές μικρότερες, οι οποίες κινούνται προς διαφορετικές διευθύνσεις. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι επτά αυτές λιθοσφαιρικές πλάκες και τα βέλη μας δείχνουν την κίνηση τους.



Εικόνα 1.1. Οι επτά μεγάλες λιθοσφαιρικές πλάκες της Γης.

Οι σεισμοί ορίζονται ως οι εδαφικές δονήσεις που γεννιούνται κατά τις διαταράξεις της μηχανικής ισορροπίας των γήινων πετρωμάτων από φυσικές αιτίες που βρίσκονται στο εσωτερικό της Γης. Στα σημεία που εμφανίζονται οι διαταράξεις της μηχανικής ισορροπίας των πετρωμάτων απελευθερώνεται μηχανική ενέργεια η οποία διαδίδεται στη Γη με τη μορφή σεισμικών κυμάτων και εκδηλώνεται με τη μορφή δονήσεων στο έδαφος. Οι σεισμοί είναι φυσικά φαινόμενα και γίνονται αισθητοί από τον άνθρωπο, ο οποίος εφόσον δεν έχει τη δυνατότητα να τους αποτρέψει καλείται να είναι προετοιμασμένος να τους διαχειριστεί και να τους αντιμετωπίσει. Στην εικόνα που ακολουθεί παρατίθεται ο παγκόσμιος χάρτης με τη γεωγραφική κατανομή των σεισμών.

GLOBAL SEISMIC HAZARD MAP



Εικόνα 1.2. Παγκόσμιος χάρτης της Γήινης σεισμικής δραστηριότητας.

1.2 Μέτρηση των σεισμών

Η ανάγκη της μέτρησης της σεισμικής ενέργειας που απελευθερώνεται κατά τη σεισμική δράση καθώς και της μελέτης των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων που επιφέρει ένας σεισμός στον άνθρωπο, στις τεχνικές κατασκευές και στο έδαφος, οδήγησε στην ανάπτυξη δύο διαφορετικών όρων. Ο πρώτος είναι το μέγεθος του σεισμού που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ενέργειας του σεισμού και ο δεύτερος όρος είναι η ένταση του σεισμού που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων.

1.2.1. Μέγεθος σεισμού

Το μέγεθος του σεισμού είναι ο κλασικός τρόπος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ενέργειας ενός σεισμού και βασίζεται σε μετρήσεις των πλατών των σεισμικών κυμάτων που καταγράφονται από τα σεισμόμετρα. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται διαφορετικές κλίμακες μεγθών με τη πιο γνωστή και ευρέως διαδεδομένη, κλίμακα Richter. Η κλίμακα Richter ορίστηκε το 1935 από

τον σεισμολόγο Charles Richter και τον συνεργάτη του Beno Gutenberg, στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Καλιφόρνιας και αποτελεί διεθνώς την κλίμακα αναφοράς του μεγέθους των σεισμών. Η κλίμακα αυτή του τοπικού μεγέθους M_L , βασίζεται στη μέτρηση του μέγιστου πλάτους των σεισμικών κυμάτων. Το μέγεθος M_L ενός σεισμού που καταγράφεται με πλάτος A σε ορισμένη απόσταση δίνεται από τη σχέση :

$$M_L = \log A - \log A'$$

όπου A' : το πλάτος του σεισμού μηδενικού μεγέθους ($M_L = 0$), το οποίο δίνεται από πίνακες ως συνάρτηση της επικεντρικής απόστασεως.

Ο Gutenberg, το 1945, όρισε τη κλίμακα του επιφανειακού μεγέθους M_s , ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση ενός σεισμού και από άλλα σεισμόμετρα. Η ενέργεια E που εκλύεται από την εστία του σεισμού συνδέεται με το επιφανειακό μέγεθος M_s , με τη σχέση που ακολουθεί :

$$\log E = 12,24 + 1,44 M_s$$

Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι για αύξηση του επιφανειακού μεγέθους κατά μία μονάδα (1R) εκλύεται ενέργεια περίπου 28 φορές μεγαλύτερη. Για παράδειγμα, ένας σεισμός επιφανειακού μεγέθους 5 απελευθερώνει ενέργεια $2,75 \cdot 10^{19}$ erg (έργια), μεγέθους 6 ενέργεια $7,59 \cdot 10^{20}$ erg και μεγέθους 7 απελευθερώνει ενέργεια $2,09 \cdot 10^{22}$ erg. Παρατηρούμε από αυτά τα μεγέθη ότι οι σεισμοί απελευθερώνουν πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας κι αυτός είναι ο λόγος που μπορούν να αποδειχθούν τόσο καταστρεπτικοί.

Η κλίμακα Richter η οποία έχει καθιερωθεί διεθνώς, χρησιμοποιεί τους βαθμούς από το 0 που θεωρείται η ασθενέστερη δόνηση και φτάνει μέχρι τον βαθμό 10 την ισχυρότερη δόνηση που μπορεί να συμβεί. Θεωρητικά η κλίμακα αυτή δεν έχει κάποιο ανώτατο όριο και από τις καταγραφές των μεγαλύτερων σεισμών που έχουν πραγματοποιηθεί έως και σήμερα, οι οποίοι κυμαίνονται από 9 έως και 9,5 βαθμούς της κλίμακας, έχει ορισθεί ως το ανώτατο όριο ο βαθμός 10. Πρακτικά από τα ρήγματα που υπάρχουν δεν γίνεται να δημιουργηθεί σεισμός μεγέθους 10 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ ή και μεγαλύτερος διότι γνωρίζουμε πως δεν υπάρχει τόσο μεγάλο σεισμολόγο ρήγμα στη Γη ώστε να προκαλέσει κάτι τέτοιο.

Πίνακας 1-1. Κλίμακα Richter

< 0 R Μικροσεισμός	Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σειсмоγράφους.
0 - 0,9 R Μικροσεισμός	Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σειсмоγράφους.
1,0 - 1,9 R Μικροσεισμός	Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σειсмоγράφους.
2,0 – 2,9 R Ασήμαντος	Σχεδόν πάντα μη αισθητός. Είναι πιθανό να γίνει αισθητός από μερικούς ανθρώπους κοντά στο επίκεντρο.
3,0 – 3,9 R Ασθενής	Αισθητός κοντά στο επίκεντρο, χωρίς ζημιές.
4,0 – 4,9 R Ασθενής	Αισθητός στο μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού σε τοπικό επίπεδο, με ελαφριές συνήθως ζημιές στο εσωτερικό των κτιρίων τα οποία βρίσκονται κοντά στο επίκεντρο, χωρίς θύματα.
5,0 – 5,9 R Μέτριος	Αισθητός στο σύνολο του πληθυσμού σε τοπικό επίπεδο. Μέτριες έως σημαντικές ζημιές στα κτίρια ανεπαρκούς σχεδίασης σε ακτίνα 10 χλμ από το επίκεντρο, πιθανώς και με κάποιες απώλειες. Συνήθως καμία έως ελαφριές ζημιές σε όλα τα άλλα κτίρια.
6,0 – 6,9 R Ισχυρός	Σοβαρές ζημιές σε ακτίνα 100 χλμ από το επίκεντρο, ισχυρές έως και βίαιες δονήσεις κοντά στο επίκεντρο. Μέτριες έως σοβαρές ζημιές στα κτίρια ανεπαρκούς σχεδίασης, ελάχιστες ζημιές στα ανθεκτικά και αντισεισμικά κτίρια. Ο ανθρώπινος απολογισμός κυμαίνεται συνήθως από 0 έως 25.000 θανάτους.
7,0 – 7,9 R Καταστροφικός	Μεγάλες καταστροφές και ανθρώπινες απώλειες σε ακτίνα άνω των 100 χλμ μακριά από το επίκεντρο. Σοβαρές ζημιές ή μερική κατάρρευση κτιρίων, ολική κατάρρευση ορισμένων κτιρίων ανεπαρκούς σχεδίασης. Πιθανές ζημιές στα ανθεκτικά και αντισεισμικά κτίρια. Αν το επίκεντρο είναι στη θάλασσα, πιθανότητα δημιουργίας τσουνάμι. Ο ανθρώπινος απολογισμός κυμαίνεται συνήθως από 0 έως 250.000 θανάτους.
8,0 – 8,9 R Εξαιρετικά Καταστροφικός	Εξαιρετικά μεγάλες καταστροφές και ανθρώπινες απώλειες πολλές εκατοντάδες χλμ μακριά από το επίκεντρο. Μέτριες έως βαρύτερες ζημιές στα ανθεκτικά και αντισεισμικά κτίρια, ολική κατάρρευση στα κτίρια ανεπαρκούς σχεδίασης. Πιθανώς ολική καταστροφή κοντά στο επίκεντρο. Αν το επίκεντρο είναι στη θάλασσα, δημιουργία

	ισχυρών τσουνάμι. Ο ανθρώπινος απολογισμός κυμαίνεται συνήθως από 100 έως πολλές εκατοντάδες χιλιάδες θανάτους. Ωστόσο, ορισμένοι σεισμοί τέτοιου μεγέθους δεν έχουν προκαλέσει θύματα.
9,0 – 9,9 R Ασύλληπτα Καταστροφικός	Τεράστιες καταστροφές και ανθρώπινες απώλειες, πολλές χιλιάδες χλμ μακριά από το επίκεντρο. Πιθανώς και ολοκληρωτική καταστροφή της ζωής σε τοπικό επίπεδο, όλα τα κτίρια κοντά στο επίκεντρο καταρρέουν εντελώς. Αν το επίκεντρο είναι στη θάλασσα, τεράστια τσουνάμι που θα πλήξουν όλες τις γύρω ηπείρους. Μεγάλη μετατόπιση στις τοπικές τεκτονικές πλάκες, αλλαγές στο τοπικό ανάγλυφο και στο σχήμα των ακτογραμμών και πιθανή μετατόπιση νησιών. Αλλαγή στην ταχύτητα περιστροφής και στην κλίση του άξονα της Γης. Ο ανθρώπινος απολογισμός κυμαίνεται συνήθως από 1.000 έως και 1 εκατομμύριο θανάτους.
$\geq 10,0$ R Παγκόσμιος	Δεν υπάρχει τόσο μεγάλου μήκους ενιαίο σεισμογόνο ρήγμα στη Γη για να προκαλέσει κάτι τέτοιο. Μόνο από συμβάν πρόσκρουσης με αστεροειδή ή κομήτη μπορεί να συμβεί ή ειδικότερα για την τιμή 10, αν έσπαζαν ταυτόχρονα 3 έως 5 ρήγματα μεγάλου μήκους, κάτι εξαιρετικά απίθανο. Αν πάντως συνέβαινε θα κατέστρεφε μια ολόκληρη ήπειρο προκαλώντας δυνητικά έως εκατομμύρια θανάτους με ολοκληρωτική καταστροφή της ζωής και όλων των κατασκευών σε ακτίνα χιλιάδων χλμ και θα άλλαζε εντελώς το γεωγραφικό ανάγλυφο σε ολόκληρες χώρες. Επίσης, θα γινόταν αισθητός σε εξαιρετικά μεγάλες αποστάσεις και πιθανότατα σε όλο το ένα ημισφαίριο της Γης.

1.2.2. Ένταση σεισμού

Η ένταση του σεισμού μας δίνει το μέτρο των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων της σεισμικής δόνησης κυρίως στους ανθρώπους, στα κτίρια και στις γεωλογικές δομές. Με τον όρο μακροσεισμικά αποτελέσματα εννοούμε τις επιπτώσεις των σεισμών στον άνθρωπο, στο περιβάλλον και στις κατασκευές. Οι επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει ένα σεισμικό γεγονός είναι πολλές και διαφορετικές μεταξύ τους και είναι αδύνατο να καθορισθεί ένα μόνο φυσικό μέγεθος ως μέτρο των σεισμικών βλαβών, διότι οι σεισμικές βλάβες εξαρτώνται από διάφορα στοιχεία της σεισμικής κίνησης, όπως η επιτάχυνση, η ταχύτητα, η περίοδος, η μετάθεση και η διάρκεια και από διάφορα στοιχεία της τεχνικής κατασκευής, όπως η ιδιοπερίοδος, η πλαστιμότητα και ο παράγοντας απόσβεσης. Γι αυτό το λόγο, αντί της ακριβούς μέτρησης των σεισμικών βλαβών γίνεται συνήθως ποιοτική εκτίμηση των βλαβών αυτών με βάσει εμπειρικές κλίμακες μακροσεισμικών εντάσεων (Παπαζάχος και Παπαζάχου,

1999). Η κλίμακα που χρησιμοποιούμε στην Ελλάδα όπως και στην υπόλοιπη Ευρώπη είναι η αναθεωρημένη κλίμακα Mercalli, η οποία πήρε το όνομα της το 1902 από τον Ιταλό ηφαιστειολόγο Τζουζέπε Μερκάλι (Giuseppe Mercalli). Σε αντίθεση με την κλίμακα Richter δεν μετρά την ενέργεια που απελευθερώνεται από έναν σεισμό, αλλά ασχολείται με τις επιπτώσεις ενός σεισμού σε μια δεδομένη περιοχή. Συνεπώς, ενδείκνυται για τη μέτρηση σεισμών σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και δεν είναι τόσο αποτελεσματική για αραιοκατοικημένες ή ακατοίκητες περιοχές. Η κλίμακα Mercalli ταξινομεί τους σεισμούς σε 12 επίπεδα με λατινικούς χαρακτήρες από το I έως και το XII, ανάλογα με την ένταση και τις ζημιές που επιφέρουν. Η κατάταξη μιας μέτριας σεισμικής δόνησης χωρίς ζημιές γίνεται με βάση το πόσο αισθητή γίνεται από τους ανθρώπους, ενώ μιας ισχυρής δόνησης ανάλογα με την έκταση των καταστροφών στα κτίρια. Τα 12 επίπεδα της κλίμακας Mercalli περιγράφονται στον Πίνακα 1-2.

Πίνακας 1-2. Κλίμακα Mercalli

I - Μη αισθητός	Δεν γίνεται αισθητός. Καταγράφεται μόνο από σειсмоγράφους.
II – Ελάχιστα αισθητός	Αισθητός από μερικούς ανθρώπους που βρίσκονται σε ανάπαυση σε υψηλούς ορόφους κτιρίων.
III - Ασθενής	Αισθητός μέσα στα σπίτια, ως δονήσεις σαν να περνάει ελαφρύ φορτηγό. Μπορεί να μην αναγνωριστεί ως σεισμός.
IV – Μέτριος	Αισθητός μέσα στα σπίτια, ως δονήσεις σαν να περνάει βαρύ φορτηγό δίπλα στο σπίτι. Λιγότερο αισθητός στην ύπαιθρο. Τίθενται σε κίνηση κρεμασμένα αντικείμενα. Τζάμια τρίζουν. Κρότοι πιάτων και παραθύρων, χτύπος στις πόρτες. Σταματημένα αυτοκίνητα κλυδωνίζονται. Τη νύχτα μερικοί ξυπνούν.
V – Σχετικά Ισχυρός	Αισθητός από όλους μέσα στα σπίτια, ως δονήσεις σαν να περνάει τρένο δίπλα στο σπίτι. Ενδεχομένως μη αισθητός στην ύπαιθρο υπό ορισμένες συνθήκες. Αιώρηση κρεμασμένων αντικειμένων. Ανατροπή μερικών μικρών αντικειμένων και σπάσιμο πιάτων. Ανοιχτές πόρτες ταλαντεύονται. Υγρά από δοχεία χύνονται. Τη νύχτα όλοι ξυπνούν.
VI – Ισχυρός	Αισθητός από όλους. Πολλοί τρομοκρατούνται και τρέχουν έξω από τα κτίρια. Οι άνθρωποι περπατούν με αστάθεια. Μετακίνηση ή ανατροπή πολυάριθμων μεγάλων αντικειμένων και επίπλων. Τζάμια σπάζουν. Βλάβες σε σοβάδες, κεραμίδια, καπνοδόχους. Μικρές καμπάνες ηχούν. Ζημιές λίγες και ελαφριές.

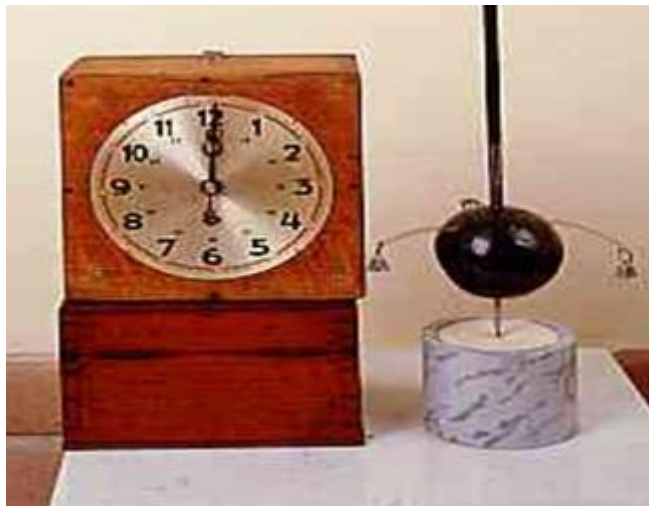
VII – Πολύ Ισχυρός	Δύσκολη η όρθια στάση. Πτώση πολυάριθμων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Μικρές ζημιές σε ισχυρές κατασκευές. Σοβάδες και τοιχοποιία ρηγματώνονται στις συνηθισμένες κατασκευές. Στις κακές κατασκευές πέφτουν σοβάδες, αποκολλώνται τούβλα και πέτρες. Γίνεται αισθητός από οδηγούς αυτοκινήτων. Μεγάλες καμπάνες ηχούν. Κυματισμός στις λίμνες, θόλωμα νερού από λάσπη.
VIII – Καταστροφικός	Επηρεάζεται η οδήγηση των αυτοκινήτων. Αρκετές ζημιές και μερική κατάρρευση στις συνηθισμένες κατασκευές. Μέτριες ζημιές στην τοιχοποιία των καλών κατασκευών και μεγάλες στις κακές κατασκευές. Κλαδιά σπάνε από τα δέντρα. Αλλαγές στη ροή και στη θερμοκρασία του νερού σε πηγάδια και πηγές.
IX – Πολύ Καταστροφικός	Γενικός πανικός. Σοβαρές βλάβες στην τοιχοποιία των καλών κατασκευών. Γενική καταστροφή στις κακές κατασκευές. Μικρού μεγέθους κτίρια αποσπώνται από τα θεμέλια. Υπόγειοι αγωγοί σπάζουν. Εμφανίζονται ρωγμές στο έδαφος. Σε περιοχές με υπόγεια ύδατα αναβλύζει από το έδαφος λεπτή άμμος, ιλύς και νερό.
X – Εξαιρετικά Καταστροφικός	Τα περισσότερα κτίρια καταστρέφονται. Πτώση μερικών καλών κατασκευών, ανθεκτικών ξύλινων κτιρίων και γεφυρών. Σχεδόν όλες οι κατασκευές τοιχοποιίας και τα προκατασκευασμένα κτίρια καταρρέουν μέχρι θεμελίων. Σοβαρές ζημιές στο οδικό δίκτυο και σε φράγματα, υδροφράκτες και αναχώματα. Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται ελαφρά. Μεγάλες κατολισθήσεις.
XI – Ασύλληπτα Καταστροφικός	Ελάχιστα κτίρια μένουν όρθια. Πτώση σχεδόν όλων των ανθρώπινων κατασκευών. Υπόγειοι αγωγοί και γραμμές μεταφοράς ενέργειας καταστρέφονται εντελώς. Καταστροφή οδικού δικτύου, πτώση γεφυρών και ανισόπεδων κόμβων. Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται έντονα. Πολυάριθμες κατολισθήσεις, ρήγματα και παραμορφώσεις του εδάφους.
XII – Ολική Καταστροφή (ή Κατακλυσμιαίος)	Ολική καταστροφή. Κατάρρευση όλων των κτιρίων μέχρι θεμελίων. Τεράστιες παραμορφώσεις του φλοιού της Γης. Το έδαφος κινείται σε κύματα ή ανυψώνεται και υποχωρεί αρκετά μέτρα και τα σεισμικά κύματα φαίνονται στην επιφάνεια. Αλλαγές στο ανάγλυφο του εδάφους και τη γραμμή του ορίζοντα. Μεγάλες ποσότητες βράχων αλλάζουν θέση. Αλλαγή ροής ποταμών. Δημιουργία καταρρακτών. Παραμόρφωση της όρασης. Μεγάλα αντικείμενα εκτινάσσονται στον αέρα. Το επίπεδο XII έχει καταγραφεί μόλις μια φορά στην ανθρώπινη ιστορία.

1.2.3. Όργανα καταγραφής σεισμών

Τα όργανα καταγραφής των σεισμικών δονήσεων καταγράφουν τα σεισμικά κύματα που ξεκινούν από την εστία και οδεύουν μέσα στα διάφορα στρώματα της Γης και φτάνουν στους γεωλογικούς σταθμούς παρατήρησης που είναι εγκατεστημένοι σε διάφορα σημεία πάνω στη Γη. Κατά την κίνηση του εδάφους από το σεισμό διακρίνονται 3 σημαντικές κινήσεις οι οποίες είναι : η μετάθεση, η περιστροφή η οποία είναι σημαντική μόνο κοντά στην εστία του σεισμού και η παραμόρφωση. Όργανα για την μελέτη της μετάθεσης διαθέτουν όλοι οι σεισμολογικοί σταθμοί του κόσμου διότι η μετάθεση και οι παράγωγοί της ως προς το χρόνο (ταχύτητα και επιτάχυνση) είναι αυτά που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τη σεισμολογία. Τα σειсмоγραφικά όργανα για τη παρατήρηση της μετάθεσης διακρίνονται με χρονολογική σειρά στα παρακάτω :

- Σεισμοσκόπια

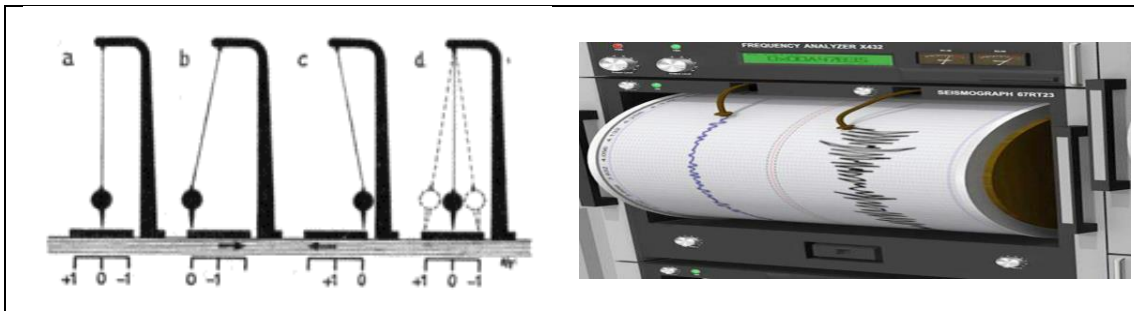
Είναι όργανα που απλά σημειώνουν τη γένεση των σεισμών και αναγράφουν την κίνηση πάνω σε αιθαλωμένη ή μη πλάκα ή χαρτί. Συγκεκριμένα, πρόκειται για μια μάζα που βρίσκεται σε ασταθή ισορροπία όπου στην περίπτωση σεισμού ανατρέπεται και θέτει σε λειτουργία κάποιο κουδουνάκι. Τα πιο εξελιγμένα η ανατροπή της μάζας σταματάει μέσω μηχανισμού και σε κάποια τίθεται σε λειτουργία χρονόμετρο. Τα σεισμοσκόπια εκτός από τη καταγραφή της κίνησης μας δίνουν πληροφορία για το χρόνο άφιξης του σεισμού στο σημείο που είναι τοποθετημένο το όργανο.



Εικόνα 1.3. Σεισμοσκόπιο

- Σεισμογράφοι

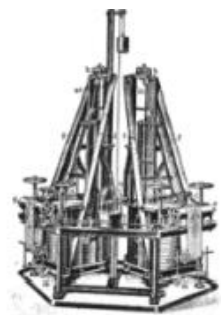
Είναι όργανα με τα οποία επιτυγχάνεται η ακριβή αλλά όχι και πιστή καταγραφή των σεισμών. Η καταγραφή γίνεται με γραφίδα πάνω σε ταινία ή με φωτεινή κηλίδα πάνω σε φωτογραφική ταινία και ονομάζεται σεισμογράφημα. Τα βασικά μέρη ενός σεισμογράφου είναι το εκκρεμές, το σύστημα μεγέθυνσης ή ενίσχυσης και το σύστημα καταγραφής. Το εκκρεμές είναι το κομμάτι που ανταποκρίνεται άμεσα στην εδαφική κίνηση. Η γραφίδα συνδέεται με τη μάζα του εκκρεμούς με σύστημα μοχλών που μεγενθύνουν την κίνηση. Όταν γίνεται η καταγραφή του σεισμού δημιουργείται τριβή μεταξύ του σημείου επαφής της γραφίδας με την ταινία και μεταξύ των αρθρώσεων των μοχλών που μεγενθύνουν την κίνηση. Γι αυτό το λόγο η μάζα του εκκρεμούς θα πρέπει να είναι μεγάλη έτσι ώστε η δύναμη αδράνειας να είναι αρκετά μεγάλη για να υπερνικάει τις τριβές. Η ταινία καταγραφής των σεισμικών κυμάτων είναι τυλιγμένη γύρω από έναν κύλινδρο που περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ενώ συγχρόνως μετακινείται κατά τη διεύθυνση του άξονα του. Για το σωστό καθορισμό της μετάθεσης σε έναν σταθμό πρέπει να υπάρχουν 3 σεισμογράφοι από τους οποίους ο ένας θα καταγράφει την κατακόρυφη συνιστώσα και οι άλλοι δύο τις οριζόντιες συνιστώσες της εδαφικής κίνησης.



Εικόνα 1.4. Είδη Σεισμογράφων

- Σεισμόμετρα

Είναι τα όργανα τα οποία καταγράφουν με σημαντική ακρίβεια τις σεισμικές κινήσεις. Σε αντίθεση με τους σεισμογράφους, τα σεισμόμετρα διαθέτουν συσκευή απόσβεσης κι έτσι επιτυγχάνεται η απόσβεση της αιώρησης του εκκρεμούς. Οι καταγραφές των σεισμομέτρων ονομάζονται σεισμογραφήματα και η καταγραφή των σεισμικών κυμάτων μπορεί να είναι είτε μηχανική, είτε οπτική, είτε ηλεκτρομαγνητική. Για τη μηχανική καταγραφή χρησιμοποιούνται σεισμόμετρα τύπου Mainka και Wiechert, για την οπτική τύπου Milne – Show και Wood – Anderson και για την ηλεκτρομαγνητική σεισμόμετρο κινούμενου πηνίου Galitzin και το σεισμόμετρο μεταβαλλόμενης μαγνητικής αντίστασης Benioff.



Οριζόντιο σεισμόμετρο Mainka
(Sieberg, 1923)



Εικόνα 1.5. Είδη Σεισμομέτρων

- Επιταχυνσιογράφοι

Είναι όργανα τα οποία αποτελούν ειδική κατηγορία σεισμομέτρων και χρησιμοποιούνται αποκλειστικά από την τεχνική σεισμολογία δίνοντάς μας τη σεισμική επιτάχυνση σε συνάρτηση με το χρόνο. Τοποθετούνται μέσα στα κτίρια και δεν βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία όπως ένα απλό σεισμόμετρο, αλλά μπαίνουν σε λειτουργία με κατάλληλη διέγερση στην αρχή του σεισμού και καταγράφουν την επιτάχυνση που προκαλείται από τον σεισμό. Ο πιο διαδεδομένος τύπος επιταχυνσιογράφου ήταν ο αναλογικός επιταχυνσιογράφος SMA-1, στον οποίο η καταγραφή της σεισμικής δόνησης γίνεται σε φωτογραφικό φιλμ.



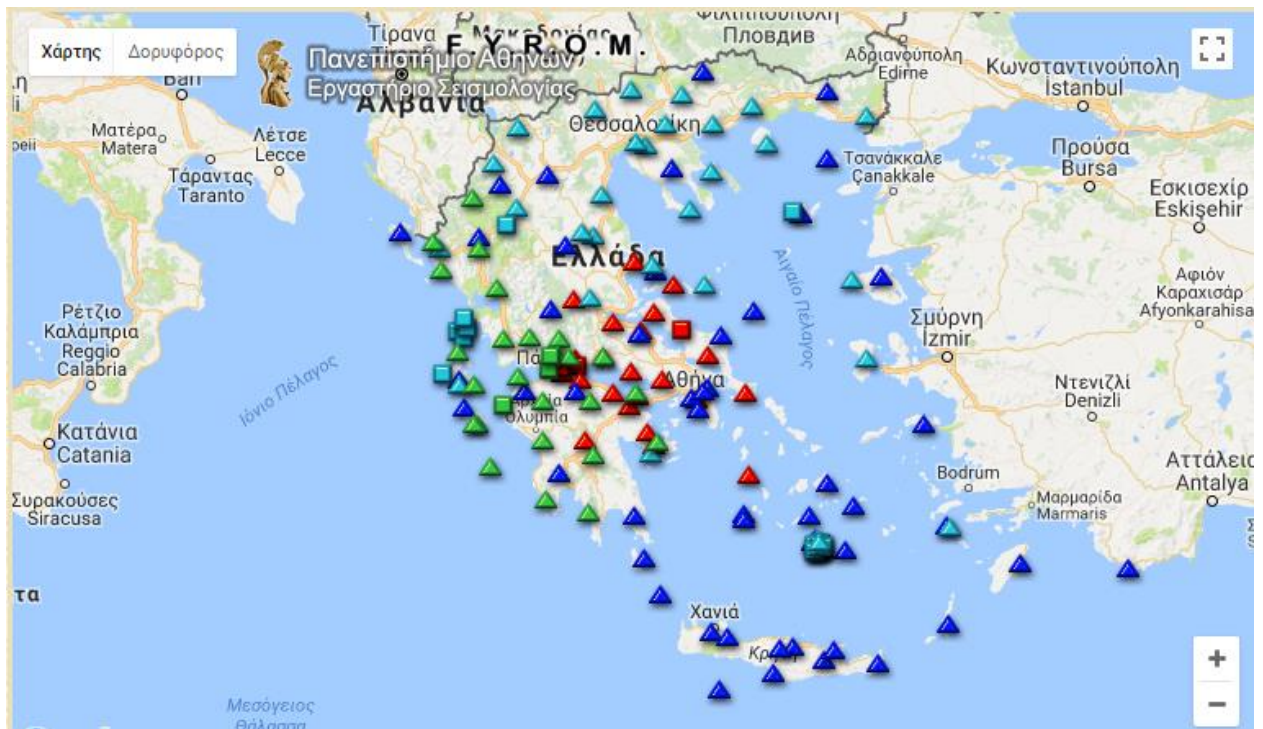
Εικόνα 1.6. Αναλογικοί Επιταχυνσιογράφοι SMA-1

Στην Ελλάδα υπάρχουν μόνιμα εγκατεστημένα τα όργανα αυτά της μέτρησης των σεισμών σε συγκεκριμένους σεισμολογικούς σταθμούς. Το πρώτο σεισμόμετρο εγκαταστάθηκε το 1911 στην Αθήνα. Παλιότερα τα στοιχεία που σχετίζονταν με τη σεισμική δραστηριότητα βασίζονταν κυρίως σε περιγραφές μακροσεισμικών αποτελεσμάτων. Στους χάρτες που ακολουθούν φαίνονται οι σεισμολογικοί σταθμοί

που υπάρχουν σε παγκόσμιο επίπεδο (Εικόνα 1.7) και οι σεισμολογικοί σταθμοί που είναι εγκατεστημένοι στην Ελλάδα (Εικόνα 1.8). Στον παγκόσμιο χάρτη φαίνονται οι σταθμοί ευρέως φάσματος που ανήκουν στην Ένωση Ψηφιακών Σεισμολογικών Δικτύων FDSN (Federation of Digital Seismic Networks).



Εικόνα 1.7. Παγκόσμιος χάρτης σεισμολογικών σταθμών



Εικόνα 1.8. Χάρτης σεισμολογικών σταθμών στην Ελλάδα

1.3 Σεισμική δραστηριότητα στον Ελλαδικό χώρο

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με οξύ σεισμικό πρόβλημα συγκεντρώνοντας περίπου το 2% της παγκόσμιας εκλυόμενης σεισμικής ενέργειας και το 50% της Ευρωπαϊκής. Κατέχει την πρώτη θέση στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο και την έκτη θέση παγκοσμίως μετά την Ιαπωνία, τις Νέες Εβρίδες, το Περού, τα Νησιά Σολομώντα και τη Χιλή.

1.3.1. Αιτία δημιουργίας των σεισμών στην Ελλάδα

Ο Ελλαδικός χώρος βρίσκεται στην περιοχή σύγκλισης δύο μεγάλων λιθοσφαιρικών πλακών, της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής πλάκας και γι αυτό χαρακτηρίζεται από μεγάλη σεισμικότητα (η σεισμικότητα ενός τόπου καθορίζεται από την συχνότητα εμφάνισης σεισμών και από τα μεγέθη τους). Ο χώρος θεωρείται αρκετά πολύπλοκος λόγω των συμπιεστικών δυνάμεων που ασκούνται στην Ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα, τμήμα της οποίας είναι το Αιγαίο από την Αφρικανική λιθοσφαιρική πλάκα, τμήμα της οποίας είναι η λιθόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου. Εκτός όμως από τις συμπιεστικές ασκούνται και εφελκυστικές δυνάμεις οι οποίες ασκούνται στον πυθμένα αυτού του χώρου. Η σύγκλιση των δύο αυτών μεγάλων πλακών οδηγεί με αργό αλλά σταθερό ρυθμό στην καταβύθιση της πλάκας της Ανατολικής Μεσογείου κάτω από την ηπειρωτική πλάκα του Αιγαίου, λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας. Το επίκεντρο του ενδιαφέροντος βρίσκεται στο τόξο που δημιουργείται στην περίπτωση αυτή και το οποίο αποτελείται από την ελληνική τάφρο, το νησιωτικό τόξο, την οπισθοτάφρο και το ηφαιστειακό τόξο (Εικόνα 1.9).



Εικόνα 1.9. Το Ελληνικό Τόξο

Η τάφρος δημιουργείται κατά μήκος της επαφής των δύο πλακών και αποτελεί μια σειρά από βαθιές θαλάσσιες λεκάνες από τη Ρόδο μέχρι και την Κεφαλονιά, γνωστή και ως ελληνική διάυλος. Νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου στο Ιόνιο πέλαγος έχει εντοπιστεί το μέγιστο βάθος της τάφρου το οποίο είναι περίπου 4.500m και το οποίο είναι και το βαθύτερο σημείο της Μεσογείου.

Το νησιωτικό τόξο αποτελείται από μία σειρά διαδοχικών νησιών την Ρόδο, τη Κρήτη, τα Κύθηρα και από την Πελοπόννησο. Τοποθετείται παράλληλα ως προς την τάφρο και σε μικρή απόσταση από αυτήν. Δημιουργείται από την παραμόρφωση και ανύψωση κυρίως ιζηματογενών πετρωμάτων του περιθωρίου της Ευρασιατικής πλάκας και περιλαμβάνει πολύ παραμορφωμένα πετρώματα της Αλπικής πύχωσης.

Η **οπισθοτάφρος** είναι μία θαλάσσια λεκάνη στο Κρητικό πέλαγος η οποία βρίσκεται μπροστά από το νησιωτικό τόξο και πάνω στην Ευρασιατική πλάκα. Έχει μικρότερο βάθος από την τάφρο, με το μέγιστο βάθος της να φτάνει περίπου τα 2.000m.

Το ηφαιστειακό τόξο αποτελείται από διαδοχικά ηφαίστεια τα οποία βρίσκονται σε Σουσάκι, Μέθανα, Μήλο, Σαντορίνη και Νίσυρο. Η δημιουργία τους οφείλεται σε ανατίναξη υλικού τηςυποβυθιζόμενης Αφρικανικής πλάκας. Το υλικόαυτό κατά την άνοδό του διαπερνά την Ευρασιατική πλάκα και σχηματίζει τα ηφαίστεια.

Στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου το βασικό μορφολογικό χαρακτηριστικό είναι η τάφος του Βορείου Αιγαίου η οποία έχει μήκος 1.500m.

1.3.2. Οι καταστροφικότεροι σεισμοί του Ελλαδικού χώρου

Τα μεγαλύτερα σεισμικά γεγονότα που έχουν συμβεί στην Ελλάδα από το 1900 και μετά προκαλώντας μεγάλες καταστροφές, τραυματισμούς και θανάτους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1-3). Η ταξινόμηση έχει γίνει με βάση τον ισχυρότερο σεισμό.

Πίνακας 1-3. Οι μεγαλύτεροι σεισμοί της Ελλάδας (1990-2017)

Richter	Περιοχή	Χρονολογία
8R	Ρόδος, Αρχάγγελος	26/6/1926
7,9R	Κύθηρα, Μιτάτα	11/8/1903
7,5R	Χαλκιδική, Άθως	8/11/1905
7,5R	Αμοργός, Ποταμός	9/7/1956
7,2R	Σπάρτη	30/8/1926
7,2R	Κεφαλονιά, Αργοστόλι	12/8/1953
7,2R	Ρόδος	25/4/1957
7,1R	Άγιος Ευστράτιος	19/2/1968
7R	Χαλκιδική, Ιερισσός	26/9/1932
7R	Λασιθι, Ανώγια	25/2/1935
7R	Μεσσηνία, Πυλία	6/10/1947
7R	Καρδίτσα, Σοφάδες	30/4/1954
6,9R	Κρήτη, Χανιά	18/2/1910
6,8R	Σάμος	11/8/1904
6,8R	Κεφαλονιά, Ασπρογέρακας	24/1/1912
6,8R	Αιτωλία, Αγρίνιο	31/3/1965
6,8R	Κρήτη, Ζάκρο	13/8/1992
6,7R	Ιθάκη	7/8/1915
6,7R	Χίος, Καρδάμυλα	23/8/1949

6,7R	Αλκονίδες, Περαχώρα	24/2/1981
6,6R	Θεσσαλονίκη, Άσσηρος	5/7/1902
6,5R	Θεσσαλονίκη, Στίβος	20/6/1978
6,5R	Ηλεία, Ανδραβίδα	8/6/2008
6,4R	Ιωάννινα - Άρτα	1/5/1967
6,3R	Κόρινθος	22/4/1928
6,2R	Λίμνη Κρεμαστών, Πετράλωνα	5/2/1966
6,1R	Αίγιο	15/6/1995
6,1R	Αθήνα, Πάρνηθα	7/9/1999
6,1R	Λέσβος	12/6/2017
6,1R	Κεφαλονιά	26/1/2014
6R	Βοιωτία, Θήβα	17/10/1914
6R	Λευκάδα	17/11/2015
6R	Κόρινθος, Σαρικό	17/5/1930
6R	Αττική, Ωρωπός	20/7/1938
6R	Καλαμάτα	13/9/1986

1.3.3. Οι καταστροφικότεροι σεισμοί παγκοσμίως

Στο σημείο αυτό, εκτός από τους μεγαλύτερους και καταστροφικότερους σεισμούς που έχουν συμβεί στην Ελλάδα, αξίζει να γίνει αναφορά και τους σημαντικότερους σεισμούς σε παγκόσμιο επίπεδο (Πίνακας 1-4). Η ταξινόμηση και εδώ έχει γίνει με βάση τον ισχυρότερο σεισμό.

Πίνακας 1-4. Οι μεγαλύτεροι σεισμοί παγκοσμίως

Richter	Περιοχή	Χρονολογία
9,5R	Νότια Χιλή	22/5/1960
9,2R	Πρίνς Γουίλιαμ Σάουντ, ΗΠΑ	28/3/1964
9,2R	Σουμάντρα, Ινδονησία	26/12/2004
9R	Καμτσάκα, Ρωσία	4/11/1952
9R	Περιοχή Ταχόκου, Ιαπωνία	11/3/2011
8,8R	Αρίκα, Χιλή	27/2/2010
8,8R	Εκουαδόρ, Κολομβία	31/1/1906
8,8R	Μπίο-Μπίο, Χιλή	27/2/2010
8,7R	Νησιά Rat, Αλάσκα, ΗΠΑ	4/2/1965
8,6R	Σουμάντρα, Ινδονησία	28/3/2005
8,6R	Ασάμ, Ινδία	15/8/1950

8,6R	Θιβέτ	15/8/1950
8,6R	Νησιά Αντρεάνοφ,	9/3/1957
8,5R	Σουμάντρα, Ινδονησία	12/9/2007
8,5R	Θάλασσα Μπάντα, Ινδονησία	1/2/1938
8,5R	Καμτσάκα, Ρωσία	3/2/1923
8,5R	Σύνορα Χιλής-Αργεντινής	11/11/1922
7R	Αϊτή	12/1/2010

1.4 Οι επιπτώσεις των σεισμών

Οι σεισμοί που γίνονται κατά τη διάρκεια ενός έτους σε όλο τον κόσμο είναι χιλιάδες. Από αυτούς οι περισσότεροι δεν γίνονται αισθητοί, κάποιιοι γίνονται αισθητοί χωρίς να προκαλέσουν επιπτώσεις και κάποιιοι άλλοι μεγάλοι σε μέγεθος είναι αυτοί που έχουν μεγάλες επιπτώσεις στις τεχνικές κατασκευές, στους ανθρώπους, στο έδαφος και στη θάλασσα.

Στο έδαφος οι επιπτώσεις που παρουσιάζονται είναι η διάρρηξη της εδαφικής έκτασης με την παρουσία ρωγμών και επιφανειακών ιχνών των σεισμικών ρηγματών στην επιφάνεια του εδάφους, οι καθιζήσεις και ρευστοποιήσεις των μη συμπυκνωμένων εδαφών, όπως επίσης και οι αποκολλήσεις και κατολισθήσεις βράχων. Εκτός από τις εδαφικές μετακινήσεις, επιπτώσεις παρουσιάζονται και σε υδάτινα στοιχεία, παρατηρώντας αρκετές φορές μεταβολές στη παροχή των πηγών και των ρεμάτων, διαταραχές και μεταβολές της στάθμης του νερού καθώς και δημιουργία λιμνών ή πλημμυρών λόγω αύξησης της υδροστατικής πίεσης. Σε πιο σπάνιες περιπτώσεις παρατηρούμε τη δημιουργία θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας, τα γνωστά tsunami, τα οποία έχουν μεγάλο μήκος κύματος και διαδίδονται στην επιφάνεια της θάλασσας μεταφέροντας μεγάλες ποσότητες νερού, με ύψος που μπορεί να φτάσει έως και 40m και τα οποία μπορούν να επιφέρουν τεράστιες καταστροφές σε παραθαλάσσιες περιοχές και απώλειες ανθρώπινων ζωών. Ένα σεισμικό γεγονός εφόσον επηρεάζει το έδαφος, επηρεάζει και κάθε είδους υποδομή και κατά συνέπεια και τον άνθρωπο.

Οι επιπτώσεις ενός σεισμού στον άνθρωπο ποικίλουν αναλόγως την περίπτωση και το μέγεθος του σεισμού. Το πιο συχνό αποτέλεσμα είναι ο φόβος και ο πανικός που μας προκαλεί ο σεισμός, η νευρική υπερδιέγερση και το άγχος που πολλές φορές μας οδηγούν στη λανθασμένη διαχείριση και αντιμετώπιση που προβλήματος. Το δυσμενέστερο αποτέλεσμα στον άνθρωπο είναι οι απώλειες ζωής και οι τραυματισμοί που προέρχονται από καταρρεύσεις των τεχνικών κατασκευών. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι εκτός από τον πανικό που κυριαρχεί στους ανθρώπους και

οδηγεί σε λάθος χειρισμούς που μπορεί να επιφέρουν τραυματισμούς σημαντικό ρόλο παίζει και η διάλυση η οποία επικρατεί σε σημαντικές κοινωνικές δομές και υπηρεσίες, όπως η πυροσβεστική, η αστυνομία, τα νοσοκομεία και κυρίως οι δήμοι αλλά και γενικότερα άλλοι δημόσιοι φορείς που καλούνται πρώτοι να διαχειριστούν και να δώσουν λύση στην κατάσταση που επικρατεί με το τέλος της σεισμικής διέγερσης.

Στις κατασκευές παρουσιάζονται βλάβες στα θεμέλια, στα δομικά και στα μη δομικά στοιχεία των κτιρίων και σε ακραίες περιπτώσεις καταρρεύσεις ολόκληρων κτιρίων. Βλάβες παρουσιάζονται και στα οδικά δίκτυα δημιουργώντας προβλήματα στην πρόσβαση και βοήθεια στις σεισμόπληκτες περιοχές. Επίσης, βλάβες παρουσιάζονται και σε δίκτυα ύδρευσης, δίκτυα τηλεπικοινωνιών και βλάβες στο δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις λόγω των βλαβών του ηλεκτρικού ρεύματος προκαλούνται βραχυκυκλώσεις που οδηγούν σε πυρκαγιά. Πυρκαγιά κατά τη διάρκεια ενός σεισμού προκαλείται και από τη θραύση δεξαμενών και αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου ή διαρροές υγραερίου.

Οι βλάβες αυτές που παρουσιάζονται στις κατασκευές σχετίζονται κυρίως και με τις οικονομικές συνέπειες που επιφέρουν οι σεισμοί. Οι οικονομικές συνέπειες των σεισμών δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν ακριβώς διότι εξαρτώνται από διαφορετικούς μεταξύ τους παράγοντες όπως από το μέγεθος και την καταστροφή που θα προκαλέσει ο σεισμός, από την αντισεισμικότητα των κατασκευών, ακόμα και από την ετοιμότητα των πολιτών και της ίδιας της πολιτείας. Συνήθως, όταν αναφερόμαστε σε οικονομικές συνέπειες εννοούμε τα χρήματα που ξοδεύει το κράτος, η τοπική κοινότητα και αρκετές φορές και οι ίδιοι οι πολίτες για την αποκατάσταση των ζημιών. Εκτός όμως από αυτά τα χρήματα θα πρέπει να συνυπολογίζονται και δαπάνες του κράτους για την πρόληψη και την προστασία από τους σεισμούς. Στην Ελλάδα η έντονη σεισμικότητα που επικρατεί επιφέρει στην οικονομία μια μέση ετήσια ζημιά της τάξης των 500 εκατομμυρίων ευρώ για την αποκατάσταση των ζημιών (Παπαζάχος, 1997, Ε.Κ.Π.Σ., ΟΑΣΠ, 2003). Χαρακτηριστικός είναι ο σεισμός της Πάρνηθας στην Αθήνα το 1999, κατά τον οποίο υπήρξαν 143 νεκροί και τουλάχιστον 700 τραυματίες. Κατέρρευσαν 111 κτίρια, ενώ 5.222 χαρακτηρίστηκαν κόκκινα, δηλαδή ακατάλληλα για χρήση και 38.165 κίτρινα, δηλαδή προσωρινά ακατάλληλα για χρήση, μένοντας έτσι στο δρόμο 50.000 άνθρωποι. Ο σεισμός αυτός αποτέλεσε την πιο κοστοβόρα φυσική καταστροφή της Ελλάδας, εφόσον το συνολικό κόστος έχει υπολογιστεί περίπου στα 3,8 δισεκατομμύρια ευρώ. Είναι φανερό λοιπόν το τεράστιο οικονομικό κόστος που μπορεί να δημιουργήσει ένας σεισμός σε ένα κράτος.

1.5 Οι κυριότερες αιτίες βλάβης στα κτίρια

Παρά το γεγονός ότι οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί είναι σε πολύ καλό επίπεδο και τα νέα κτίρια παρουσιάζουν πολύ καλή συμπεριφορά στις σεισμικές δραστηριότητες, υπάρχουν πάρα πολλά παλαιότερα κτίρια στην Ελλάδα, σε ποσοστό 70%, τα οποία αποτελούν τον μεγαλύτερο κίνδυνο στην περίπτωση σεισμού. Από το ποσοστό αυτό αρκετά είναι τα κτίρια που έχουν σχεδιαστεί χωρίς κάποιον αντισεισμικό κανονισμό και υπάρχουν και περιπτώσεις κτιρίων που ενώ έχουν σχεδιαστεί να παραλαμβάνουν έστω και μικρού μεγέθους σεισμικές δράσεις, το δομικό τους σύστημα καθιστά συχνά την συμπεριφορά τους έναντι στο σεισμό ακόμα πιο δυσμενή. Οι πλειοψηφία των κτιρίων αυτών είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα και οι κυριότερες αιτίες που παρουσιάζουν βλάβες τα κτίρια είναι οι εξής :

- Κακή μορφολογία της κατασκευής : ασυμμετρίες σε κάτοψη και τομή , κακή κατανομή μαζών και ακαμψιών, ασυνέχειες της κατασκευής
- Διαφορετικές στάθμες πλακών σε γειτονικά κτίρια : κίνδυνοι από πρόσκρουση
- Κατασκευαστικές ατέλειες : ανεπαρκή μήκη αγκυρώσεων και κυρίως αναμονών υποστυλωμάτων, κακή διαμόρφωση αρμών διακοπής εργασιών, υπερβολικό αραίωμα συνδετήρων και οπλισμών διανομής, μεταγενέστερες εγκοπές και τρυπήματα στοιχείων από σκυρόδεμα, ανεπαρκείς διαμορφώσεις κόμβων
- Ανεπαρκείς συνδέσεις στοιχείων : κυρίως στεγών με φέρουσες τοιχοποιίες, δοκών με υποστυλώματα αλλά και στερεώσεις στηθαίων, κορνιζωμάτων
- Αγνόηση του ρόλου των τοιχωμάτων πλήρωσης : είναι γεγονός ότι ο οργανισμός πλήρωσης ενός κτιρίου είναι φέρων για τα σεισμικά φορτία. Επίσης η παρουσία του μεταβάλλει την ιδιοπερίοδο του κτιρίου και συνεπώς και την σεισμική φόρτιση. Ακόμη, μετακινεί το ελαστικό κέντρο της κατασκευής και μεταβάλλει τη σχέση των ακαμψιών και την κατανομή των οριζόντιων δυνάμεων του σεισμού. Ο ρόλος τους σχεδόν πάντα, παραλείπεται και συχνά γίνονται σημαντικές αλλαγές των τοίχων στην κατασκευή, ενώ αντίθετα, εκτός από την μελέτη απαιτεί και καλή κατασκευή (περιεκτικότητα τσιμέντου, καλή σφήνωση, σενάζ κλπ.).
- Παραλήψεις μελέτης : οι παραλήψεις ή οι απλοποιήσεις στις στατικές μελέτες οφείλονται κατά ένα μεγάλο ποσοστό στην ανεπάρκεια του

ισχύοντος Αντισεισμικού Κανονισμού, αλλά και του Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος

- Παραλήψεις του ίδιου του μηχανικού, όπως για παράδειγμα η παράλειψη ελέγχου σε στροφή κτιρίου όπου δεν συμπίπτουν επαρκώς το κέντρο βάρους και το ελαστικό κέντρο, η μη αντισεισμική κάλυψη όλων των δοκών (εσωτερικών και εξωτερικών), η παράλειψη του ρόλου των κλιμάκων σαν λοξών, αξονικών καταπονούμενων στοιχείων της διαξονικής κάμψης των γωνιακών υποστυλωμάτων, της διακοπής των υποστυλωμάτων ψηλών ισογείων, (μαγαζιών κυρίως) από ενδιάμεσα πατάκια, της συχνά λανθασμένης αντιμετώπισης των τοιχίων, του ελέγχου βελών, λυγηρότητας κλπ.
- Μη καλή ποιότητα υλικών : Ανυπαρξία ακριβών προδιαγραφών και τυποποίησης, κρατικού ελέγχου και ελέγχου του επιβλέποντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

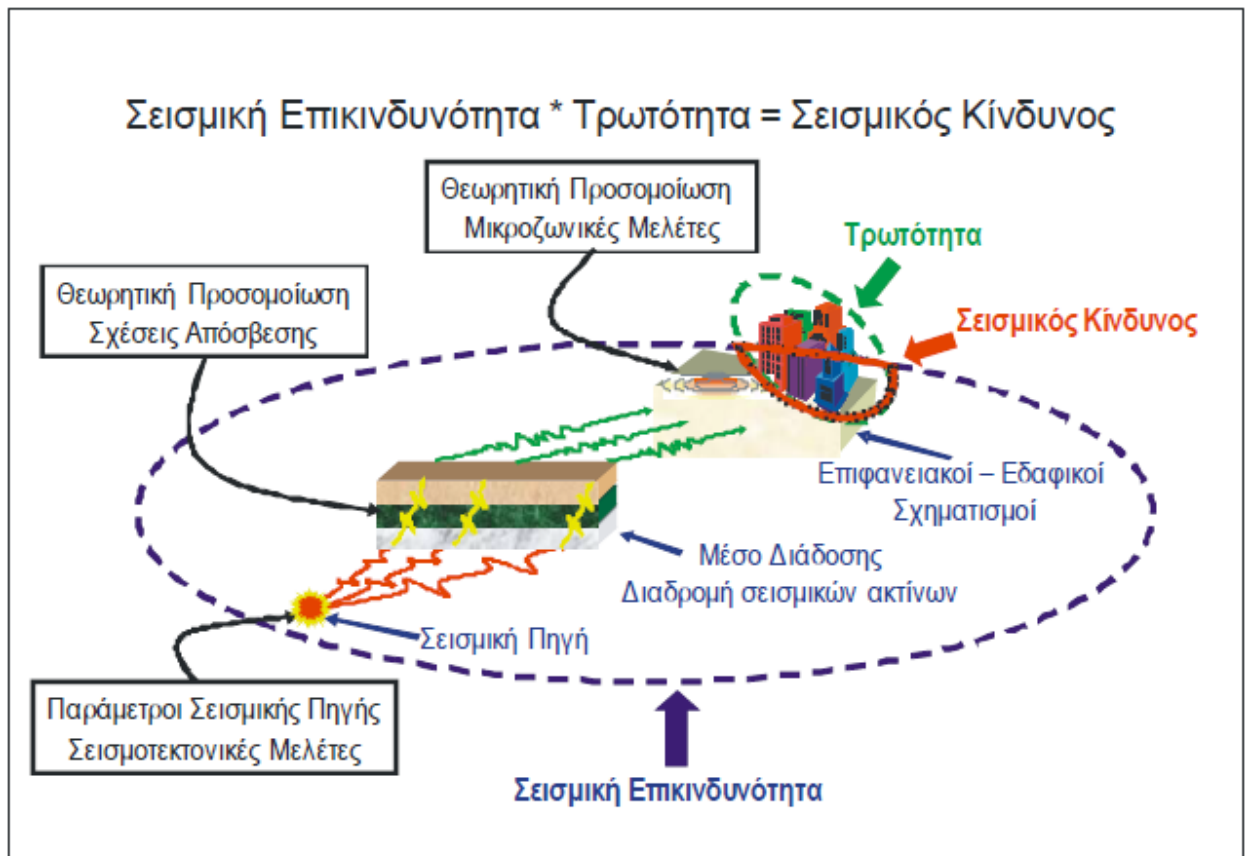
ΟΡΙΣΜΟΙ

2.1 Σεισμική Διακινδύνευση ή Σεισμικός Κίνδυνος (SeismicRisk)

Σεισμική διακινδύνευση ορίζεται ως το σύνολο των πιθανών απωλειών που θα υποστεί ένα κτίριο ή ένα σύνολο κτιρίων ή μια ολόκληρη περιοχή όταν εκτίθεται σε κίνδυνο σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Είναι ένας όρος ο οποίος μεταφράζεται στις συνέπειες που μπορεί να προκαλέσει ένας σεισμός οι οποίες εκτός από άμεσες, όπως για παράδειγμα οι πιθανές βλάβες που θα προκληθούν στις κατασκευές και στα δίκτυα και οι πιθανοί τραυματισμοί και οι ανθρώπινες απώλειες, είναι παράλληλα και έμμεσες εφόσον πολλές φορές παρουσιάζεται η ανάγκη διακοπής της παραγωγικότητας ενός κτιρίου ή μιας περιοχής, η ανάγκη μεταφοράς και στήριξης των κατοίκων και γενικότερα η ανάγκη παροχής βοήθειας στις σεισμόπληκτες περιοχές. Γι αυτό το λόγο παρατηρούμε πως για την διαχείριση αυτών των συνεπειών εμπλέκονται πολλές επιστήμες και υπηρεσίες, όπως επιστήμες μηχανικής, οικονομικών, κοινωνικών, κυβερνητικοί φορείς, διεθνείς οργανισμοί και ασφαλιστικές εταιρείες, οδηγώντας συχνά σε σύγχυση καθώς ο κάθε ένας θα κληθεί να δώσει τη δική του ερμηνεία στο όρο της διακινδύνευσης. Η σεισμική διακινδύνευση εξαρτάται από την σεισμική επικινδυνότητα και την τρωτότητα και η σχέση που τα συνδέει είναι η εξής :

$$R = H * V[1]$$

Σεισμική Διακινδύνευση = Σεισμική Επικινδυνότητα * Τρωτότητα



Εικόνα 2.2. Διάγραμμα συσχέτισης βασικών εννοιών της τεχνικής σεισμολογίας.

Από τη σχέση αυτή προκύπτει το συμπέρασμα ότι για να μειωθεί η σεισμική διακινδύνευση θα πρέπει να μειωθεί ένας από τους δύο παράγοντες που την επηρεάζουν, δηλαδή είτε η σεισμική επικινδυνότητα είτε η τρωτότητα. Η σεισμική επικινδυνότητα όμως επηρεάζεται αποκλειστικά από φυσικούς παράγοντες και δεν υπάρχει η δυνατότητα ανθρώπινης επέμβασης. Παρατηρούμε ότι για να μειωθεί η σεισμική διακινδύνευση θα πρέπει να μειωθεί η τρωτότητα των κατασκευών. Γι αυτό το λόγο υπάρχει μεγάλη απαίτηση για την κατασκευή τεχνικών έργων μειωμένης τρωτότητας ώστε οι κατασκευές να έχουν την καλύτερη δυνατή απόκριση στις σεισμικές κινήσεις. Οι μηχανικοί χρειάζονται όσο το δυνατό περισσότερες πληροφορίες για τις ιδιότητες των κινήσεων αυτών κάτι που επιτυγχάνεται μέσα από τη συνεργασία με τους σεισμολόγους από τους οποίους αντλούν τις πληροφορίες αυτές.

Αξιόπιστες μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας μπορούν να συμβάλουν καθοριστικά στη μείωση των ανθρώπινων απωλειών, στη μείωση βλαβών στις τεχνικές κατασκευές και στη μείωση του οικονομικού κόστους που επιφέρει ένας σεισμός. Σημαντική είναι και η βελτίωση μέσω αυτών των μελετών και σε κανονισμούς όπως ο αντισεισμικός.

2.2 Σεισμική Επικινδυνότητα (Seismic Hazard)

Σεισμική επικινδυνότητα ορίζεται ως η πιθανότητα κάποια εδαφική παράμετρος, όπως η επιτάχυνση, η μετατόπιση, η ταχύτητα, η ένταση ή η διάρκεια να ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα σε μια θέση. Για παράδειγμα, υπάρχει 5% πιθανότητα η επιτάχυνση να υπερβεί την τιμή 0,5g. Έτσι ορίζουμε την πιθανότητα να εκδηλωθεί ένας σεισμός συγκεκριμένου μεγέθους τη δεδομένη χρονική περίοδο σε συγκεκριμένη περιοχή.

Ο χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας στον Ελλαδικό χώρο παρουσιάζει τις τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας στις οποίες κατανέμεται η χώρα. Οι τιμές των εδαφικών επιταχύνσεων σχεδιασμού για τη ζώνη I είναι 0,16g, για τη ζώνη II είναι 0,24g και για τη ζώνη III είναι 0,36g.



Εικόνα 2.3. Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας.

Στον παραπάνω χάρτη φαίνεται ξεκάθαρα ότι οι περιοχές με την μεγαλύτερη επικινδυνότητα είναι τα νησιά του Ιονίου που βρίσκονται στο κόκκινο και ακολουθούν με πράσινο χρώμα η δυτική Πελοπόννησος, η Κρήτη, ο Κορινθιακός κόλπος, η Στερεά Ελλάδα και ένα κομμάτι της Χαλκιδικής.

Οι μηχανικοί έχουν χρησιμοποιήσει διάφορες μέθοδοι για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας, ώστε να λαμβάνουν τις κινήσεις του εδάφους σε συγκεκριμένη θέση με σκοπό να τις χρησιμοποιήσουν για τον ακριβή υπολογισμό για το σχεδιασμό του σεισμού. Οι κυριότερες μέθοδοι είναι η αιτιοκρατική και η πιθανολογική ανάλυση. Στην αιτιοκρατική ανάλυση γίνεται μια προσέγγιση για τον υπολογισμό της σεισμικής επικινδυνότητας με τη χρήση διακριτών τιμών ή μοντέλων ώστε να εκφραστεί η σεισμική επικινδυνότητα σε μια θέση. Γίνεται δηλαδή υπόθεση βάση σεναρίων ότι ο μεγαλύτερος σεισμός θα γίνει στο κοντινότερο σημείο της περιοχής, υπολογίζεται η κίνηση του εδάφους και γίνεται εκτίμηση των ζημιών που θα υποστεί η περιοχή. Για παράδειγμα, για σεισμό μεγέθους 6R σε απόσταση 10km από συγκεκριμένο ρήγμα, η σεισμική επικινδυνότητα στη συγκεκριμένη θέση είναι 0,5g. Η δυσκολία της μεθόδου αυτής είναι ότι δεν είναι εφικτό να υπολογιστούν με ακρίβεια η θέσεις των ενεργών ρηγμάτων και δεν είναι ποτέ σίγουρο πως δεν μπορεί να εμφανιστεί μεγαλύτερος σεισμός από αυτόν που έχει εκτιμηθεί βάσει του σεναρίου. Στην πιθανολογική ανάλυση γίνεται χρήση μοντέλων που εισάγουν την πιθανότητα να συμβεί ένα σεισμικό γεγονός στις αναλύσεις. Υπολογίζεται δηλαδή η πιθανότητα να συμβεί σεισμός συγκεκριμένου μεγέθους σε μια θέση σε χρονικό διάστημα στο μέλλον. Για παράδειγμα, η σεισμική επικινδυνότητα είναι 0,4g μέγιστη εδαφική επιτάχυνση με πιθανότητα μη υπέρβασης 90% (ή πιθανότητα υπέρβασης 10%) για χρονικό διάστημα 50 χρόνων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται περισσότερο σήμερα, μέσα από τους αντισεισμικούς κανονισμούς διότι προσφέρει ευελιξία και αξιοπιστία.

2.3 Σεισμική Τρωτότητα (Seismic Vulnerability)

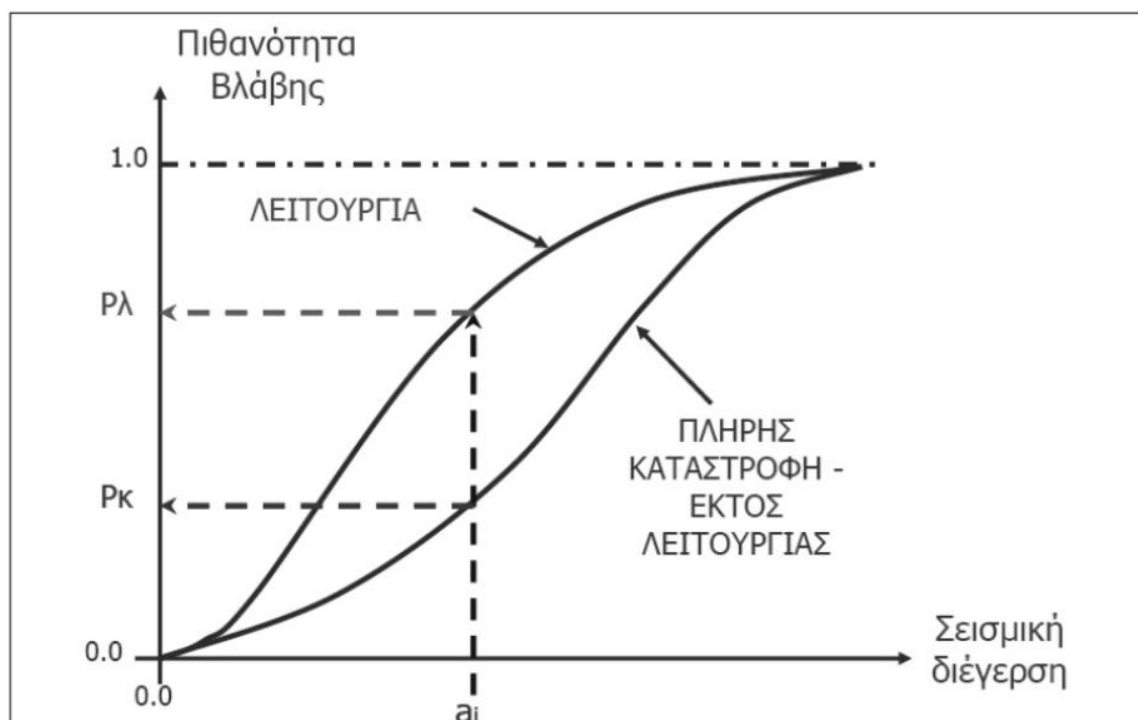
Σεισμική τρωτότητα ορίζεται ως η τάση μιας κατασκευής να υποστεί βλάβες όταν υποβάλλεται σε σεισμική ένταση. Διακρίνεται σε δομική και μη δομική τρωτότητα. Η δομική τρωτότητα αφορά τα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου δηλαδή τα υποστυλώματα, τις δοκούς, τις πλάκες, τα τοιχία και τη θεμελίωση. Η μη δομική τρωτότητα αφορά τα μη δομικά στοιχεία δηλαδή τον εξοπλισμό και τα αντικείμενα που διαθέτει ένα κτίριο. Στα μη δομικά στοιχεία εντάσσονται τα αρχιτεκτονικά στοιχεία του κτιρίου, όπως διαχωριστικοί τοίχοι, πόρτες, παράθυρα, ψευδοροφές, επιχρίσματα, εξωτερικές ή εσωτερικές επενδύσεις από γυαλί, ξύλο ή οποιοδήποτε άλλο υλικό. Επίσης, εντάσσονται οι εγκαταστάσεις του κτιρίου, όπως ηλεκτρομηχανολογικές, υδραυλικές, θέρμανσης, κλιματισμού, ηλιακοί και ανελκυστήρες καθώς και όλα τα περιεχόμενα ενός κτιρίου, όπως ηλεκτρικές συσκευές, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, συστήματα επικοινωνίας, διακοσμητικά αντικείμενα, ντουλάπια, ράφια, βιβλιοθήκες και γενικότερα όλα τα έπιπλα και τα αντικείμενα που διαθέτει ένα κτίριο. Η μη δομική

τρωτότητα θεωρείται λανθασμένα από πολλούς ως μη σημαντική ενώ είναι εξίσου σημαντική και μπορεί να προκαλέσει αρκετές ζημιές με υψηλό κόστος αποκατάστασης, σοβαρούς τραυματισμούς, ακόμα και ανθρώπινες απώλειες κατά τη διάρκεια της σεισμικής δόνησης.

Στις μελέτες της σεισμικής διακινδύνευσης σημαντικό ρόλο παίζει η τρωτότητα του δομικού συνόλου διότι είναι το μόνο μέγεθος στο οποίο μπορούν να επέμβουν οι μηχανικοί μειώνοντας έτσι την πιθανότητα απωλειών στις τεχνικές κατασκευές. Οι επεμβάσεις που γίνονται αφορούν την αναβάθμιση του δομικού συστήματος είτε με την αντικατάσταση των παλαιών κατασκευών με νέες αντισεισμικές κατασκευές είτε με επεμβάσεις στις υφιστάμενες κατασκευές με τη χρήση υλικών επισκευής και ενίσχυσης τα οποία απαιτούν υψηλό οικονομικό κόστος για την εφαρμογή τους.

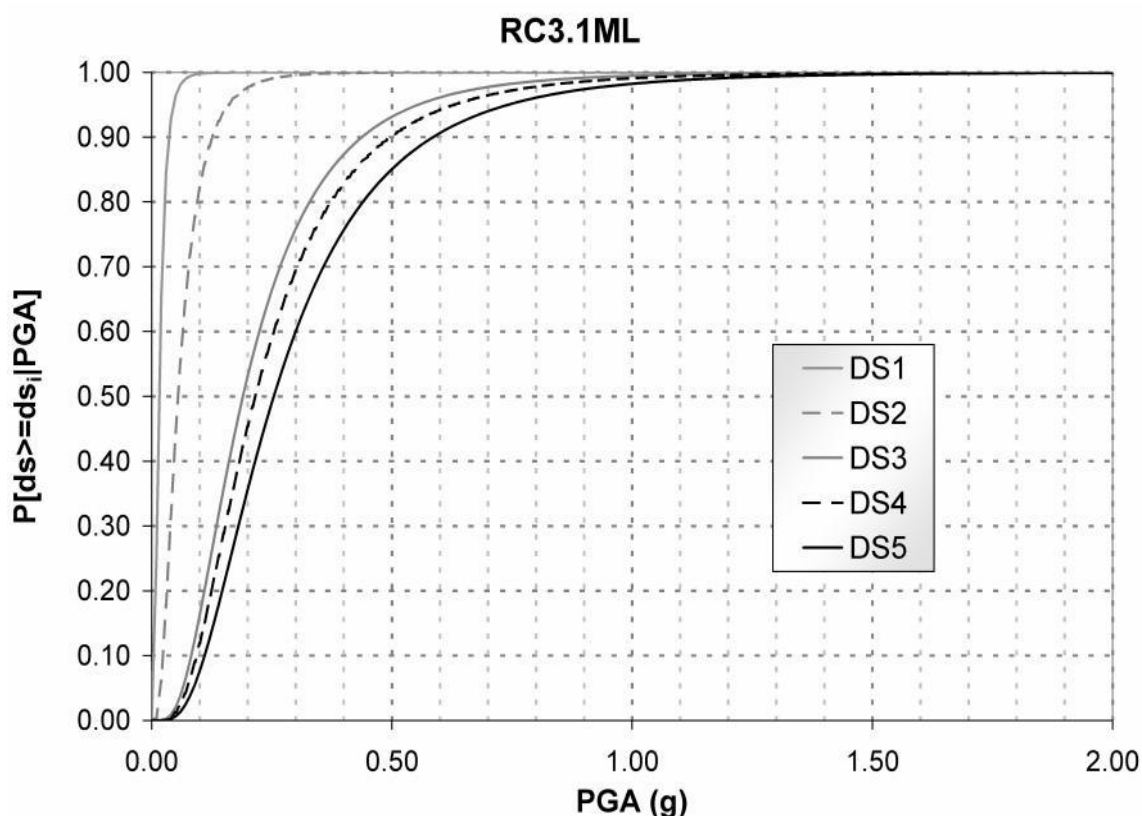
2.4 Καμπύλες Τρωτότητας (Vulnerability Curves)

Η σεισμική τρωτότητα εκφράζεται με τις καμπύλες τρωτότητας. Οι καμπύλες αυτές δίνουν την πιθανότητα το στοιχείο το οποίο εξετάζουμε είτε να έχει υπερβεί είτε όχι ένα συγκεκριμένο επίπεδο βλάβης κάτω από την επίδραση της σεισμικής διέγερσης. Οι καμπύλες αυτές μας δίνουν μια σαφή εικόνα για τη σχέση σεισμικής διέγερσης και βλάβης.

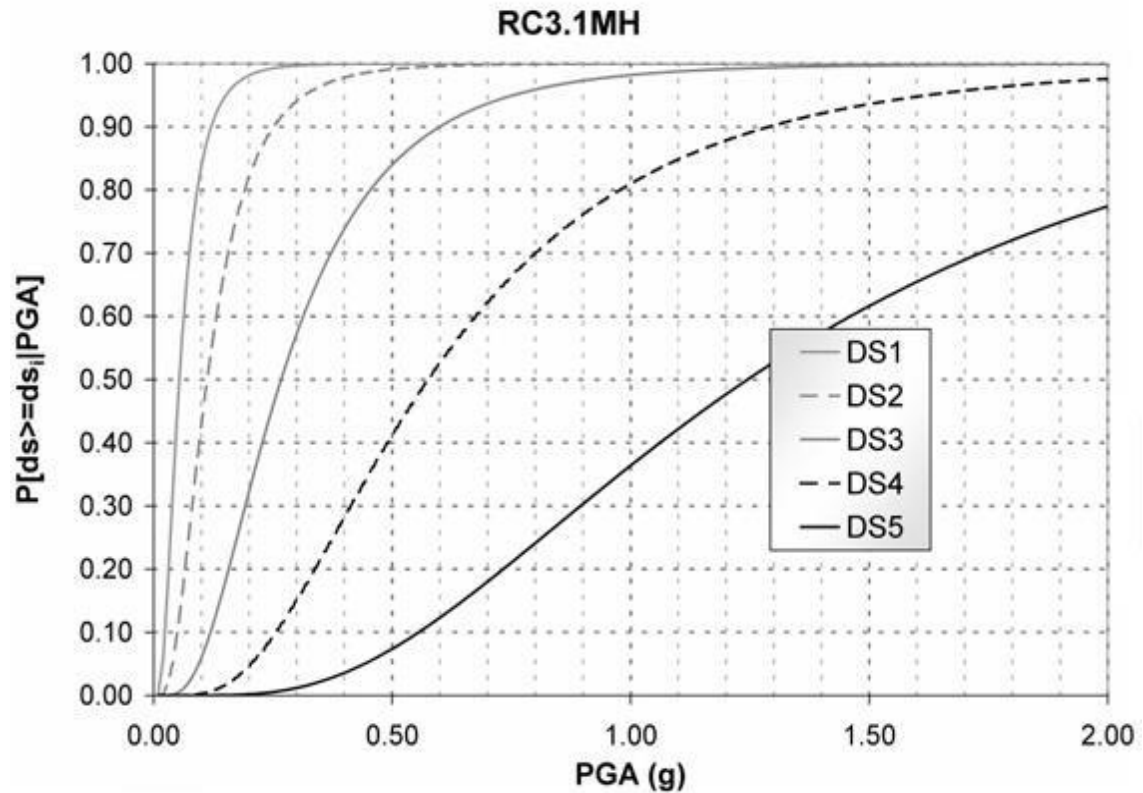


Εικόνα 2.3. Απεικόνιση της σχέσης σεισμικής διέγερσης και βλάβης. (Σ. Φωτοπούλου, 2007)

Για την εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας χρησιμοποιούνται οι καμπύλες βλάβης (DamageFunctions) και οι καμπύλες αποκατάστασης. Οι καμπύλες αποκατάστασης δίνουν το ποσοστό λειτουργικότητας του δομικού συνόλου συναρτήσει του χρονικού διαστήματος μετά το σεισμό για τους διάφορους βαθμούς βλάβης. Οι καμπύλες βλάβης δίνουν την πιθανότητα να βρεθεί η κατασκευή σε μια δεδομένη κατάσταση βλάβης για μια δεδομένη χρονική απαίτηση, για παράδειγμα τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση. Οι καμπύλες βλάβης ακολουθούν λογαριθμοκανονική κατανομή και στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται οι καμπύλες συναρτήσει της επιτάχυνσης PGA, για τους συνηθέστερους τύπους κτιρίων στην Ελλάδα, κτιρίων δηλαδή από σπλισμένο σκυρόδεμα σχεδιασμένων βάσει του κανονισμού του 1959 (Εικόνα 2.4) και κτιρίων από Ο/Σ σχεδιασμένων με τον ΕΑΚ (Εικόνα 2.5).


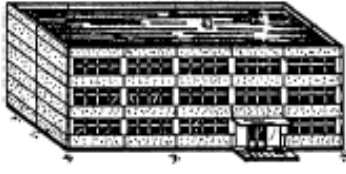





Εικόνα 2.4. Καμπύλες τρωτότητας για κτίρια από Ο/Σ με τον κανονισμό του 1959.



Εικόνα 2.5. Καμπύλες τρωτότητας για κτίρια από Ο/Σ με τον ΕΑΚ.

Οι βαθμοί βλάβης του κτιρίου DS1, DS2, DS3, DS4 και DS5 παρουσιάζουν τις αστοχίες του κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα. Όσο αυξάνεται η μεταβλητή προς το πλάι τόσο πιο σοβαρή είναι η βλάβη που έχουμε. Οι πέντε αυτοί βαθμοί βλάβης για συνηθισμένα κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος παρουσιάζονται αναλυτικά στην παρακάτω εικόνα :

Κατηγορίες αστοχιών σε κτήρια από οπλισμένο σκυρόδεμα	
	Βαθμός 1: <i>Ελάχιστες και Ελαφρές Βλάβες</i> Λεπτές ρωγμές στο κονίαμα γύρω από τα ξύλινα πλαίσια (κασώματα)
	Βαθμός 2: <i>Μέτριες Βλάβες</i> Τριχοειδείς ρωγμές σε κολώνες ή δοκούς· πτώση σοβάδων από αρμούς αιωρούμενων κομματιών τοίχου· ρωγμές σε μεσοτοιχία· πτώση κομματιών εύθραυστης επένδυσης και σοβάδων
	Βαθμός 3: <i>Άφθονες έως Μεγάλες Βλάβες</i> Ρωγμές σε κολώνες με αποκόλληση κομματιών μπετόν· ρωγμές σε δοκούς
	Βαθμός 4: <i>Πολύ Μεγάλες Βλάβες</i> Σοβαρή βλάβη των κόμβων του κτιριακού σκελετού με καταστροφή στο μπετόν και σιδηροπλισμού· μερική κατάρρευση· κλίση σε κολώνες
	Βαθμός 5: <i>Καταστροφικές Βλάβες</i> Ολική ή σχεδόν ολική κατάρρευση

Εικόνα 2.6. Κατηγορίες βλαβών κτιρίου από Ο/Σ.

2.5 Αποτίμηση και ενίσχυση κατασκευών

Ως αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς μιας κατασκευής ορίζεται η ποσοτική εκτίμηση και ο έλεγχος της επάρκειας της κατασκευής αυτής έναντι μιας συγκεκριμένης στάθμης σεισμικής δράσης. Μέσα από την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς ο μελετητής είναι σε θέση να καταλήξει αν η κατασκευή έχει ή όχι την ανάγκη ενίσχυσης. Στην περίπτωση λοιπόν που η κατασκευή είναι ανεπαρκής και

είναι απαραίτητη η ενίσχυση της, ο μελετητής μηχανικός επιλέγει και προτείνει την κατάλληλη μέθοδο ενίσχυσης που θα εφαρμοστεί στα τρωτά σημεία του κτιρίου.

Ως ενίσχυση μιας κατασκευής ορίζεται η αναβάθμιση της αντοχής της κατασκευής αυτής στις σεισμικές δράσεις σε σύγκριση με την αντοχή του αρχικού σχεδιασμού της. Στην Ελλάδα πολλές υφιστάμενες κατασκευές εμφανίζουν σεισμικές βλάβες και αρκετές απ' αυτές είναι εντελώς ανεπαρκείς από άποψη αντισεισμικού σχεδιασμού κάτι το οποίο οδηγεί αυτόματα στη σεισμική ενίσχυση της κατασκευής.

2.6 Στάθμες επιτελεστικότητας κατασκευής

Οι μελετητές παρατηρώντας τη σεισμική διέγερση και τα αποτελέσματα που επιφέρει στις τεχνικές κατασκευές, έκριναν αναγκαία τη δημιουργία σταθμών συμπεριφοράς του φορέα, οι οποίοι αφορούν τη διατήρηση της λειτουργικότητας, τον περιορισμό βλαβών και την αποφυγή ανθρώπινων απωλειών. Ο ΚΑΝΕΠΕ έχει εισάγει τρεις στάθμες επιτελεστικότητας υπό αντίστοιχους σεισμούς σχεδιασμού. Για τον φέροντα οργανισμό μιας κατασκευής οι τρεις στάθμες είναι οι εξής :

- «Άμεση χρήση» (Α) : Είναι η κατάσταση κατά την οποία μετά το σεισμό το κτίριο είναι ασφαλές προς χρήση. Καμία βασική λειτουργία του κτιρίου δε διακόπτεται κατά τη διάρκεια και μετά το σεισμό και σπάνια διακόπτεται κάποια από τις δευτερεύουσες λειτουργίες. Είναι πιθανόν να παρουσιαστούν τριχοειδείς καμπτικές ρωγμές στο φέροντα οργανισμό. Το κτίριο διατηρεί τη δυσκαμψία και την αντοχή που είχε και πριν τη σεισμική διέγερση. Ενδεχόμενες επισκευές μπορούν να πραγματοποιηθούν χωρίς να διακοπεί η λειτουργία.
- «Προστασία ζωής» (Β) : Είναι η κατάσταση κατά την οποία αναμένεται να προκληθούν επισκευάσιμες βλάβες στο φέροντα οργανισμό του κτιρίου χωρίς όμως οι βλάβες αυτές να προκαλέσουν τραυματισμούς ή θανάτους και χωρίς ουσιώδης φθορές σε οικοσυσσκευές ή αποθηκευμένα υλικά.
- «Οιωνεί κατάρρευση» (Γ) : Είναι η κατάσταση κατά την οποία αναμένεται να παρουσιαστούν σοβαρές και εκτεταμένες βλάβες στο φέροντα οργανισμό οι οποίες είναι κυρίως μη επισκευάσιμες. Ο φέρον οργανισμός έχει την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία για κάποιο διάστημα μετά το σεισμό, δεν διαθέτει όμως άλλα περιθώρια ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης. Είναι πιθανόν να υπάρξουν τραυματισμοί από την πτώση αντικειμένων ή στοιχείων του δευτερεύοντος οργανισμού.

Σύμφωνα με τον ΚΑΝΕΠΕ για την αποτίμηση και την ενίσχυση μιας κατασκευής, θα πρέπει να γίνονται ένας ή περισσότεροι συνδυασμοί στάθμης επιτελεστικότητας και αντίστοιχης σεισμικής δράσης, με δεδομένη πιθανότητα υπέρβασης κατά τη συμβατική διάρκεια ζωής του κτιρίου.

Για τα νέα κτίρια προβλέπεται στόχος σχεδιασμού B1 σύμφωνα με τον Πίνακα 1-1. Η πιθανότητα υπέρβασης 50%, η οποία είναι κ η μέγιστη ανεκτή, σε 50 έτη αντιστοιχεί με μια μέση περίοδο επαναφοράς περίπου 70 χρόνια. Η πιθανότητα υπέρβασης 10 σε 50 έτη αντιστοιχεί με μια μέση περίοδο επαναφοράς περίπου 475 χρόνια. Έχουν θεωρηθεί λοιπόν ως κατάλληλοι στόχοι οι εξής :

- «Περιορισμός βλαβών» : Για σεισμική δράση με πιθανότητα υπέρβασης 50% στο συμβατικό χρόνο ζωής των 50 ετών, με μέση περίοδο επαναφοράς 70 χρόνια (δηλαδή 1 περιστατικό στα 70 χρόνια κατά μέσο όρο).
- «Σημαντικές βλάβες» : Για σεισμική δράση με πιθανότητα υπέρβασης 10 % στο συμβατικό χρόνο ζωής των 50 ετών, με μέση περίοδο επαναφοράς 475 χρόνια (δηλαδή 1 περιστατικό στα 475 χρόνια κατά μέσο όρο).
- «Οιονεί Κατάρρευση» : Για σεισμική δράση με πιθανότητα υπέρβασης 2% στο συμβατικό χρόνο ζωής των 50 ετών, με μέση περίοδο επαναφοράς 2475 χρόνια (δηλαδή 1 περιστατικό στα 2475 χρόνια κατά μέσο όρο).

Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	Στάθμη επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού		
	«Περιορισμένες βλάβες»	«Σημαντικές βλάβες»	«Οιονεί κατάρρευση»
10%	A1	B1	Γ1
50%	A2	B2	Γ2

Εικόνα 2.7. Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού φέροντος οργανισμού. (ΚΑΝ.ΕΠΕ., 2012)

2.7 Μέθοδοι ανάλυσης

Για να γίνει η επιλογή της κατάλληλης επέμβασης σε ένα κτίριο ο μελετητής θα πρέπει να διαπιστώσει εάν επαρκεί ή όχι η σεισμική ικανότητα της κατασκευής και εάν όχι θα πρέπει να υπολογίσει τον βαθμό ανεπάρκειας της. Οι μέθοδοι ανάλυσης που προβλέπονται για την αποτίμηση και ενίσχυση ενός κτιρίου είναι οι εξής :

- Ελαστική (ισοδύναμη) στατική ανάλυση
- Ελαστική δυναμική ανάλυση
- Ανελαστική στατική ανάλυση (pushoveranalysis)
- Ανελαστική δυναμική ανάλυση (ανάλυση χρονοϊστορίας)

Από τις αναλύσεις αυτές, οι ανελαστικές αναλύσεις δίνουν πιο ακριβή αποτελέσματα εφόσον γίνεται λεπτομερής προσομοίωση την μελών της κατασκευής σε σχέση με τις ελαστικές αναλύσεις. Για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό ενός κτιρίου ευρέως διαδεδομένη είναι η ανελαστική στατική ανάλυση (pushover) διότι σε σχέση με την ανελαστική δυναμική ανάλυση είναι πιο απλή και πιο ομοιόμορφη τόσο στην εφαρμογή όσο και στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

2.8 Μέθοδος προσεισμικού ελέγχου κατά ΟΑΣΠ

Η επιστημονική ομάδα του ΟΑΣΠ, δημιούργησε ένα δελτίο για τον προσεισμικό έλεγχο των κτιρίων και τον καθορισμό της σεισμικής τους τρωτότητας και το οποίο αποτελείται από τα εξής τρία στάδια ελέγχου :

- Πρωτοβάθμιος έλεγχος (Ταχύς Οπτικός Έλεγχος) : ταχεία εκτίμηση της σεισμικής ικανότητας για τα δημόσια και κοινωφελούς χρήσης κτίρια
- Δευτεροβάθμιος έλεγχος : προσεγγιστική αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας των κτιρίων με βάση αναλυτικότερους υπολογισμούς (χωρίς την χρήση καταστροφικών ελέγχων), για τα κτίρια που κρίθηκαν ανεπαρκή στον πρωτοβάθμιο έλεγχο και
- Τριτοβάθμιος έλεγχος : αναλυτικός υπολογισμός της σεισμικής ικανότητας του κτιρίου (για όσα κτίρια κρίθηκαν ανεπαρκή από τον δεύτερο έλεγχο).

Τα στάδια καθορισμού της σεισμικής τρωτότητας ενός κτιρίου είναι η συλλογή των στοιχείων του κτιρίου, η κατάταξη του κτιρίου, ο καθορισμός των τρωτών στοιχείων του κτιρίου και η τελική βαθμολογία του.

	ΔΟΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	ΟΣ1	Κτήριο με πλαίσιακό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα (ΟΣ)	Αντισεισμικός Κανονισμός 1959 (Α/Σ '59) Κανονισμός Σκυροδέματος 1954 (Κ/Σ '54)
	ΟΣ2	Κτήριο με μκτό φέροντα οργανισμό από ΟΣ (υποστυλώματα και τοιχώματα)	Αντισεισμικός Κανονισμός 1959 (Α/Σ '59) Κανονισμός Σκυροδέματος 1954 (Κ/Σ '54)
	ΟΣ3	Κτήριο με μκτό φέροντα οργανισμό από ΟΣ (υποστυλώματα και τοιχώματα ώστε να απαλλάσσεται του Α/Σ υπολογισμού)	Αντισεισμικός Κανονισμός 1959 (Α/Σ '59) Κανονισμός Σκυροδέματος 1954 (Κ/Σ '54)
	ΟΣ4	Κτήριο με πλαίσιακό φέροντα οργανισμό από ΟΣ	Α/Σ '59 με προσθήκες 1985 Κ/Σ '54
	ΟΣ5	Κτήριο με μκτό φέροντα οργανισμό από ΟΣ (υποστυλώματα και τοιχώματα)	Α/Σ '59 με προσθήκες 1985 Κ/Σ '54
	ΟΣ6	Κτήριο με πλαίσιακό φέροντα οργανισμό από ΟΣ	Α/Σ : ΝΕΑΚ Κ/Σ : ΝΕΚΟΣ
	ΟΣ7	Κτήριο με μκτό φέροντα οργανισμό από ΟΣ (υποστυλώματα και τοιχώματα)	Α/Σ : ΝΕΑΚ Κ/Σ : ΝΕΚΟΣ
ΠΡΟΚ ΑΤΑΣ ΚΕΥΗ	ΠΟΣ1	Κτήρια με προκατασκευασμένο πλαίσιακό φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα	
	ΠΟΣ2	Κτήρια με προκατασκευασμένα τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα	
ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	ΑΤ1	Κτήρια με φέρουσα άοπλη τοιχοποιία κυρίως λιθοδομή (αργοί ή ημιλαξευτοί λίθοι), χωρίς διαζώματα ή διαφράγματα, με ξύλινη στέγη	
	ΑΤ2	Κτήρια με φέρουσα άοπλη τοιχοποιία, με διαφράγματα (πατώματα) από ΟΣ	
	ΔΤ	Κτήρια με φέρουσα άοπλη τοιχοποιία κυρίως λιθοδομή (αργοί ή ημιλαξευτοί λίθοι), με διαζώματα και διαφράγματα από ΟΣ	
	ΟΤ	Κτήρια με φέρουσα οπλισμένη τοιχοποιία κυρίως από σύγχρονου τύπου τοιχοσώματα, με διάσπαρτο οπλισμό (οριζοντίως και κατακόρυφως), με διαφράγματα και ίσως και πρόσθετα διαζώματα από ΟΣ	
	ΕΤ	Κτήρια με φέρουσα άοπλη τοιχοποιία, επισκευασμένα και ενισχυμένα με διαζώματα, διαφράγματα και κατάλληλα συνδεδεμένους και θεμελιωμένους ελαφρούς μανθούς από ΟΣ, μονόπλευρους και αμφίπλευρους	
	Σημείωση: 1. Ως διαζώματα νοούνται οριζόντια και κατακόρυφα στοιχεία από ΟΣ, με ισχυρές συνδέσεις με τους τοίχους και με ισχυρούς κάμβους στις συναντήσεις τους, σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις και κανονιστικές απαιτήσεις/ διατάξεις για διαζωματική περισφιγμένη τοιχοποιία 2. Ως διαφράγματα νοούνται ελαφρές συνεχείς πλάκες από ΟΣ, με ισχυρές συνδέσεις με τους τοίχους και με το πλέγμα των οριζοντίων και κατακόρυφων διαζωμάτων		
ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	ΧΛ1α	Μονώροφα βιομηχανικά κτήρια	Α/Σ '59, DIN 1050 (ξένο κανονισμός)
	ΧΛ1β		ΝΕΑΚ '96 Ευρωκώδικας 3
	ΧΛ2α	Πολυώροφα μεταλλικά κτήρια ως χωρικά πλαίσια ή/ και με κατακόρυφους μεταλλικούς συνδέσμους	Α/Σ '59, DIN 1050 (ξένο κανονισμός)
	ΧΛ2β		ΝΕΑΚ '96 Ευρωκώδικας 3
Παρατήρηση: Για μεταλλικά κτήρια με τοιχώματα ή/ και πυρήνες από σκυρόδεμα ισχύουν τα αντίστοιχα των τοιχωματικών κτηρίων από σκυρόδεμα.			

Εικόνα 2.8. Δομικοί τύποι κτιρίων κατά ΟΑΣΠ

ΔΟΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΑΡΧΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ (ΑΒΣΑ)	ΖΩΝΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ		ΒΑΣΙΚΑ ΔΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ		
		I	II/III	ΠΙΛΟΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΟΝΤΑ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΑ	ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΗΣ	ΒΑΣΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ (ΒΒΣΑ)
ΩΠΙΛΩΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	Ο5α	-0,5	-1,5	-1,5	-0,5	
	Ο5β	-1	-1,5	-1,5	-0,5	
	Ο5γ	-0,5	-1	-0,5	0	
ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	Π051	-0,5	-1	-0,5	0	
	Π052	-1	-1,5	0	0	
ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ	Δ1	-0,5	-1,5	0	0	
	Δ1	-0,5	-1	0	0	
	Ο1	-0,5	-1	0	0	
	Ε1	-0,5	-1	0	0	
	Χα1α	-0,5	-1	0	0	
ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	Χα1β	0	0	0	0	
	Χα2α	-0,5	-1	0	0	
	Χα2β	-0,5	-1	0	0	
	Χα2γ	-0,5	-1	0	0	

Εικόνα 2.9. Αρχική και βασική βαθμολογία σεισμικού κινδύνου κατά ΟΑΣΠ

ΔΟΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ							ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ			ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ					ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ			
	ΟΣ1	ΟΣ2	ΟΣ3	ΟΣ4	ΟΣ5	ΟΣ6	ΟΣ7	ΠΟΣ1	ΠΟΣ2	ΑΠ1/2	ΔΤ	ΟΤ	ΕΤ	ΧΛ1α	ΧΛ1β	ΧΛ2α	ΧΛ2β		
ΒΑΣΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ (ΒΒΣΚ)																			
ΧΩΡΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ	-0,5	-0,5	0	0	0	0	0	0	0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	0	-0,5	0		
ΚΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5		
ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΕΙΣ	-1	-1	-1	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-1	-1	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5		
ΜΕΓΑΛΟ ΥΨΟΣ	-1	-1	-1	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-1	-1	0	-1	0	-1		
ΜΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΘ'ΥΨΟΣ	-1	-1	-1	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-1	-1	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5		
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΜΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΤΗΤΑ	-1	-1	-1	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5		
ΣΥΤΡΕΨΗ	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5		
ΚΡΟΥΣΗ ΜΕ ΓΕΙΤΟΝΙΚΑ	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	0	0	-0,5	-0,5	0	0	0	0	0	0	0	0		
ΒΑΡΙΕΣ ΕΠΙΚΛΙΨΕΙΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-0,5	-0,5		
ΕΛΑΦΟΣ ΕΔ2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3		
ΕΛΑΦΟΣ ΕΔ3	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6		
ΕΛΑΦΟΣ ΕΔ3 ΚΑΙ ΑΝΩ 5 ΟΡΟΦΩΝ	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8		
ΤΕΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ																			

Εικόνα 2.10. Δομικές βαθμολογίες κατά ΟΑΣΠ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

PERFORMANCE ASSESSMENT CALCULATION TOOL (PACT)

3.1 Εισαγωγή στο λογισμικό Pact

Το λογισμικό Pact είναι ένα εργαλείο υπολογισμού αξιολόγησης της σεισμικής συμπεριφοράς ενός μεμονωμένου κτιρίου. Συγκεκριμένα είναι ένα πρόγραμμα εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας και των απωλειών (θυμάτων και τραυματισμών), που έχει ως στόχο την πρόληψη των βλαβών στις κατασκευές και των συνεπειών που επιφέρουν οι βλάβες αυτές στο περιβάλλον, στις κατασκευές και στον άνθρωπο.

Η ανάγκη για τη δημιουργία του λογισμικού αυτού προέκυψε στις ΗΠΑ, όπου η ομοσπονδιακή υπηρεσία διαχείρισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης FEMA (Federal Emergency Management Agency) είχε δεσμευτεί να μειώσει τις ολόένα αυξανόμενες δαπάνες που επιφέρουν οι σεισμοί στην Αμερική. Το 2001, ξεκίνησε τη συνεργασία με το Συμβούλιο Εφαρμοσμένης Τεχνολογίας ATC (Applied Technology Council) με σκοπό την ανάπτυξη μεθοδολογιών για τη σεισμική αξιολόγηση επιδόσεων των κτιρίων.

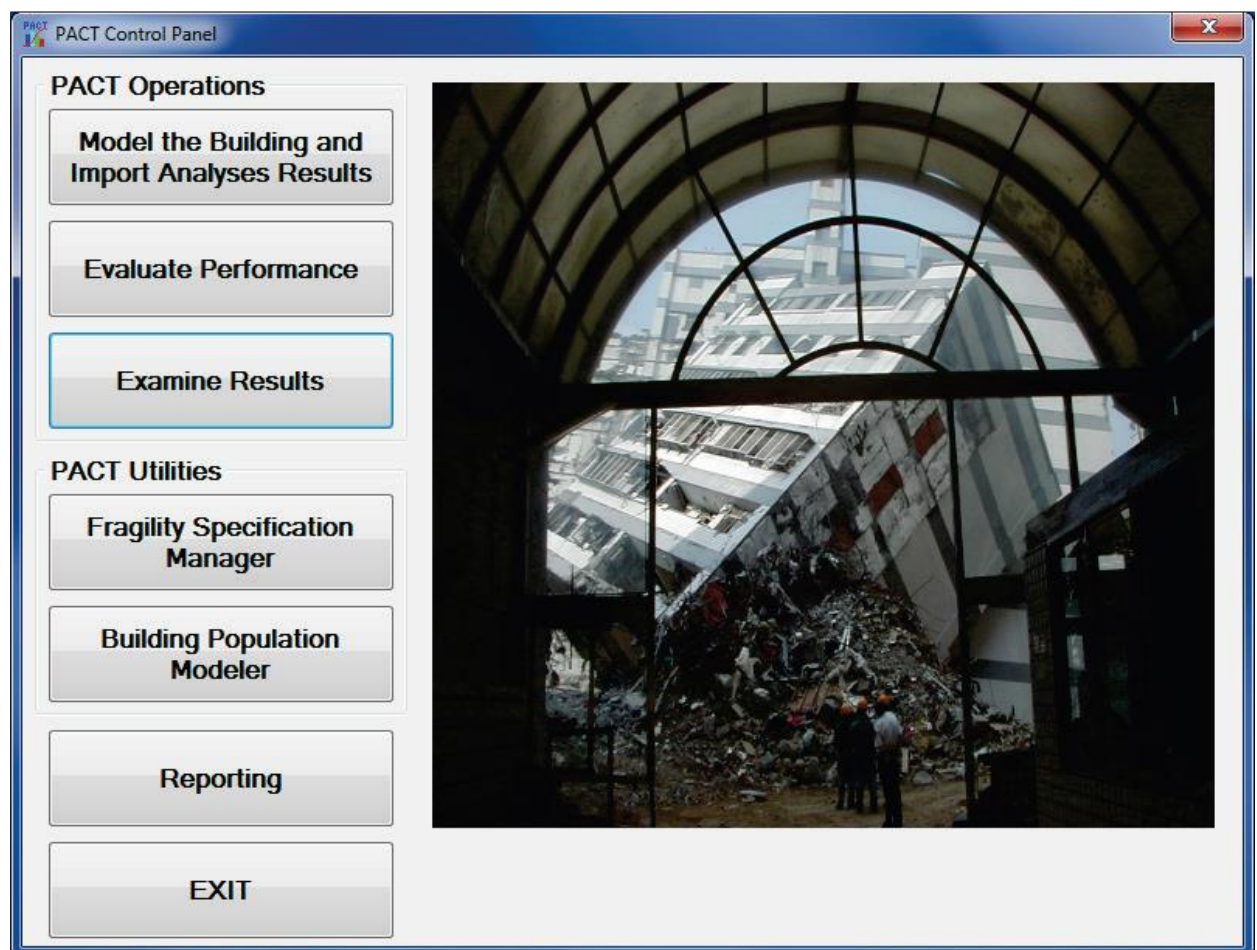
Με τη συμμετοχή πάνω από 130 συμβούλων οι οποίοι πήραν μέρος στη συλλογή, μελέτη και ανάλυση στοιχείων, στην εκτίμηση των συνεπειών, στην ανάπτυξη ηλεκτρονικών εργαλείων και σε δοκιμαστικές προσπάθειες για τη διασφάλιση ποιότητας των αποτελεσμάτων, 10 χρόνια αργότερα δημοσιεύθηκε η μεθοδολογία για τη σεισμική αξιολόγηση επιδόσεων νέων και υφιστάμενων κτιρίων. Η μεθοδολογία αυτή (Seismic Performance Assessment of Buildings, Volume 1 –Methodology) καθώς και οι οδηγίες που δημοσιεύθηκαν για την εφαρμογή της (Seismic Performance Assessment of Buildings, Volume 2–Implementation Guide) μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε τύπο κτιρίου, ανεξάρτητα από το είδος της κατασκευής, την ηλικία, την μορφολογία της κατασκευής και την χρήση της.

Συγκεκριμένα, το υπολογιστικό πρόγραμμα Pact δημιουργήθηκε για να αξιολογήσει την απόδοση του σεισμού ενός μεμονωμένου κτιρίου και να οδηγήσει σε αποτελέσματα σχετικά με το κόστος και το χρόνο αποκατάστασης του υπό εξέταση κτιρίου, τις πιθανές απώλειες σε ανθρώπινες ζωές καθώς και για τους πιθανούς τραυματισμούς που θα προκύψουν από τη σεισμική διέγερση.

3.2 Απόδοση κτιριακού μοντέλου στο λογισμικό Pact

Με την ενεργοποίηση του Pact εμφανίζεται ο πίνακας ελέγχου με τις 3 βασικές λειτουργίες του λογισμικού οι οποίες είναι οι ακόλουθες :

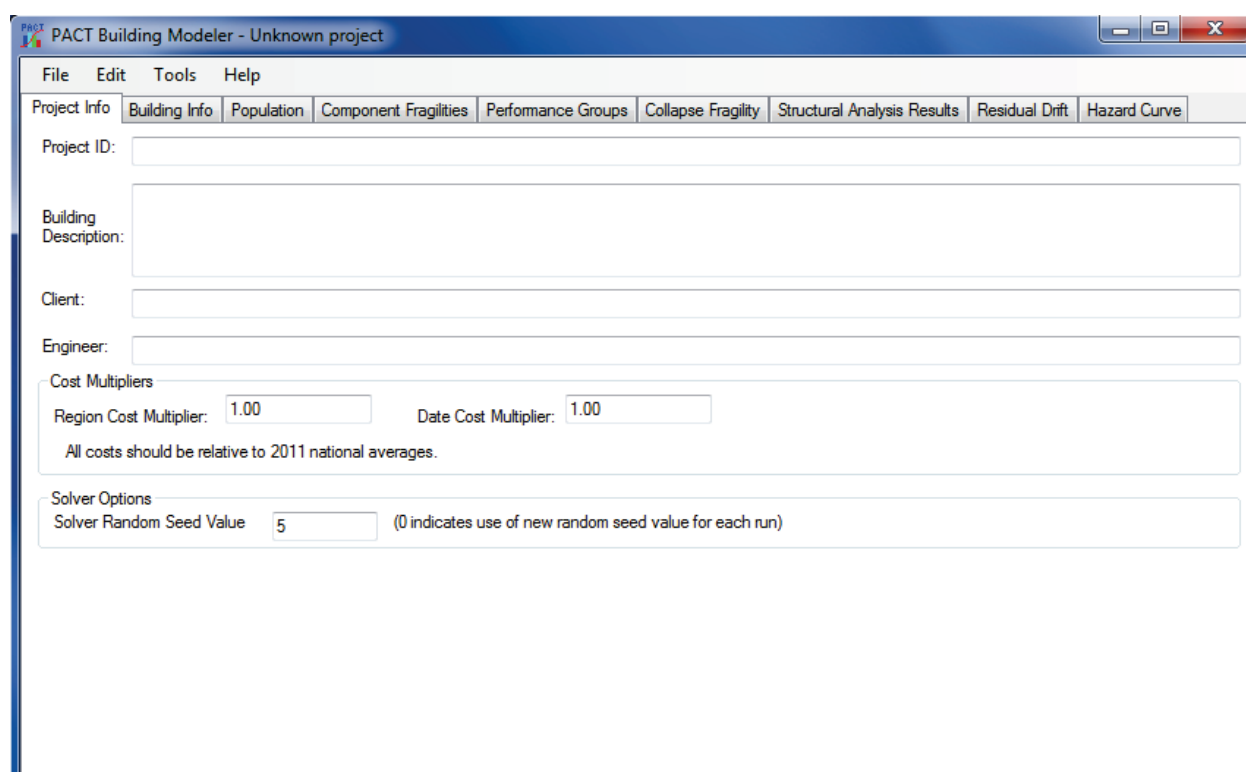
- Model the building and import analyses results (Η μοντελοποίηση του κτιρίου και εισαγωγή ανάλυσης των αποτελεσμάτων)
- Evaluate performance (Η αξιολόγηση της απόδοσης – συμπεριφοράς του κτιρίου)
- Examine results (Η εξέταση των αποτελεσμάτων)



Εικόνα 3.4. Πίνακας ελέγχου PACT

3.1.1 Μοντελοποίηση του κτιρίου και εισαγωγή ανάλυσης των αποτελεσμάτων (Modelthebuildingandimportanalysesresults)

Επιλέγοντας το κουμπί “Modelthebuildingandimportanalysesresults” εμφανίζεται το παράθυρο μοντελοποίησης του κτιρίου (Εικόνα 3.2) στο οποίο ο χρήστης θα εισάγει όλες πληροφορίες του κτιρίου.



Εικόνα 3.5. Παράθυρο μοντελοποίησης του κτιρίου

Από το μενού File υπάρχει η δυνατότητα όπως σε όλα τα προγράμματα για τη δημιουργία ενός νέου αρχείου, το άνοιγμα ενός αρχείου που έχει ήδη δημιουργηθεί, την αποθήκευση και την εκτύπωση. Από το μενού Edit μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα εργαλεία αποκοπής/αντιγραφής – επικόλλησης και επιλογής όλων. Στο μενού Tools βρίσκεται η επιλογή για τη αλλαγή συστήματος μέτρησης. Το Pact έχει επιλεγμένη ως μονάδα μέτρησης τα πόδια (ft) ωστόσο δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δουλέψει και με μονάδα μέτρησης το μέτρο (m). Στα μενού που ακολουθούν γίνεται η εισαγωγή όλων των πληροφοριών του κτιρίου το οποίο μελετά ο χρήστης.

➤ Project Info (Πληροφορίες του έργου)

Στην καρτέλα αυτή η οποία φαίνεται στην Εικόνα 3.2, ο χρήστης εισάγει την περιγραφή του κτιρίου καθώς και τα στοιχεία του πελάτη και του μηχανικού του έργου. Επίσης, υπάρχει ο πολλαπλασιαστής με βάση το χρόνο της αξιολόγησης και της περιοχής στην οποία βρίσκεται το κτίριο. Από την αξιολόγηση των αποδόσεων το πρόγραμμα δημιουργεί ένα πλήθος τυχαίων αριθμών έτσι ώστε να παίρνει το ίδιο ακριβώς αποτέλεσμα κάθε φορά που εκτελείται το πρόγραμμα για το ίδιο κτίριο κι έτσι θα πρέπει να χρησιμοποιείται η ίδια τυχαία τιμή.

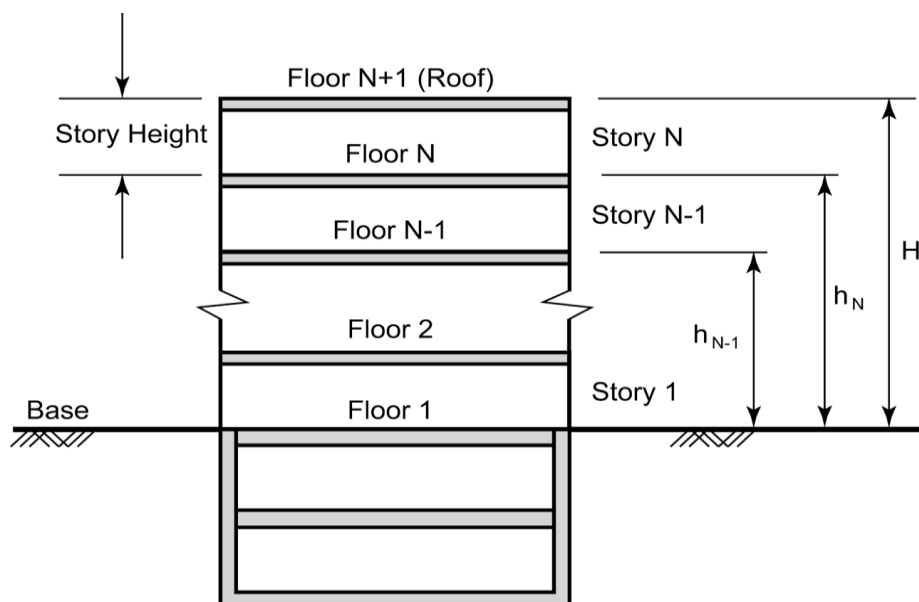
➤ Building Info (Πληροφορίες του κτιρίου)

Floor Num	Floor Name	Story Height (ft.):	Area (sq. ft.):	Height Factor	Hazmat Factor	Occupancy Factor
1	Floor 1	14.00	22,736.00	1	1	1
2	Floor 2	11.50	22,736.00	1	1	1
3	Floor 3	11.50	22,736.00	1	1	1
4	Floor 4		22,736.00	1	1	1

Εικόνα 3.6. Καρτέλα με πληροφορίες του κτιρίου

Στην καρτέλα αυτή ο χρήστης εισάγει τον αριθμό των ορόφων του υπό εξέταση κτιρίου και το πρόγραμμα Pactton χρησιμοποιεί ως τον βασικό συντελεστή του αριθμού των ζητούμενων παραμέτρων, των ομάδων επιδόσεων και των υπολογισμών που πρέπει να εκτελεστούν. Εισάγει επίσης τα τετραγωνικά του τυπικού ορόφου και το ύψος του, κάτι το οποίο γίνεται για κάθε όροφο ξεχωριστά. Η είσοδος του εμβαδού του δαπέδου (Floor Area) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του αριθμού των

θυμάτων κατά τη διάρκεια του σεισμού. Ένας όροφος ορίζεται ως ο όγκος του κτιρίου που εκτείνεται από την κορυφή της πλάκας του ενός δαπέδου έως την κορυφή της επόμενης πλάκας του επόμενου δαπέδου. Στην Εικόνα 3.4 φαίνεται σχηματικά ο τρόπος με τον οποίο ορίζει το Pact τον αριθμό των ορόφων, των πατωμάτων και των υψών τους.



Εικόνα 3.7. Ορισμός αριθμού πατωμάτων και ορόφων και αντίστοιχων υψών

Στη συνέχεια, ο χρήστης ορίζει το συνολικό κόστος αντικατάστασης (Total Replacement Cost) κάνοντας την καλύτερη δυνατή εκτίμηση. Το συνολικό κόστος περιλαμβάνει όλα τα εσωτερικά και εξωτερικά στοιχεία του κτιρίου, δομικά και μη. Στο εσωτερικό και εξωτερικό κόστος αντικατάστασης (Core and Shell Replacement Cost) γίνεται εκτίμηση για μη δομικά στοιχεία που περιλαμβάνουν τη βασική κτιριακή δομή της κατασκευής, όπως ανελκυστήρες, σκάλες, υδραυλικά και τα ηλεκτρομηχανολογικά στοιχεία. Στον χρόνο αντικατάστασης (Replacement Time) ορίζονται οι μέρες που θα χρειαστούν για την αντικατάσταση.

Ο μέγιστος αριθμός εργαζομένων ανά είσοδο τετραγωνικό πόδι (Maximum Workers per Square Foot) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του χρόνου επισκευής. Οι τιμές για την παράμετρο αυτή πρέπει να κυμαίνονται από 0,0005 (ένας εργαζόμενος ανά 2.000 τετραγωνικά πόδια) έως 0,004 (1 εργαζόμενος ανά 250 τετραγωνικά πόδια). Το PACT παρέχει μια προεπιλεγμένη ρύθμιση από 0.001 που αντιστοιχεί σε έναν εργαζόμενο ανά 1000 τετραγωνικά πόδια του εμβαδού του δαπέδου. Οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν πυκνότερες τιμές στην περίπτωση όπου ο ιδιοκτήτης είναι πρόθυμος να ασχοληθούν περισσότεροι εργαζόμενοι με αποτέλεσμα τη πιο γρήγορη επισκευή του έργου και αναλαμβάνοντας το κόστος που θα είναι μεγαλύτερο.

Ο συντελεστής ύψους (Height Factor) χρησιμοποιείται για να εκφράσει τις αυξήσεις στο κόστος επισκευής που σχετίζονται με την μετακίνηση του υλικού στις περιοχές εγκατάστασης και στο ανώτερο επίπεδο ορόφου και με τις αυξήσεις για τα υλικά φόρτωσης – εκφόρτωσης και ανύψωσης. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ο συντελεστής ύψους ανάλογα με τον αριθμό των ορόφων ενός κτιρίου.

Πίνακας 3-1. Συντελεστής ύψους για το επίπεδο του κτιρίου

Building Level	Height Factor
Below grade levels and floors 1-4	1.00
Floors 5-10	1.08
Floor 11 and higher	1.16

Το πεδίο Hazmat Factor χρησιμοποιείται στη περίπτωση επικίνδυνων υλικών. Το Pact ορίζει το συντελεστή με 1.0 εφόσον δεν υπάρχουν κάποιες πληροφορίες για την ύπαρξη επικίνδυνων υλικών. Ο συντελεστής αυτός κυμαίνεται από 1.0 έως 1.20 για κτίρια τα οποία περιέχουν σημαντικές ποσότητες επικίνδυνων υλικών. Ένα τέτοιο υλικό είναι ο αμιάντος που αποτελεί μια ομάδα πυριτικών ορυκτών με κοινό χαρακτηριστικό την ινώδη μορφή τους. Το υλικό αυτό είναι καλός μονωτής του ηλεκτρισμού και της θερμότητας και έχει τέτοιες μηχανικές ιδιότητες, ώστε οι ίνες του μπορούν να υφανθούν για να παραχθούν υφάσματα, καθώς επίσης λόγω της υψηλής αντοχής του σε εφελκυσμό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο στο τσιμέντο και είναι ανθεκτικός σε προσβολή από όξινα και αλκαλικά χημικά διαλύματα. Στο παρελθόν είχε χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα σε ποικιλία εφαρμογών σήμερα όμως η χρήση του έχει απαγορευθεί διότι η εισπνοή του προκαλεί καρκίνο στους πνεύμονες.

Ο συντελεστής πληρότητας (Occupancy Factor) είναι ένας συντελεστής ο οποίος διαφέρει ανάλογα το είδος του εξεταζόμενου κτιρίου και παρουσιάζει το επιπλέον κόστος που επιβαρύνει τις διάφορες επιχειρήσεις. Ο συντελεστής αυτός είναι διαφορετικός στην περίπτωση άδειου κτιρίου και στην περίπτωση που το κτίριο χρησιμοποιείται. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ο συντελεστής πληρότητας ανά κατηγορία κτιρίου και χρήσης κτιρίου.

Πίνακας 3-2. Συντελεστής Πληρότητας

Occupancy Category	Occupancy Factor	
	Unoccupied	Occupied
Commercial Office	1.0	1.2
Research	1.4	1.8
Healthcare	1.5	2.0
Education K-12	1.0	1.1
Multi-Unit Residential	1.1	1.2
Retail	1.2	1.3
Warehouse	1.1	1.1
Hospitality	1.1	1.3

➤ **Population (Πληθυσμός / Μοντέλο Πληθυσμού)**

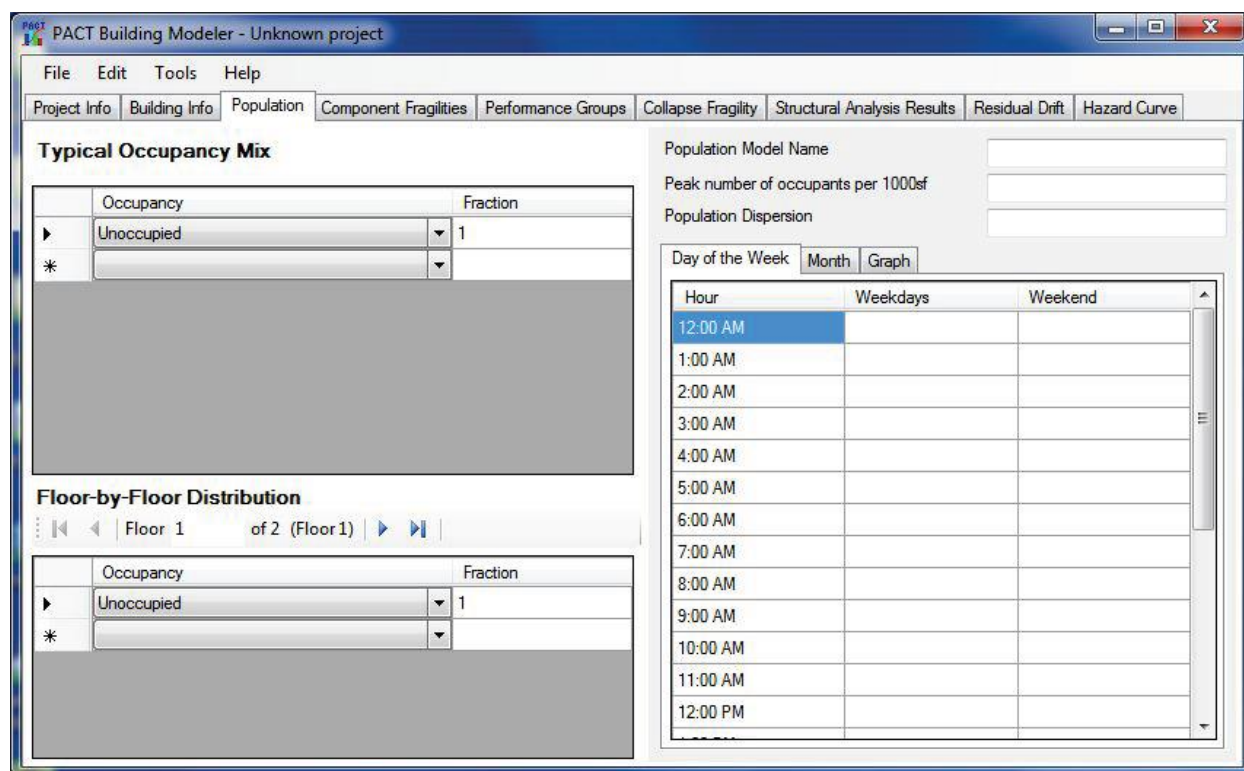
Στην καρτέλα αυτή ο χρήστης δημιουργεί το μοντέλο πληθυσμού του κτιρίου, δηλαδή ένα μοντέλο που βασίζεται στο είδος του εξεταζόμενου κτιρίου και στον αριθμό των ατόμων που βρίσκονται σε διαφορετικές ώρες της ημέρας και διαφορετικές ημέρες του έτους εντός του κτιρίου. Το μοντέλο αυτό είναι απαραίτητο για την αξιολόγηση των πιθανών θυμάτων και για την αξιολόγηση των απωλειών.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει ξεχωριστά μοντέλα πληθυσμού για κάθε όροφο. Κάθε μοντέλο πληθυσμού περιλαμβάνει την ωριαία κατανομή του πληθυσμού ανά 1.000 τετραγωνικά πόδια για τις καθημερινές μέρες ή τα Σαββατοκύριακα και μπορεί να προσαρμόζεται ώστε να μπορεί να μεταβάλλεται ανά μήνα. Το Pact έχει δημιουργήσει κάποια έτοιμα μοντέλα πληθυσμού ανάλογα το είδος του κτιρίου και τις ώρες χρήσης του μέσα στη διάρκεια της μέρας. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να τροποποιηθούν εφόσον ο χρήστης έχει διαφορετικές πληροφορίες για τις ώρες και για τις ημέρες λειτουργίας.

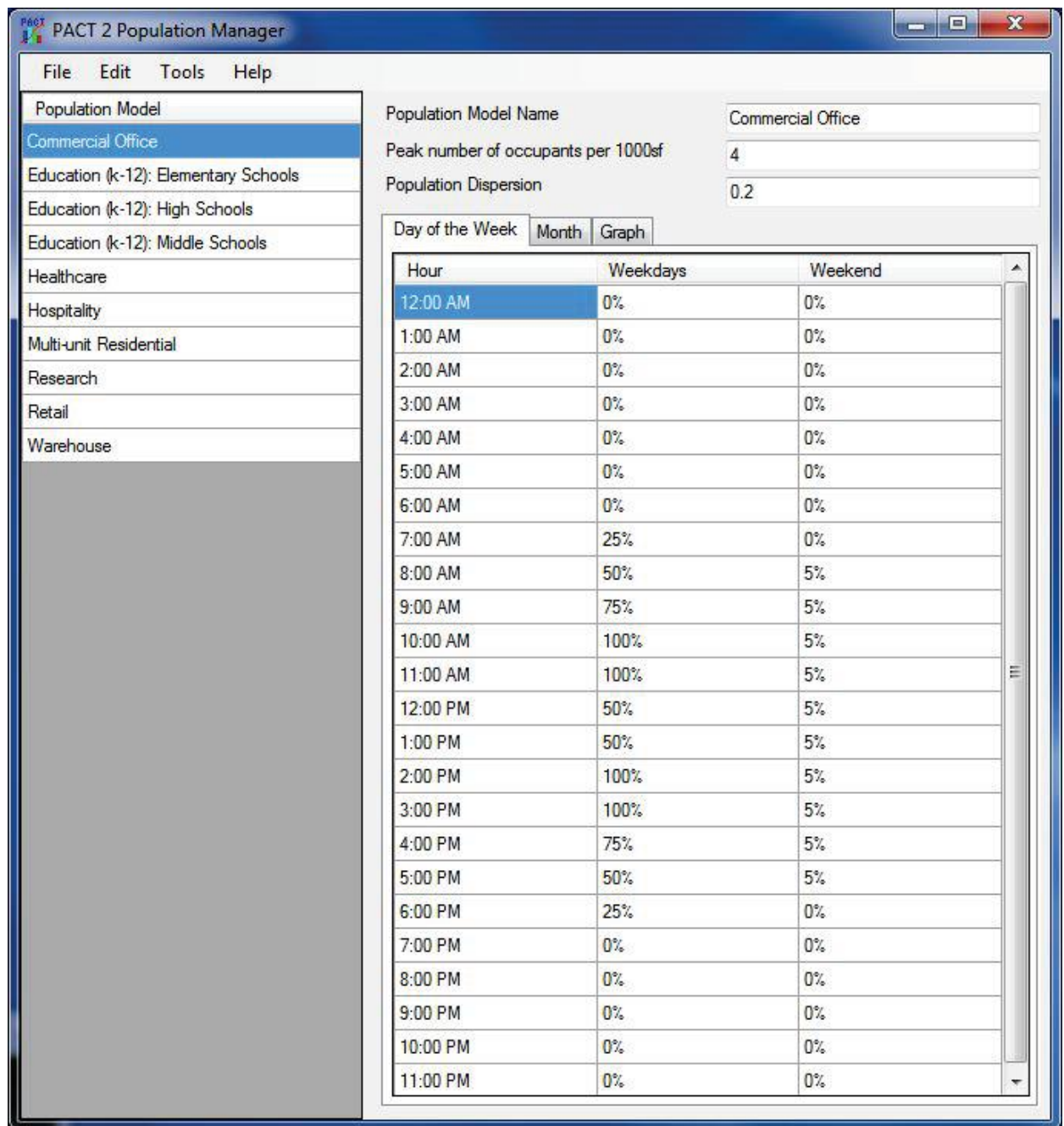
Τα κτιριακά μοντέλα πληθυσμού όπως τα ορίζει το λογισμικό Pact, με βάση την πληρότητα, είναι τα ακόλουθα:

- Εμπορικά γραφεία (Commercial Office)
- Εκπαίδευση (Education K-12)
- Νοσοκομεία (Healthcare)
- Ξενοδοχεία (Hospitality)
- Κατοικίες – Διαμερίσματα - Μονοκατοικίες (Multi-Unit Residential)
- Ερευνητικά Κέντρα - Εργαστήρια (Research)
- Καταστήματα λιανικής πώλησης - Εμπορικά καταστήματα (Retail)
- Αποθήκες (Warehouse)

Στην Εικόνα 3.5 φαίνεται η καρτέλα πληθυσμού του προγράμματος πριν εισάγουμε το είδος του κτιρίου και στην Εικόνα 3.6 φαίνεται η ίδια καρτέλα μετά την εισαγωγή ότι το κτίριο αποτελεί κτίριο γραφείων. Στην περίπτωση όπου ο χρήστης έχει επιπλέον πληροφορίες για τη χρήση και τις ώρες και μέρες λειτουργίας και οι οποίες είναι διαφορετικές από αυτές που έχει ορίσει το πρόγραμμα, θα πρέπει να μεταβεί στην αρχική καρτέλα που εμφανίζεται όταν ενεργοποιούμε το Pact (Εικόνα 3.1) και επιλέγοντας το κουμπί “BuildingPopulationModeler” να τροποποιήσει και να αποθηκεύσει εκεί τις αλλαγές που χρειάζονται. Στη συνέχεια, επιστρέφει στην καρτέλα πληθυσμού και ορίζοντας το είδος του κτιρίου εμφανίζονται όλες οι ρυθμίσεις που δημιουργήσε.

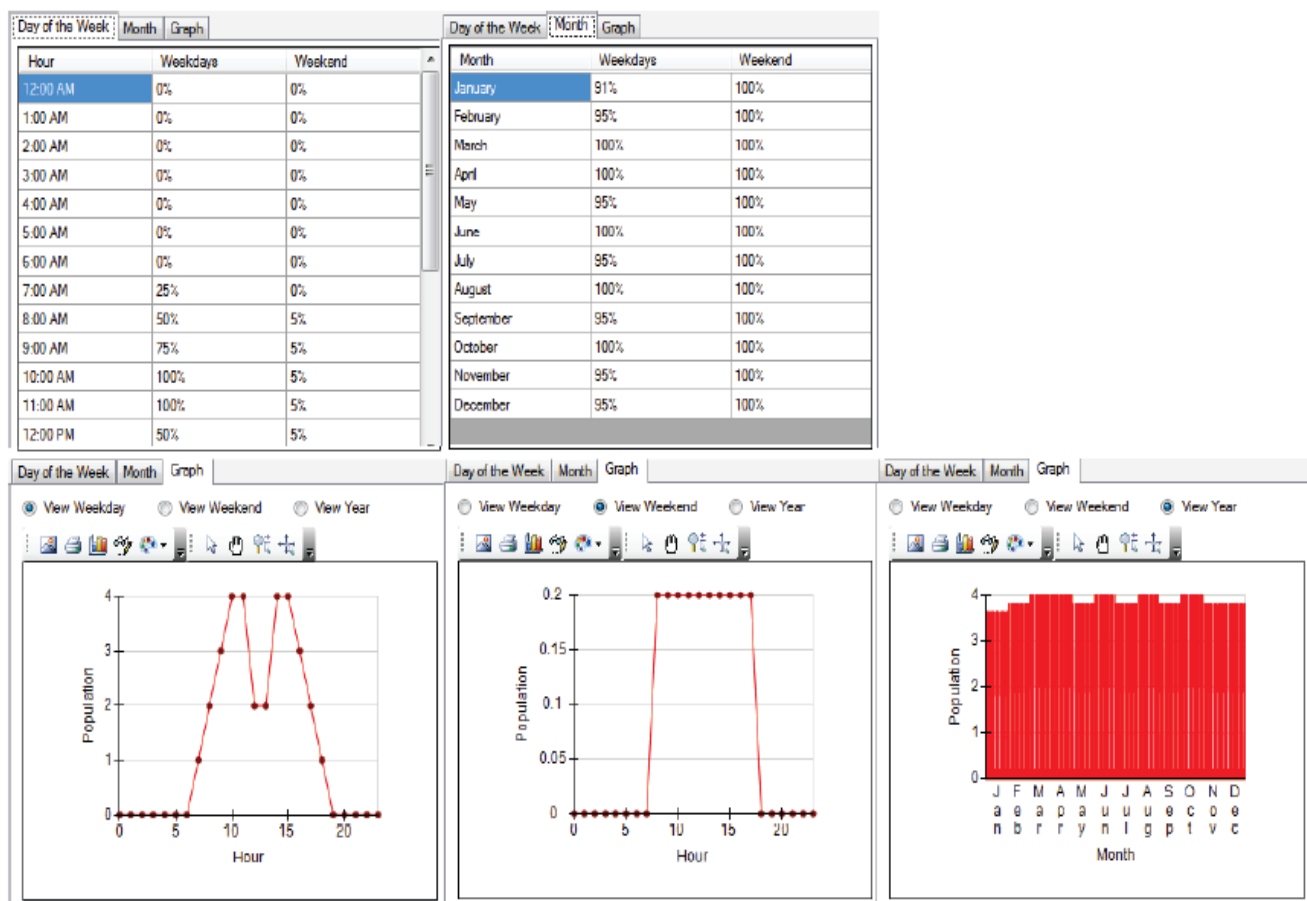


Εικόνα 3.8. Καρτέλα πληθυσμού



Εικόνα 3.9. Καρτέλα πληθυσμού που παρουσιάζει τη χρήση για κτίριο γραφείων

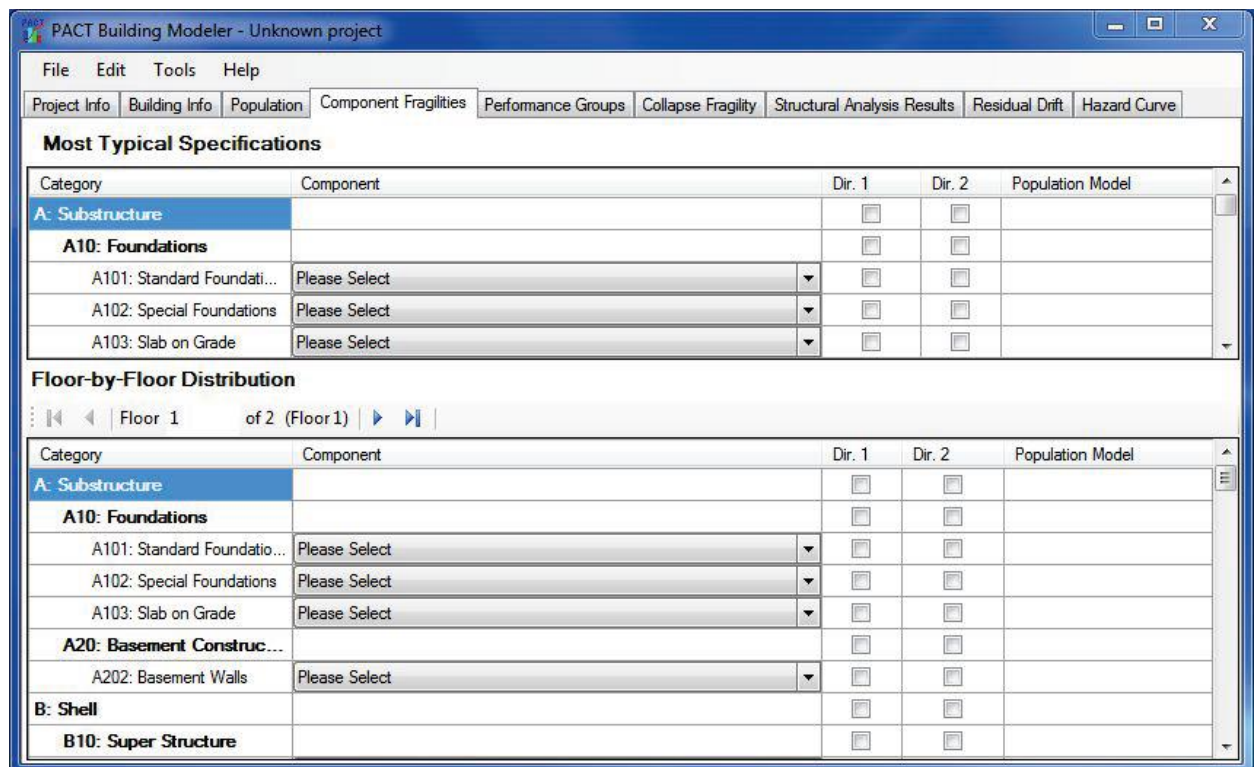
Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η πληρότητα με τη μορφή γραφημάτων σε συνάρτηση με τις ώρες χρήσης του κτιρίου τις καθημερινές ημέρες, τα Σαββατοκύριακα και σε συνάρτηση με το χρόνο.



Εικόνα 3.7. Καρτέλα πληθυσμού συναρτήσει με τις ώρες και τους μήνες με τη μορφή διαγραμμάτων

➤ **ComponentFragilities(Ομάδες αστάθειας - Στοιχεία τρωτότητας)**

Το Pact οργανώνει τα στοιχεία τρωτότητας σε δύο ίδια μέρη όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.8. Το πάνω μισό μέρος χρησιμοποιείται για να ορίσει ο χρήστης τα γενικά στοιχεία του κτιρίου στην κάθε ομάδα και τις οριζόντιες κατευθύνσεις που ισχύουν. Επίσης, είναι απαραίτητο να εισάγει και το μοντέλο του πληθυσμού και σε αυτό το σημείο, εκτός από την καρτέλα που είχε προηγηθεί. Στο κάτω μισό μέρος της καρτέλας παρατηρούμε ότι υπάρχει ο ίδιος κατάλογος με τις ομάδες των στοιχείων ευθραυστότητας όπου ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει τα δεδομένα για κάθε όροφο ξεχωριστά. Η αναπτυσσόμενη λίστα και τα βέλη μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το χρήστη ώστε να προσθέσει, να καταργήσει και να αλλάξει τις προδιαγραφές των στοιχείων ευθραυστότητα σε κάθε όροφο.



Εικόνα 3.10. Καρτέλα στοιχείων τρωτότητας που δείχνει την επιλογή των προδιαγραφών των στοιχείων

Τα στοιχεία τρωτότητας μπορεί να είναι είτε δομικά στοιχεία του κτιρίου είτε μη δομικά. Χωρίζονται σε έξι ομάδες (ομάδες ευθραυστότητας) και η κάθε ομάδα σε υποκατηγορίες. Η κάθε ομάδα αποτελείται από μια συλλογή στοιχείων που παρουσιάζουν παρόμοια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, παρόμοιες πιθανές αστοχίες, κοινές πιθανότητες να υποστούν βλάβη κατά τη σεισμική διέγερση καθώς και παρόμοιες πιθανές συνέπειες που μπορεί να προκύψουν από την αστοχία. Μια ομάδα ευθραυστότητας μπορεί να περιλαμβάνει και επιμέρους στοιχεία του κτιρίου όπως για παράδειγμα ένα φωτιστικό. Κάθε ομάδα ταξινομείται με ένα διαφορετικό γράμμα από το Α έως το F. Οι έξι αυτές ομάδες είναι οι εξής :

A : Υποδομές - Θεμέλια (Substructure)

B : Κέλυφος του κτιρίου – Εξωτερικά στοιχεία κτιρίου (Shell)

C : Τα εσωτερικά στοιχεία του κτιρίου (Interiors)

D :Υπηρεσίες (Services)

E :Εξοπλισμόςκαιέπιπλα (Equipment and furnishings)

F :Ειδικέςκατασκευέςκαικατεδαφίσεις (Special construction and demolition)

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι έξι αυτές ομάδες μαζί με τις υποκατηγορίες τους. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα αλλαγής και επεξεργασίας μόνο των στοιχείων που φαίνονται με σκούρο μαύρο χρώμα στις υποκατηγορίες της κάθε ομάδας (B103, B104, B105, B106, B107, B201, B202, B301, B303, B304, C101, C201, C301, C302, C303, D101, D202, D203, D205, D206, D303, D304, D305, D306, D401, D501, D509, E101, E202 και F101). Το Παράρτημα Α στις οδηγίες του Pact (Volume 2) περιλαμβάνει αναλυτικούς πίνακες για την κάθε υποκατηγορία για την επιλογή του κατάλληλου χαρακτηριστικού του κάθε στοιχείου.

Πίνακας 3-3. Ομάδες ευθραυστότητας του Pact

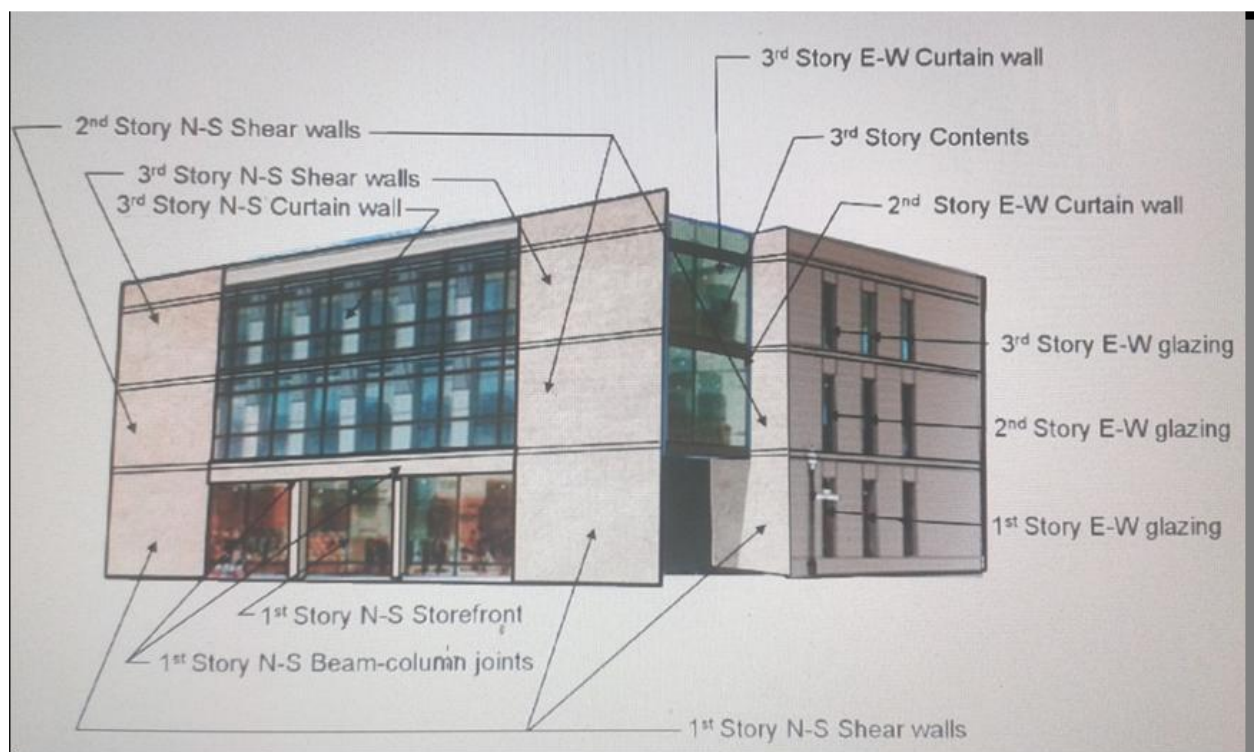
Component Category	Component Name
A	Substructure
A10	Foundations
A101	Standard Foundations
A102	Special Foundations
A103	Slab on Grade
A20	Basement Construction
A202	Basement Walls
B	Shell
B10	Super Structure
B101	Floor Construction
B102	Roof Construction
B103	Structural Steel Elements
B104	Reinforced Concrete Elements
B105	Masonry Vertical Elements
B106	Cold-Formed Steel Structural Elements
B107	Wood Light Frame Structural Elements
B20	Exterior Enclosure
B201	Exterior Nonstructural Walls
B202	Exterior Window Systems
B203	Exterior Doors
B30	Roof Elements
B301	Roof Coverings
B302	Roof Openings
B303	Masonry Chimney (residential)
B304	Masonry Parapet
B40	Exterior Finishes
B401	Exterior Finishes
C	Interiors
C10	Interior Construction
C101	Partitions
C102	Interior Doors
C20	Stairs
C201	Stairs
C30	Interior Finishes

C301	Wall Finishes
C302	Floor Finishes, Raised Access Floors, and Floor Flooding
C303	Ceilings and Ceiling Lighting
D	Services
D10	Conveying
D101	Elevators and Lifts
D102	Escalators and Moving Walks
D103	Other Conveying Systems
D20	Plumbing
D202	Domestic Water Distribution including hot water heaters
D203	Sanitary Waste Piping System
D204	Rain Water Drainage Piping System
D205	Chilled Water Piping
D206	Steam Piping
D209	Other Piping
D30	HVAC
D301	Energy Supply
D302	Heat Generating Systems (furnaces and boilers)
D303	Chillers, Cooling Towers, and Compressors
D304	Distribution Systems including Fans, Drops and Diffusers, and VAV Boxes
D305	Packaged Air Handling Units
D306	Control Panels and Instrumentation
D309	Other HVAC Systems and Equipment
D40	Fire Protection
D401	Sprinkler Horizontal Distribution including Risers and Drops
D402	Standpipes
D403	Fire Protection Specialties
D409	Other Fire Protection Systems
D50	Electrical
D501	Electrical Service & Distribution
D502	Lighting and Branch Wiring
D503	Communications and security
D509	Other Electrical Systems including Generators, Battery racks, and Chargers
E	Equipment & Furnishings
E10	Equipment
E101	Commercial Equipment
E102	Institutional Equipment
E103	Vehicular Equipment
E109	Other Equipment
E20	Furnishings
E201	Fixed Furnishings
E202	Movable Furnishing, including Office Furniture and Equipment

F	Special Construction and Demolition
F10	Special Construction
F101	Special Structures including Storage Racks
F103	Special Construction Systems
F104	Special Facilities
F105	Special Controls and Instrumentation

➤ **Performance Groups (Ομάδες Απόδοσης - Συμπεριφοράς)**

Οι ομάδες απόδοσης είναι μια υποκατηγορία των ομάδων ευθραυστότητας όπου τα στοιχεία τους υπόκεινται στις ίδιες σεισμικές απαιτήσεις. Στην Εικόνα 3.9 απεικονίζεται η έννοια των ομάδων απόδοσης για ένα τριώροφο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα όπως τα ορίζει το πρόγραμμα. Οι ομάδες αποτελούνται από τα τοιχεία του κτιρίου, τις αρθρώσεις δοκού – υποστυλώματος, τους υαλοπίνακες και τα υαλοπετάσματα και τα περιεχόμενα του κτιρίου.



Εικόνα 3.11. Ομάδες απόδοσης 3οροφου κτιρίου

Η καρτέλα των ομάδων απόδοσης, φαίνεται στην Εικόνα 3.10 και χρησιμοποιείται για να παρέχει στο PACT τις σχετικές ποσότητες των στοιχείων που έχουν επιλέξει. Πατώντας το κουμπί UpdateTable εμφανίζονται όλα τα στοιχεία του κτιρίου τα οποία ο χρήστης επέλεξε στην προηγούμενη καρτέλα (Component Fragilities), ώστε να συμπληρώσει τις ποσότητες και κάποιες άλλες πληροφορίες αν κρίνεται απαραίτητο όπως το μοντέλο πληθυσμού σε περίπτωση που διαφέρει από όροφο σε όροφο ή σε περίπτωση που υπάρχει αβεβαιότητα για την ποσότητα των υλικών υπάρχει η δυνατότητα να τη παρουσιάσει συμπληρώνοντας το πεδίο της διασποράς. Επίσης, επιλέγεται από τον χρήστη η διεύθυνση στην οποία θα γίνει η επίλυση των στοιχείων (διεύθυνση 1, διεύθυνση 2 ή χωρίς διεύθυνση). Στο πεδίο των παραμέτρων ζήτησης το Pactέχει επιλέξει το λόγο της μετακίνησης του ορόφου, δίνει όμως και τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει κάποια ειδική παράμετρο.

No.	Component Type	Performance Group Quantities	Quantity Dispersion	Fragility Correlated	Population Model	Demand Parameters
B1035.001	Post-Northridge RBS connection with welded web, beam one ...	12.00	0.00	<input type="checkbox"/>	Commercial Office	Story Drift Ratio
B2022.001	Curtain Walls - Generic Midrise Stick-Built Curtain wall, Config: ...	136.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Commercial Office	Story Drift Ratio
C1011.001b	Wall Partition, Type: Gypsum with metal studs, Partial Height, F...	6.00	0.00	<input type="checkbox"/>	Commercial Office	Story Drift Ratio
C1011.001c	Wall Partition, Type: Gypsum with metal studs, Full Height, Fixe...	3.00	0.00	<input type="checkbox"/>	Commercial Office	Story Drift Ratio
C3011.001b	Wall Partition, Type: Gypsum + Wallpaper, Partial Height, Fixed...	3.00	0.00	<input type="checkbox"/>	Commercial Office	Story Drift Ratio
C3011.002c	Wall Partition, Type: Gypsum + Ceramic Tile, Full Height, Fixed ...	3.00	0.00	<input type="checkbox"/>	Commercial Office	Story Drift Ratio

Εικόνα 3.12. Καρτέλα ομάδων απόδοσης

➤ CollapseFragility(Κατάρρευση ευθραυστότητας)

Η καρτέλα αυτή χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει ο χρήστης την κατάρρευση και τις συνέπειές της. Αν διαπιστωθεί ενδεχόμενη μη απαραίτητη κατάρρευση για την αξιολόγηση του κτιρίου, το αντίστοιχο κουτί που είναι επιλεγμένο μπορεί να απενεργοποιηθεί. Η κατάρρευση ορίζεται σε όρους φασματικής επιτάχυνσης, g, και ορίζεται και η αντίστοιχη διασπορά. Τουλάχιστον μία λειτουργία κατάρρευσης πρέπει να καθοριστεί, δεν υπάρχει όμως κάποιο ανώτατο όριο για τον αριθμό των τρόπων κατάρρευσης που μπορούν να συμπεριληφθούν. Επιπλέον, ο χρήστης εισάγει την πιθανότητα κατάρρευσης σε κάθε κατάσταση ξεχωριστά. Το κλάσμα του κάθε

ορόφου εξαρτάται από την κατάρρευση και ορίζεται και αυτό στο αντίστοιχο πεδίο της καρτέλας. Όταν εισάγονται οι τρόποι κατάρρευσης, τα βέλη στην καρτέλα δεδομένων, χρησιμοποιούνται ώστε ο χρήστης να μετακινείται στις λειτουργίες που έχει δημιουργήσει και να καθορίσει τις συνέπειες της εμφάνισης της κάθε λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένων των ποσοστών θνησιμότητας και τη ζημιά ανά όροφο. Στις συνέπειες της κατάρρευσης, στο τέλος της καρτέλας καθορίζεται το ποσοστό θνησιμότητας και το ποσοστό των τραυματισμών. Για παράδειγμα, η τιμή 0,90 στο πεδίο του ποσοστού θνησιμότητας σημαίνει ότι για τον συγκεκριμένο τύπο κατάρρευσης προκύπτει ότι το 90% των κατοίκων του ορόφου τη στιγμή του σεισμικού γεγονότος θα χάσουν τη ζωή τους.

Mutually Exclusive Probability of Mode Given Collapse

Mode 1	Mode 2	Mode 3
0.6	0.2	0.2

Fraction of Floor Subject to Collapse Debris

Floor	Mode 1	Mode 2	Mode 3
Floor 3 (3)	1	0.1	0.1
Floor 2 (2)	1	0.2	0.8
Floor 1 (1)	1	0.6	0.1

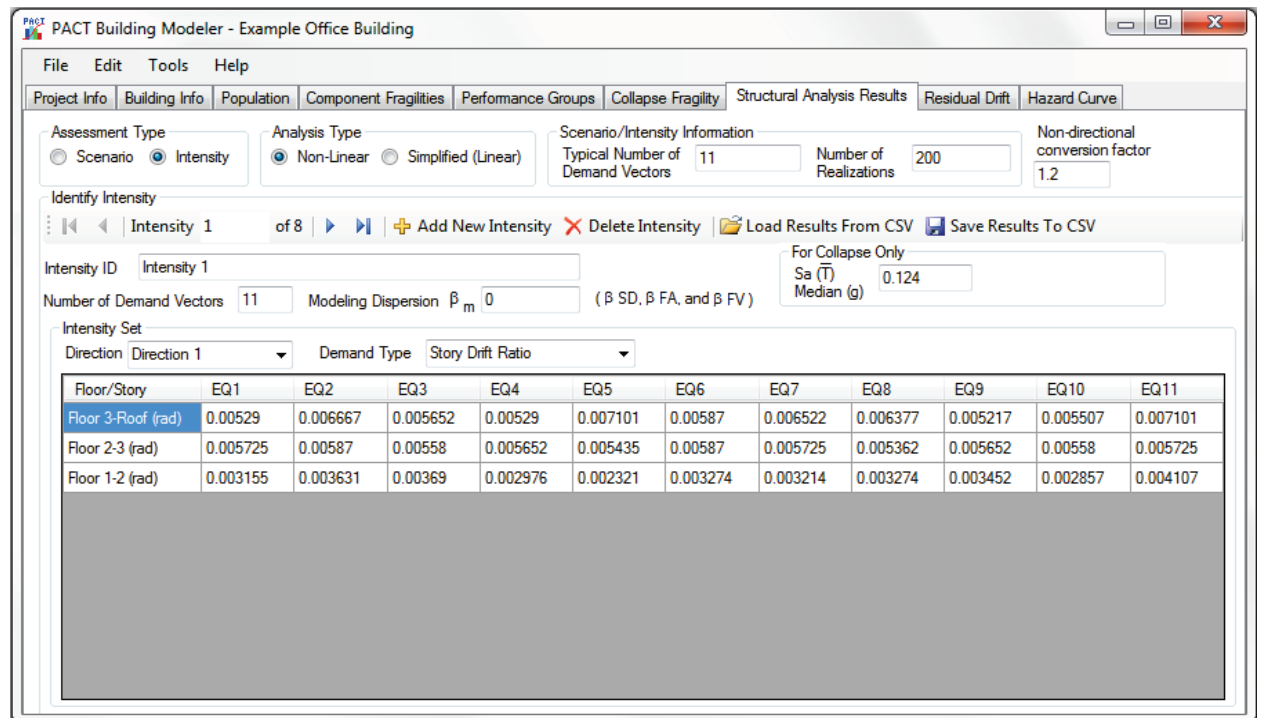
Collapse Consequences

Floor	Fatality Rate Mean	Fatality Rate COV	Injury Rate Mean	Injury Rate COV
Floor 3 (3)	0.9	0	0.1	0
Floor 2 (2)	0.9	0	0.1	0
Floor 1 (1)	0.9	0	0.1	0

Εικόνα 3.13. Καρτέλα κατάρρευσης ευθραυστότητας

➤ **Structural Analysis Results (Αποτελέσματα ανάλυσης)**

Σε αυτή την καρτέλα ο χρήστης έχει την επιλογή να εξετάσει το κτίριο με τέσσερις διαφορετικές εκδοχές. Οι εκδοχές αυτές που δίδονται αφορούν τους τύπους της αξιολόγησης (Assessment type) και τους τύπους της ανάλυσης (Analysis type). Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.12, οι τύποι αξιολόγησης χωρίζονται σε αξιολόγηση με βάση το σενάριο (Scenario) ή την ένταση (Intensity) ενώ οι τύποι ανάλυσης σε μη γραμμική (Non-linear) ή γραμμική ανάλυση (Simplified (Linear)).



Εικόνα 3.14.Καρτέλα ελέγχου έντασης με μη-γραμμικό τύπο ανάλυσης

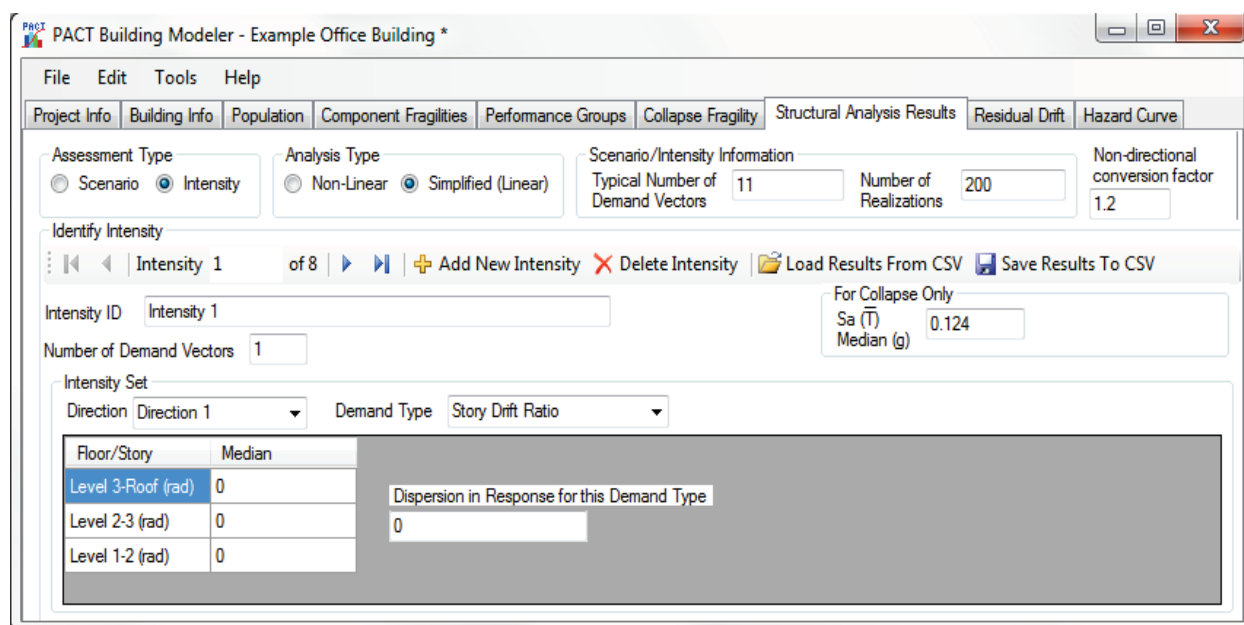
- 1η Εκδοχή : Έλεγχος με βάση την ένταση με μη-γραμμική μορφή (Intensity – NonLinear)

Η 1^η εκδοχή χρησιμοποιεί σαν τύπο αξιολόγησης την ένταση (Intensity) και σαν τύπο ανάλυσης τη μη-γραμμική ανάλυση (Non--Linear). Για τη μη γραμμική ανάλυση, ο τυπικός αριθμός των διανυσμάτων ζήτησης (Typical Number of Demand Vectors) θα πρέπει να εισαχθεί από το χρήστη, άσχετα αν ο αριθμός αυτός μπορεί να αλλάξει για κάθε ένταση ή σενάριο. Κάθε ένταση που περιλαμβάνεται στην εκτίμηση μπορεί να έχει ένα διαφορετικό αριθμό διανυσμάτων ζήτησης. Ο αριθμός των υλοποιήσεων (Number of Realizations) χρησιμοποιείται για να καθορίσει την πιθανότητα το κτίριο να υποστεί ζημιές. Αν εκτελείται ένας τεράστιος αριθμός υλοποιήσεων για κάθε φορέα, τότε η ενδεδειγμένη κατανομή των πιθανοτήτων μπορεί να είναι σε μεγάλο βαθμό ανακριβής με αποτέλεσμα το αποτέλεσμα να αλλάξει σημαντικά κάθε φορά που το PACT λειτουργεί με τα ίδια δεδομένα. Γι αυτό το λόγο, το PACT έχει προεπιλεγμένη ρύθμιση τον αριθμό 200, ώστε τα αποτελέσματα να είναι σταθερά για το κόστος και το χρόνο της επισκευής και για την εκτίμηση σε θύματα και ζημιές. Ο συντελεστής μετατροπής (Non-Directional Conversion Factor) καθορίζει την εκτιμώμενη τιμή της ζήτησης, δηλαδή την αναλογία με την προεπιλεγμένη μετατόπιση ή επιτάχυνση, ως πολλαπλάσιο της μέγιστης τιμής του. Το PACT έχει προεπιλεγμένη ρύθμιση την τιμή 1,2, η οποία θεωρείται κατάλληλη για τις περισσότερες κατασκευές. Ο χρήστης θα πρέπει να δημιουργήσει τη προσθήκη νέας έντασης (+ Add New Intensity) για να εισαχθούν τα αποτελέσματα ανάλυσης της έντασης και στη συνέχεια θα χρειαστεί να εισάγει ένα όνομα για την ένταση (π.χ.

Intensity 1). Η φασματική τιμή επιτάχυνσης στη θεμελιώδη περίοδο κτιρίου σε κάθε κατεύθυνση εισάγεται να καθορίσει το πρόγραμμα την πιθανότητα της κατάρρευσης.

- 2η Εκδοχή : Έλεγχος με βάση την ένταση με γραμμική μορφή (Intensity – Simplified)

Η 2η εκδοχή χρησιμοποιεί, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.13, ως τύπο αξιολόγησης την ένταση και ως μέθοδο ανάλυσης τη γραμμική. Ο χρήστης κινείται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο με την 1η εκδοχή με τη μόνη διαφορά να παρουσιάζεται στο κάτω μέρος της καρτέλας. Αυτό συμβαίνει διότι στη γραμμική ανάλυση η τιμή του διανύσματος ζήτησης (Number of Demand Vectors) ισούται πάντα με 1.



Εικόνα 3.15. Καρτέλα ελέγχου έντασης με γραμμικό τύπο ανάλυσης

- 3η Εκδοχή : Έλεγχος βάση σεναρίων με μη-γραμμική μορφή (Scenario – NonLinear)

Η 3η εκδοχή χρησιμοποιεί ως τύπο αξιολόγησης ένα σενάριο και ως μέθοδο ανάλυσης τη μη-γραμμική. Οι υπόλοιπες επιλογές των κελιών παραμένουν οι ίδιες, όπως και στην 1η Εκδοχή.

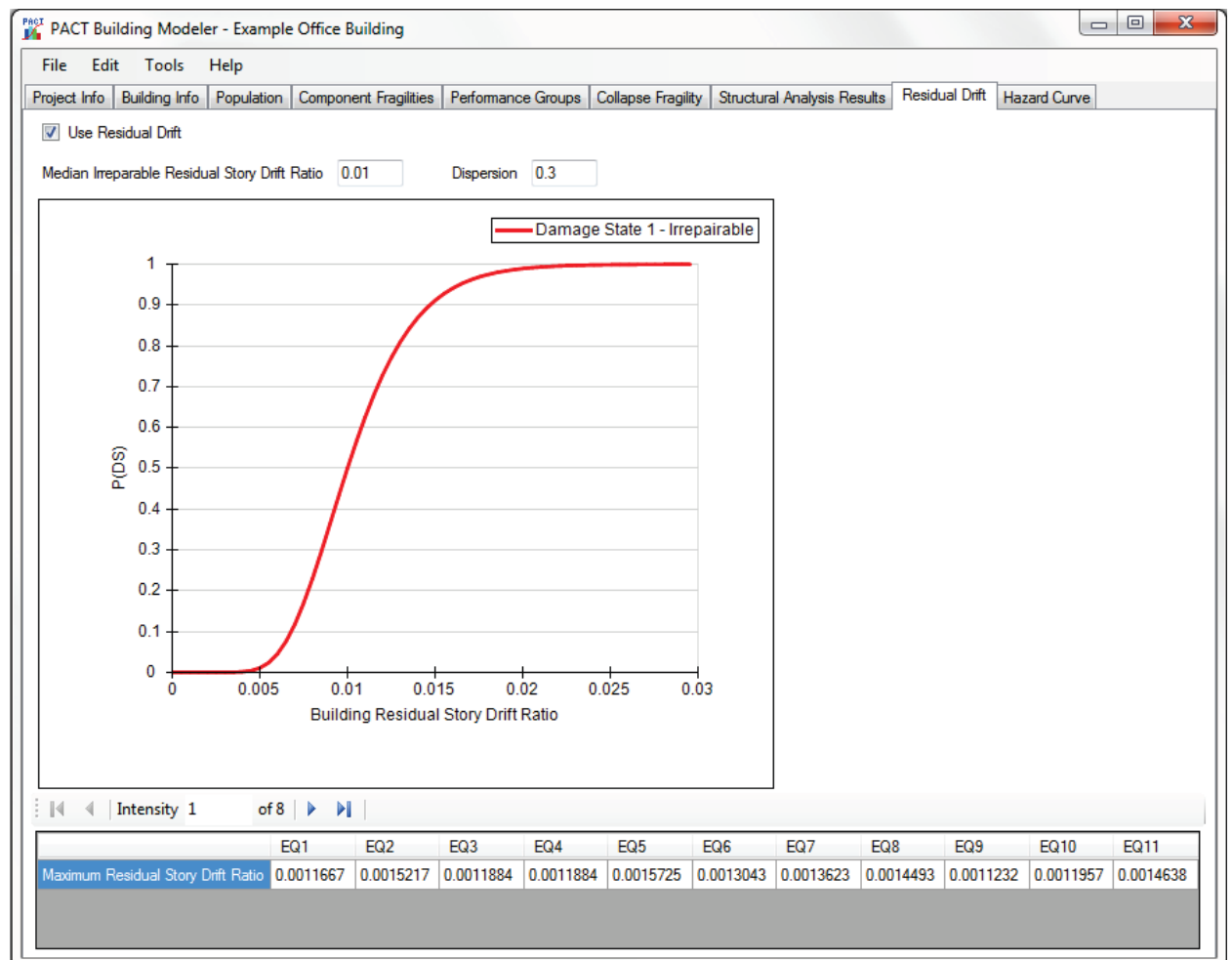
- 4η Εκδοχή : Έλεγχος βάση σεναρίων με γραμμική μορφή (Scenario – Simplified)

Η 4η εκδοχή χρησιμοποιεί ως τύπο αξιολόγησης ένα σενάριο και ως μέθοδο ανάλυσης τη γραμμική. Οι υπόλοιπες επιλογές των κελιών παραμένουν οι ίδιες, όπως και στην 2η Εκδοχή.

➤ **Residual Drift (Εναπομείνουσα Μετατόπιση)**

Στην καρτέλα αυτή φαίνεται η καμπύλη της εναπομείνουσας μετατόπισης (καμπύλη θραυστότητας) από την οποία ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσδιορίσει εάν το κτίριο μπορεί να επισκευαστεί ή όχι. Είναι μια καμπύλη που δίνει την πιθανότητα (%) να υποστεί βλάβη το κτίριο ή επιμέρους στοιχεία του κτιρίου για διάφορα σεισμικά μεγέθη, όπως η επιτάχυνση.

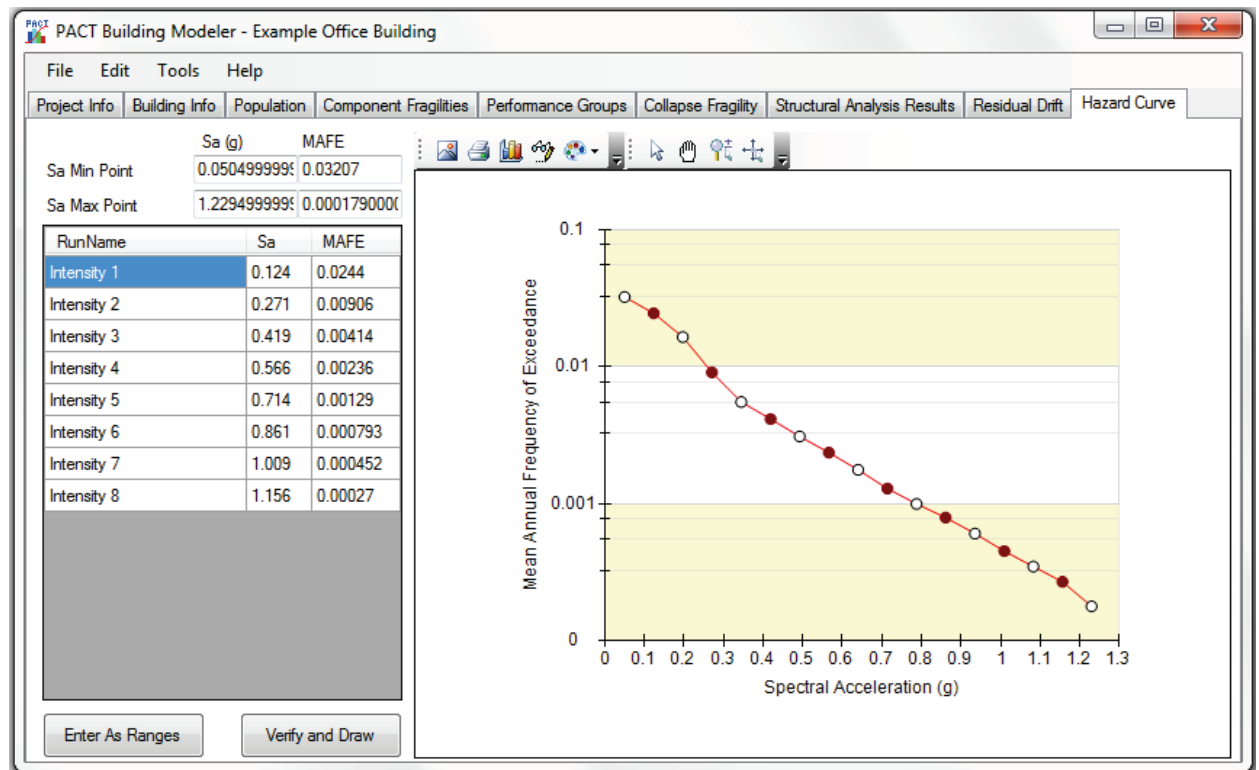
Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.14, μια τυπική καμπύλη θραυστότητας απεικονίζεται ως μια λογαριθμική συνάρτηση με μια μέση τιμή μετακίνησης ορόφου (Median Irreparable Residual Story Drift Ratio) 1% και με διασπορά 0.3. Για την τιμή 0,005 (0,5%) η πιθανότητα επισκευής είναι βέβαιη, ενώ για η τιμή 0,02 (2%) δείχνει ότι το κτίριο δεν θα πρέπει να επισκευαστεί.



Εικόνα 3.16. Καρτέλα καμπύλης θραυστότητας

➤ HazardCurve(Καμπύλη Βλάβης)

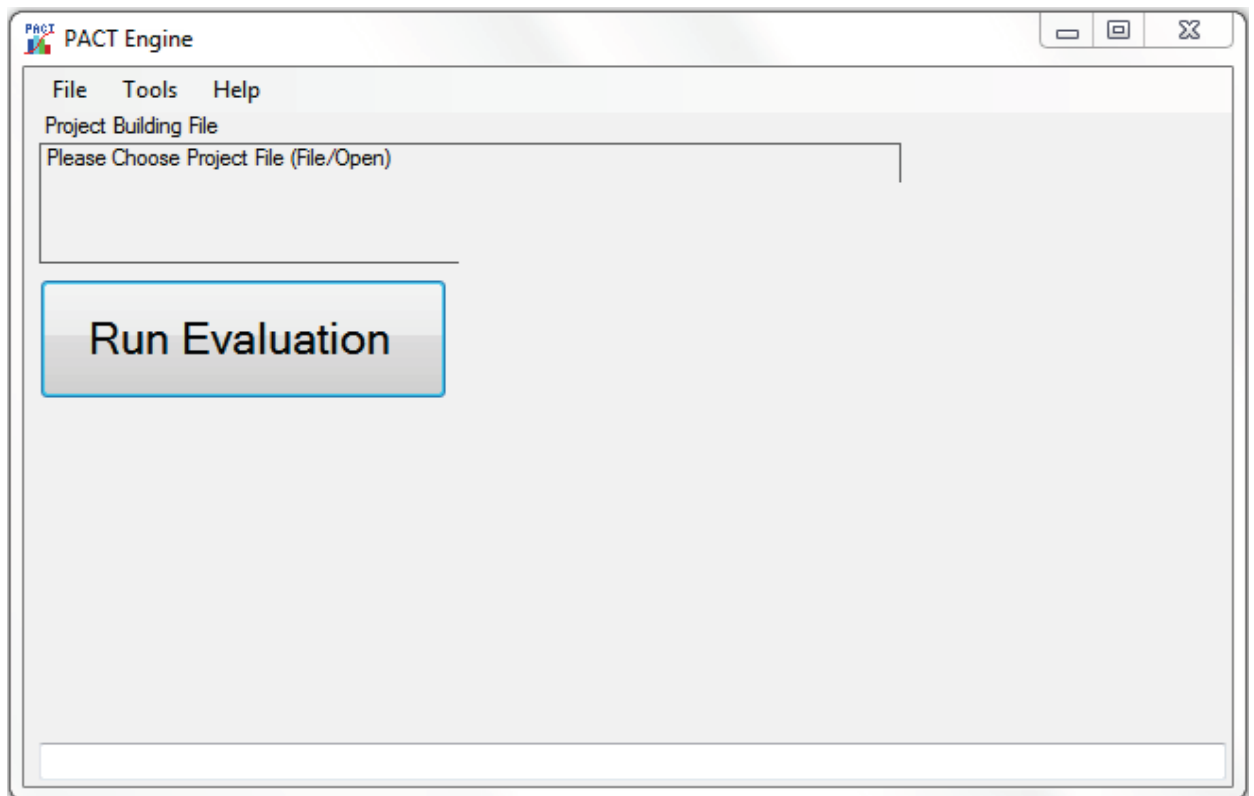
Η τελευταία καρτέλα αφορά την καμπύλη βλάβης. Το PACT μεταφέρει τις φασματικές επιταχύνσεις οι οποίες αναγράφονται στην προηγούμενη καρτέλα, στον πίνακα που υπάρχει στη αριστερή πλευρά της καρτέλας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.15. Αυτές οι τιμές είναι σκιασμένες, έτσι ώστε να μην μπορούν να αλλάξουν σε αυτή την καρτέλα αλλά μόνο στην προηγούμενη. Σε κάθε φασματική επιτάχυνση αντιστοιχεί και μια μέση ετήσια τιμή συχνότητας υπέρβασης (MAFE) έτσι ώστε να δημιουργηθεί η καμπύλη κινδύνου.



Εικόνα 3.17. Καρτέλα καμπύλης βλάβης

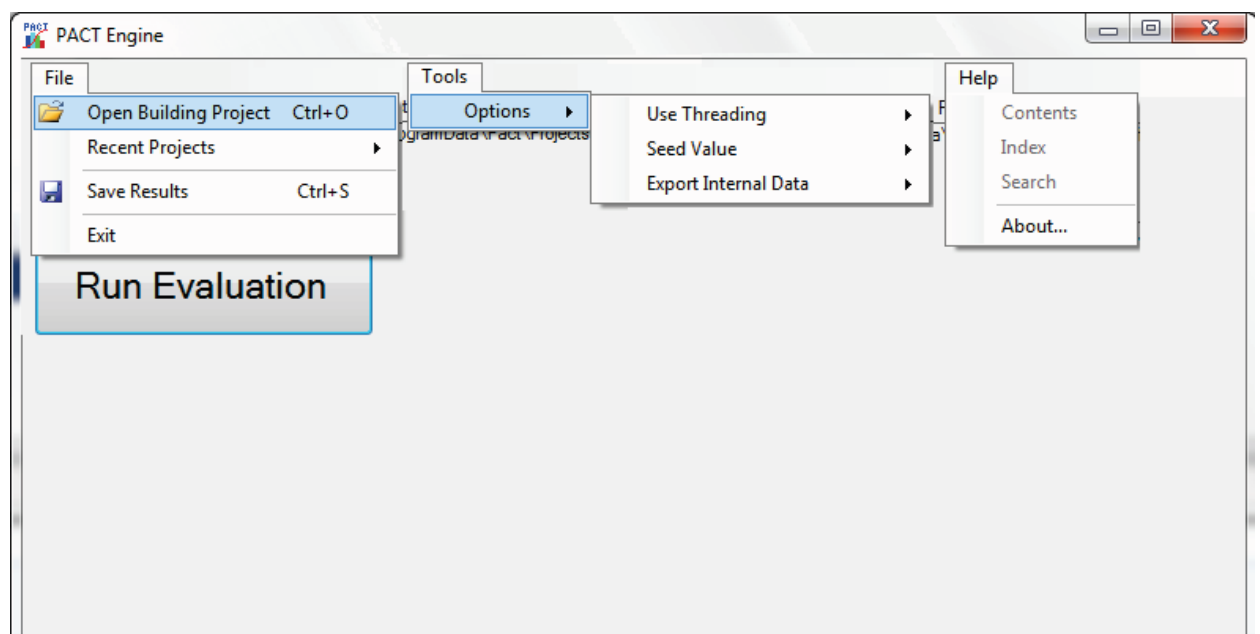
3.1.2 Η αξιολόγηση της απόδοσης – συμπεριφοράς του κτιρίου (Evaluate performance)

Αφού ο χρήστης εισάγει όλες τις πληροφορίες που διαθέτει για το κτίριο, αποθηκεύει το μοντέλο δημιουργώντας ένα αρχείο xml. Στη συνέχεια, επιστρέφει στην αρχική καρτέλα του Pact - καρτέλα εισόδου (Εικόνα 3.16) και επιλέγει το δεύτερο κουμπί από τις λειτουργίες του Pact (Evaluate performance), ώστε να τρέξει το πρόγραμμα όλα τα στοιχεία του κτιρίου και να δώσει στο χρήστη τα αποτελέσματα. Η καρτέλα που εμφανίζεται φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



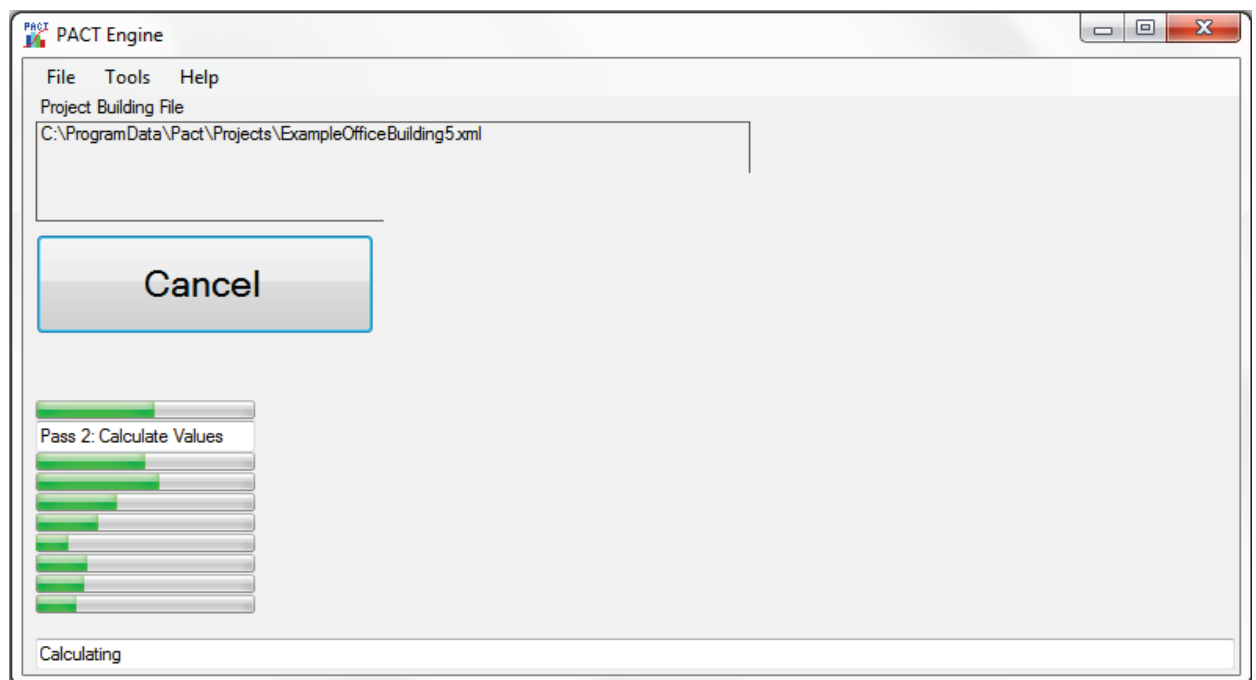
Εικόνα 3.18. Καρτέλα ανάλυσης του Pact

Για να τρέξει το πρόγραμμα το μοντέλο που δημιούργησε ο χρήστης, θα πρέπει να επιλέξει το αντίστοιχο αρχείο xml όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.19. Μενού επιλογών ανάλυσης

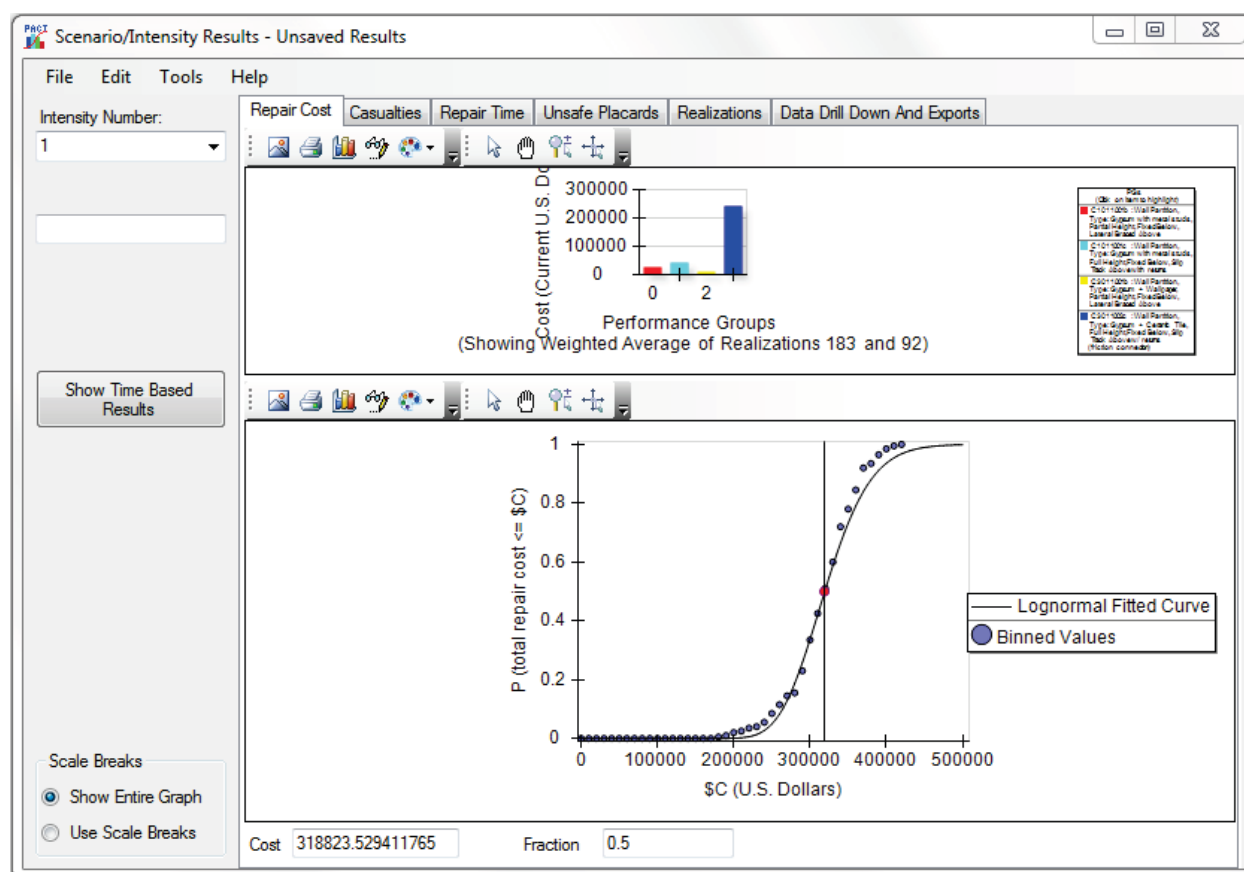
Όταν ο χρήστης επιλέξει το αρχείο ενεργοποιεί το κουμπί για να τρέξει η αξιολόγηση και στη συνέχεια να πάρει τα αποτελέσματα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να διαρκέσει από λίγα δευτερόλεπτα έως αρκετές ώρες ανάλογα με τη ταχύτητα του υπολογιστή, τον αριθμό των υλοποιήσεων που έχει ορίσει ο χρήστης, τα δεδομένα και τις ευθραυστότητες των υλικών αν δηλαδή σχετίζονται μεταξύ τους ή όχι. Οι μπάρες προόδου στο κάτω μέρος της καρτέλας, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, υποδεικνύουν την κατάσταση λειτουργίας και μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία εμφανίζεται στο χρήστη το μήνυμα ότι πραγματοποιήθηκε. Ο χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει τα αποτελέσματα σε ένα αρχείο xml το οποίο παρέχει πληροφορίες σχετικές με την ακριβή ημερομηνία και ώρα που δημιουργήθηκε η ανάλυση των αποτελεσμάτων. Το αρχείο αυτό έχει την ακόλουθη μορφή : “InputFileName_results_YYYY-MM-DDTHH.MM.SS.xml” , για παράδειγμα για το αρχείο “InputFileName_results_2011-12-31T14.30.00.xml” δημιουργήθηκε στις 31 Δεκεμβρίου 2011, στις 2:30 το απόγευμα.



Εικόνα 3.20. Καρτέλα επεξεργασίας δεδομένων

3.1.3 Η εξέταση των αποτελεσμάτων (Examine results)

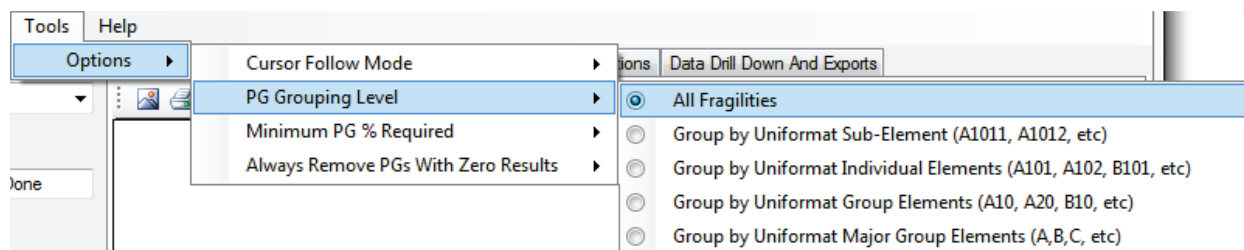
Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία και γίνει και η αποθήκευση του αρχείου των αποτελεσμάτων ο χρήστης επιστρέφει στην αρχική καρτέλα του Pact και επιλέγει το 3^ο στη σειρά κουμπί για την εξέταση των αποτελεσμάτων. Στη καρτέλα που εμφανίζεται (Εικόνα 3.19) παρουσιάζονται μια σειρά από διαγράμματα, τα οποία δίνουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης ώστε ο χρήστης να καταλήξει στα συμπεράσματά τόσο για το κτίριο όσο και τους κατοίκους του.



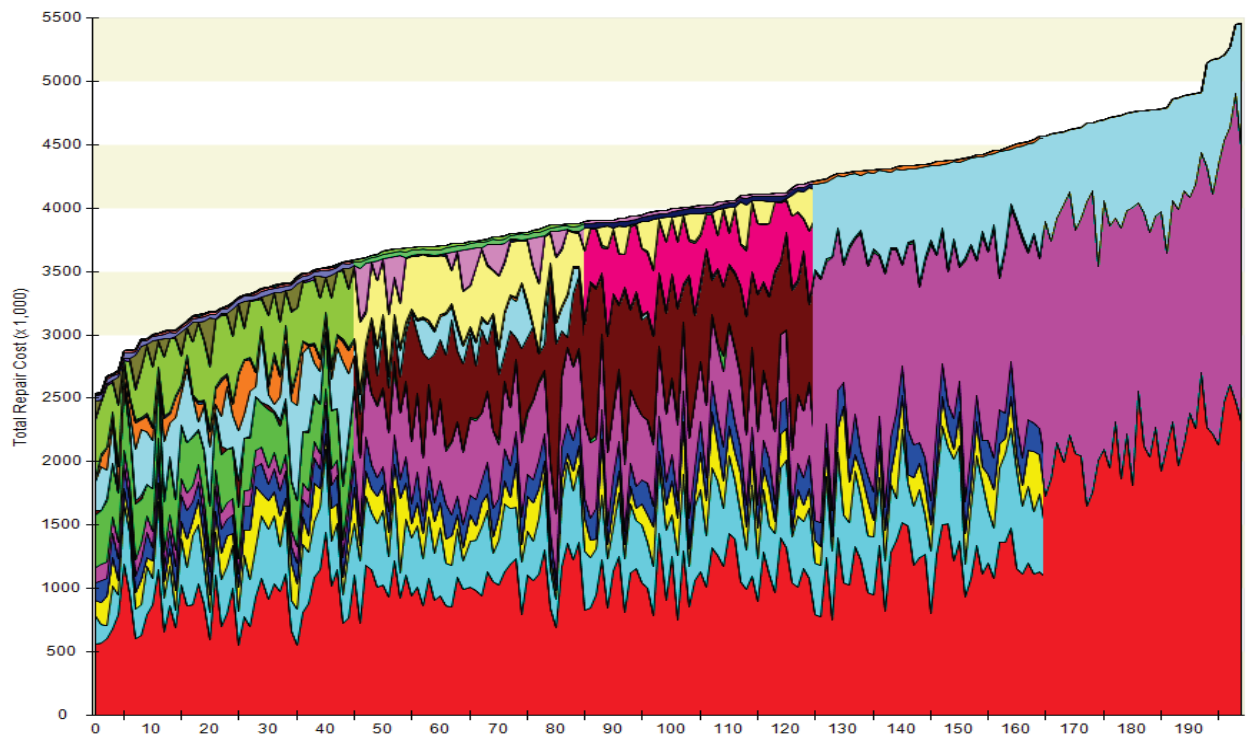
Εικόνα 3.21. Παράθυρο αποτελεσμάτων

Το Pact έχει σαν προεπιλεγμένη ρύθμιση την εξαγωγή των αποτελεσμάτων για τους τύπους αξιολόγησης του σεναρίου και της έντασης. Εκτός αυτό, έχει προεπιλεγμένη τη ρύθμιση να βλέπει ο χρήστης τα αποτελέσματα με τη μορφή διαγραμμάτων, το οποίο μπορεί να αλλάξει και να αποδοθούν υπό μορφή κλίμακας επιλέγοντας το αντίστοιχο πεδίο στην κάτω αριστερή πλευρά της καρτέλας. Επίσης, προεπιλεγμένη ρύθμιση είναι και οι ευθραυστότητες των στοιχείων να εμφανίζονται όλες μαζί. Υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής από το μενού “Εργαλεία” όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.20. Αυτό θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, με κτίρια που περιέχουν πολλά στοιχεία ευθραυστότητας, όπου θα είναι πιο απλό για το χρήστη να βλέπει τα

αποτελέσματα για κάθε κατηγορία ξεχωριστά, όπως για παράδειγμα ξεχωριστά για τα εξωτερικά στοιχεία, για τα εσωτερικά ή για τον εξοπλισμό και την επίπλωση. Η Εικόνα 3.21 δείχνει πως παρουσιάζονται σε αυτή την περίπτωση τα αποτελέσματα.



Εικόνα 3.22. Επιλογές αλλαγής ομάδων απόδοσης



All Fragilities

Sub-Elements

Elements

Groups

Major Groups

PGs
(Click on item to highlight)
B1035 Steel Connections - RSS connections with welded ribs, beam ends or column only, beam depth >= 127
B2022 Curtain Walls
B3011 Roof Finishes
C2011 Regular Stairs
C3011:
C3027 Access Pedestal Flooring
C3032 Suspended Ceilings
C3034 Independent Pendant Lighting
D1014:
D2021 Cold Water Service
D2022 Hot Water Service
D2031 Waste Piping
D3031 Chilled Water Systems
D3041 Air Distribution Systems
D3052 Package Units
D3067 Energy Monitoring & Control
D4011 Sprinkler Water Supply
Collapse
Residual Drift

PGs
(Click on item to highlight)
B1035 Steel Connections
B2022 Curtain Walls
B3011 Roof Finishes
C2011 Regular Stairs
C3011:
C3027 Access Pedestal Flooring
C3032 Suspended Ceilings
C3034 Independent Pendant Lighting
D1014:
D2021 Cold Water Service
D2022 Hot Water Service
D2031 Waste Piping
D3031 Chilled Water Systems
D3041 Air Distribution Systems
D3052 Package Units
D3067 Energy Monitoring & Control
D4011 Sprinkler Water Supply
Collapse
Residual Drift

PGs
(Click on item to highlight)
D1014 Structural Steel Elements
D2022 Exterior Window Systems
D2021 Floor Coverings
D201 Stairs
C201 Wall Finishes
C202 Roof Finishes, Raised Access Floors and Floor Flooring
D2022 Domestic Water Distribution including hot water heaters
D2022 Sanitary Waste Piping System
D2022 Ventilation & Lifts
D2022 Domestic Water Distribution including hot water heaters
D2022 Sanitary Waste Piping System
D2022 Chillers, Cooling Towers and Compressors
D2022 Distribution Systems including Fans, Drives & Diffusers and VAV Boxes
D2022 Package Air Handling Units
D2022 Control Panels & Instrumentation
D2022 Sprinklers Horizontal Distribution including Risers and Drifts
Collapse
Residual Drift

PGs
(Click on item to highlight)
B10: Super Structure
B20: Exterior Enclosure
B30: Roof Elements
C20: Stairs
C30: Interior Finishes
D10: Conveying
D20: Plumbing
D30: HVAC
D40: Fire Protection
Collapse
Residual Drift

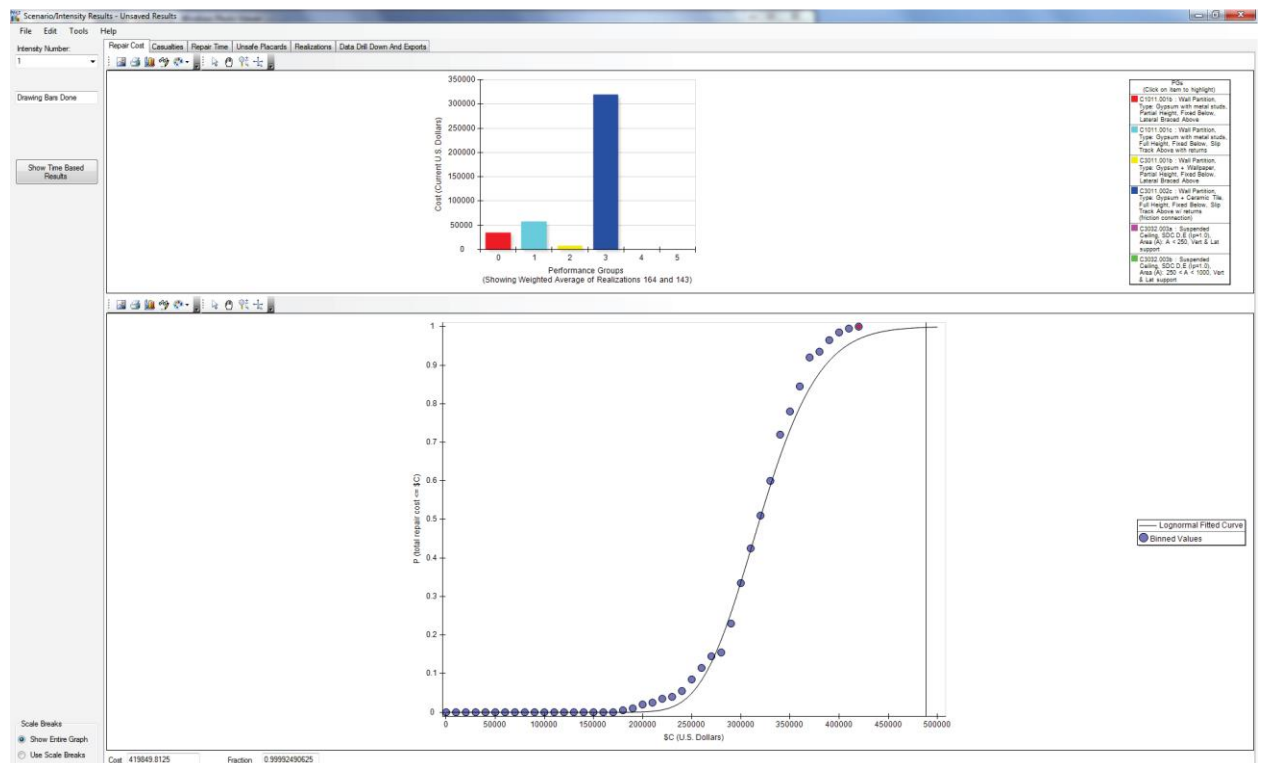
PGs
(Click on item to highlight)
B: Shell
C: Interiors
D: Services
Collapse
Residual Drift

An example of the effects of changing the PG Grouping Level on a graph and key

Εικόνα 3.23. Αποτελέσματα για κάθε ομάδα απόδοσης ξεχωριστά

➤ Κόστος αποκατάστασης (Repair Cost)

Η πρώτη καρτέλα που παρουσιάζεται έπειτα από την εξαγωγή των αποτελεσμάτων είναι η καρτέλα του κόστους αποκατάστασης ή επισκευής του κτιρίου, η οποία αποτελείται από δύο γραφικές παραστάσεις, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.22. Στο επάνω αριστερό μέρος της καρτέλας, από την αναπτυσσόμενη λίστα που υπάρχει ο χρήστης επιλέγει τον αριθμό του σεναρίου ή της έντασης. Η γραφική παράσταση, στο κάτω μέρος απεικονίζει την καμπύλη απώλειας του κόστους που σχετίζεται με το επιλεγμένο σενάριο ή ένταση για όλες τις ομάδες των επιδόσεων σε όλες τις κατευθύνσεις και σε όλο το ύψος του κτιρίου. Το υπόμνημα στην κορυφή απεικονίζει την κατανομή των απωλειών μεταξύ των ομάδων απόδοσης που έχουν οριστεί. Όταν το κόστος ή η πιθανότητα στις καμπύλες απώλειας αλλάξουν, η κατανομή του κόστους μεταξύ των ομάδων επιδόσεις εμφανίζει τις αλλαγές μέσα στο υπόμνημα αυτό.

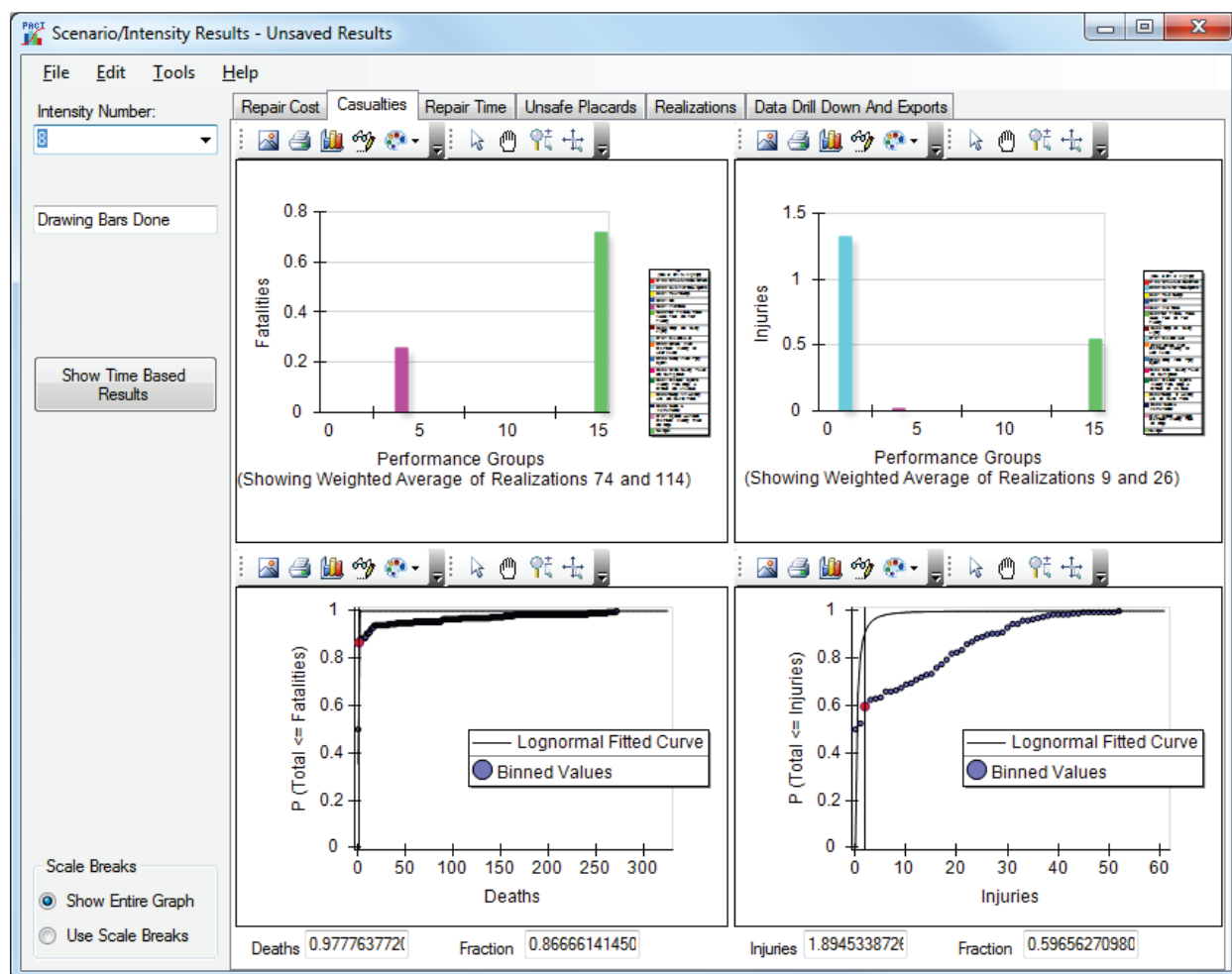


Εικόνα 3.24. Καρτέλα κόστους επισκευής

➤ Τραυματισμοί – Απώλειες ζωής (Casualties)

Η καρτέλα των ατυχημάτων αποτελείται από τέσσερις γραφικές παραστάσεις, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.23. Ομοίως με την προηγούμενη καρτέλα, ο επιθυμητός αριθμός σεναρίου ή έντασης μπορεί να επιλεγθεί από το πεδίο που βρίσκεται πάνω αριστερά. Οι γραφικές παραστάσεις στο κάτω μέρος της φόρμας απεικονίζουν

πιθανότητες ατυχημάτων που σχετίζονται με το επιλεγμένο σενάριο ή ένταση. Από προεπιλογή, ο δείκτης για το γράφημα τοποθετείται στη μέση τιμή. Κάνοντας κλικ στα σημεία της καμπύλης, θα δημιουργηθεί το διάγραμμα των ομάδων απόδοσης για τη συγκεκριμένη πιθανότητα που έχει επιλεγεί και στο κάτω μέρος της καρτέλας θα αναγραφεί ο αριθμός των ατυχημάτων για την όποια πιθανότητα διαλέξει ο χρήστης από την καμπύλη. Το υπόμνημα απεικονίζει και σε αυτή τη καρτέλα την κατανομή των απωλειών που προκαλούνται από διάφορες ομάδες επίδοσης και την κατάρρευση στην περίπτωση που συμβεί.



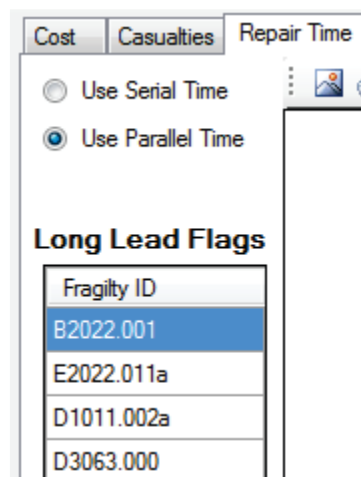
Εικόνα 3.25. Καρτέλα τραυματισμών και θανάτων

➤ Χρόνος αποκατάστασης (Repair Time)

Ο χρόνος επισκευής του εξεταζόμενου κτιρίου μπορεί να γίνει με μία από τις δύο ακόλουθες στρατηγικές επισκευής:

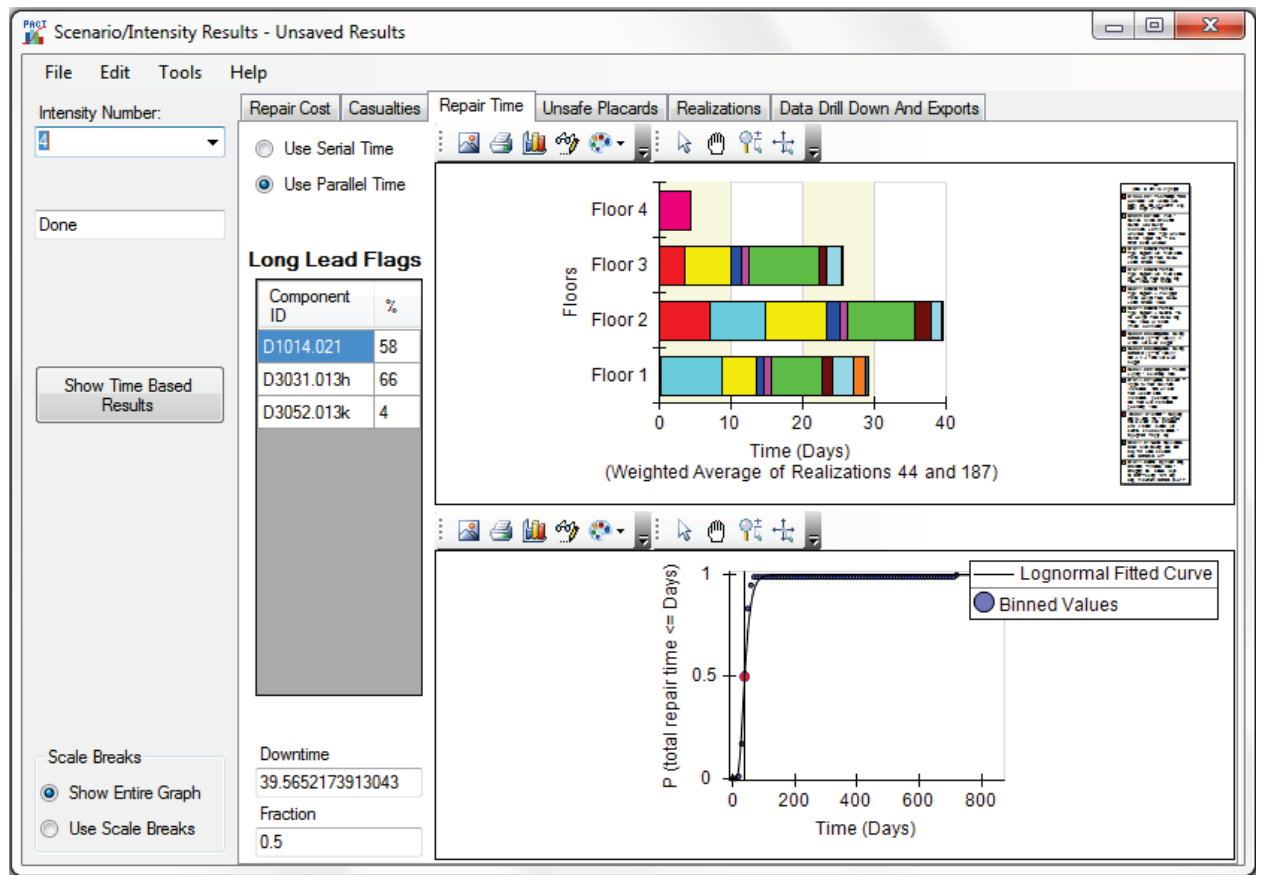
- Σε αύξοντα χρόνο, όπου οι δραστηριότητες και όλες οι εργασίες της επισκευής περιορίζονται σε έναν όροφο και σε συγκεκριμένο χρόνο, και έπειτα ακολουθούν οι εργασίες στους υπόλοιπους ορόφους
- Σε παράλληλο χρόνο, όπου οι δραστηριότητες και όλες οι εργασίες της επισκευής πραγματοποιούνται σε όλα τα δάπεδα ταυτόχρονα.

Η επιλογή της στρατηγικής για τον χρόνο επισκευής ορίζεται στο πρόγραμμα ενεργοποιώντας το αντίστοιχο πεδίο, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Επίσης, το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα σε αυτό το σημείο να δημιουργηθεί αναφορά και για τμήματα τα οποία ίσως να απαιτούν ένα μεγάλο χρονικό διάστημα για να επισκευαστούν. Η επιλογή της στρατηγικής εξαρτάται από τη χρήση του κτιρίου και ορίζεται πάντα έπειτα από συμφωνία μεταξύ μηχανικού και ιδιοκτήτη.

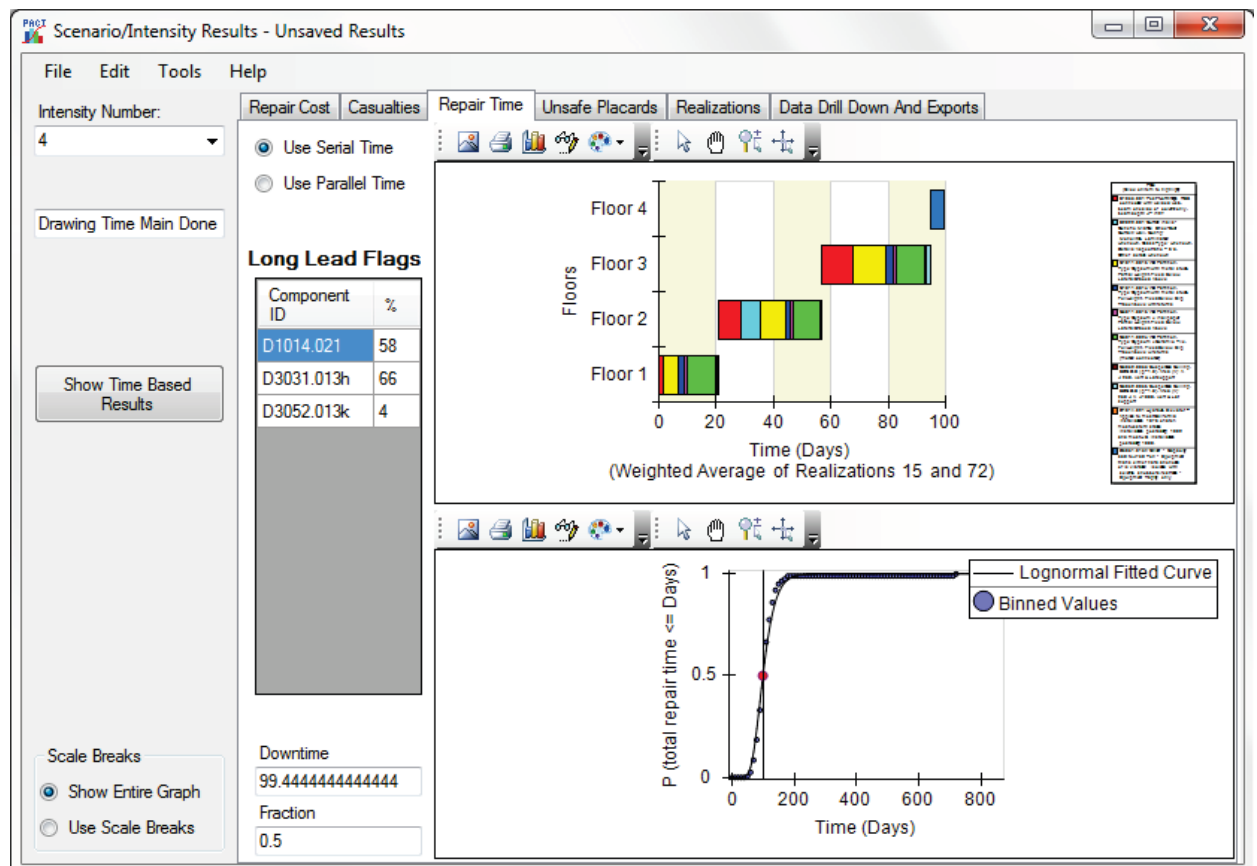


Εικόνα 3.26. Μενού επιλογής στρατηγικής για τον χρόνο αποκατάστασης

Το πρόγραμμα εξισώνει το χρόνο επισκευής παρέχοντας το συνολικό χρόνο αντικατάστασης για το κτίριο. Το γράφημα στο κάτω μέρος δείχνει την πιθανότητα του χρόνου επισκευής ενώ το διάγραμμα στο πάνω μέρος της καρτέλας δείχνει το συνολικό χρόνο επισκευής και τη συμβολή της κάθε ομάδας στην απόδοση του συνολικού χρόνου επισκευής του κτιρίου. Επίσης, στο κάτω αριστερά πεδίο αναγράφεται και ακριβώς ο χρόνος της επισκευής. Στις δύο εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζεται ο χρόνος επισκευής δεδομένου ότι στο κτίριο πραγματοποιούνται όλες οι εργασίες παράλληλα (Εικόνα 3.25) και διαδοχικά σε κάθε όροφο (Εικόνα 3.26).



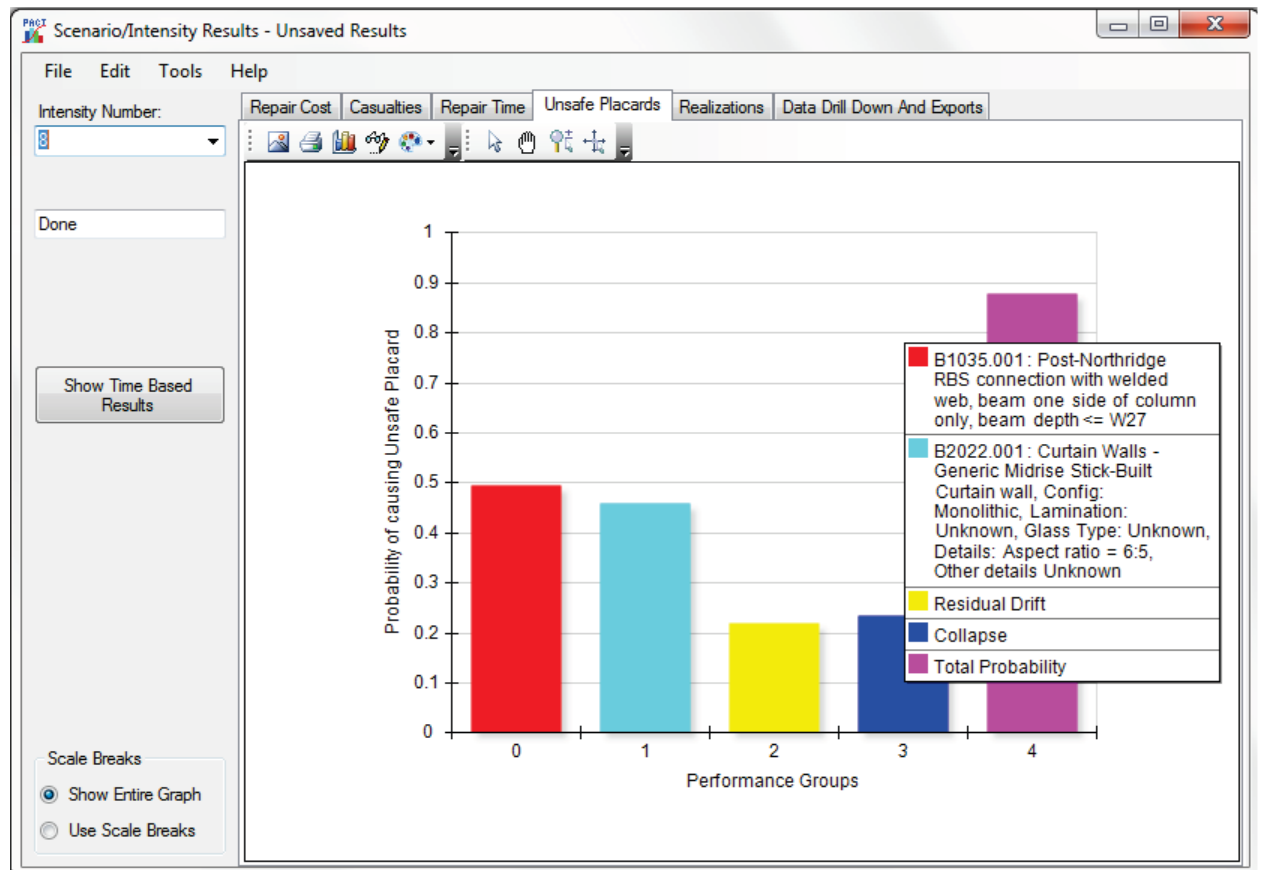
Εικόνα 3.27. Χρόνος επισκευής – Εργασίες ορόφων ταυτόχρονα



Εικόνα 3.28. Χρόνος επισκευής – Εργασίες ορόφων διαδοχικά

➤ **Επικίνδυνες Επισημάνσεις (Unsafe Placards)**

Σε αυτή την καρτέλα παρουσιάζεται η πιθανότητα των διαφόρων ομάδων απόδοσης να προκαλέσουν μια επικίνδυνη επισημάνση για το κτίριο το οποίο εκτίθεται στη σεισμική διέγερση. Στην Εικόνα 3.27 παρουσιάζεται το γράφημα με την πιθανότητα που προκύπτει για κάθε σενάριο ή ένταση, Ο επιθυμητός αριθμός σεναρίου ή έντασης μπορεί να επιλεγεί ομοίως με τις προηγούμενες καρτέλες από την αναπτυσσόμενη λίστα στο επάνω αριστερό μέρος.

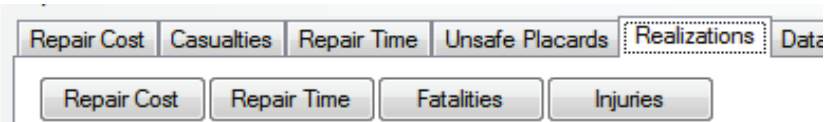


Εικόνα 3.29. Καρτέλα επικίνδυνων επισημάνσεων

➤ Υλοποίηση- Πεπραγμένα (Realizations)

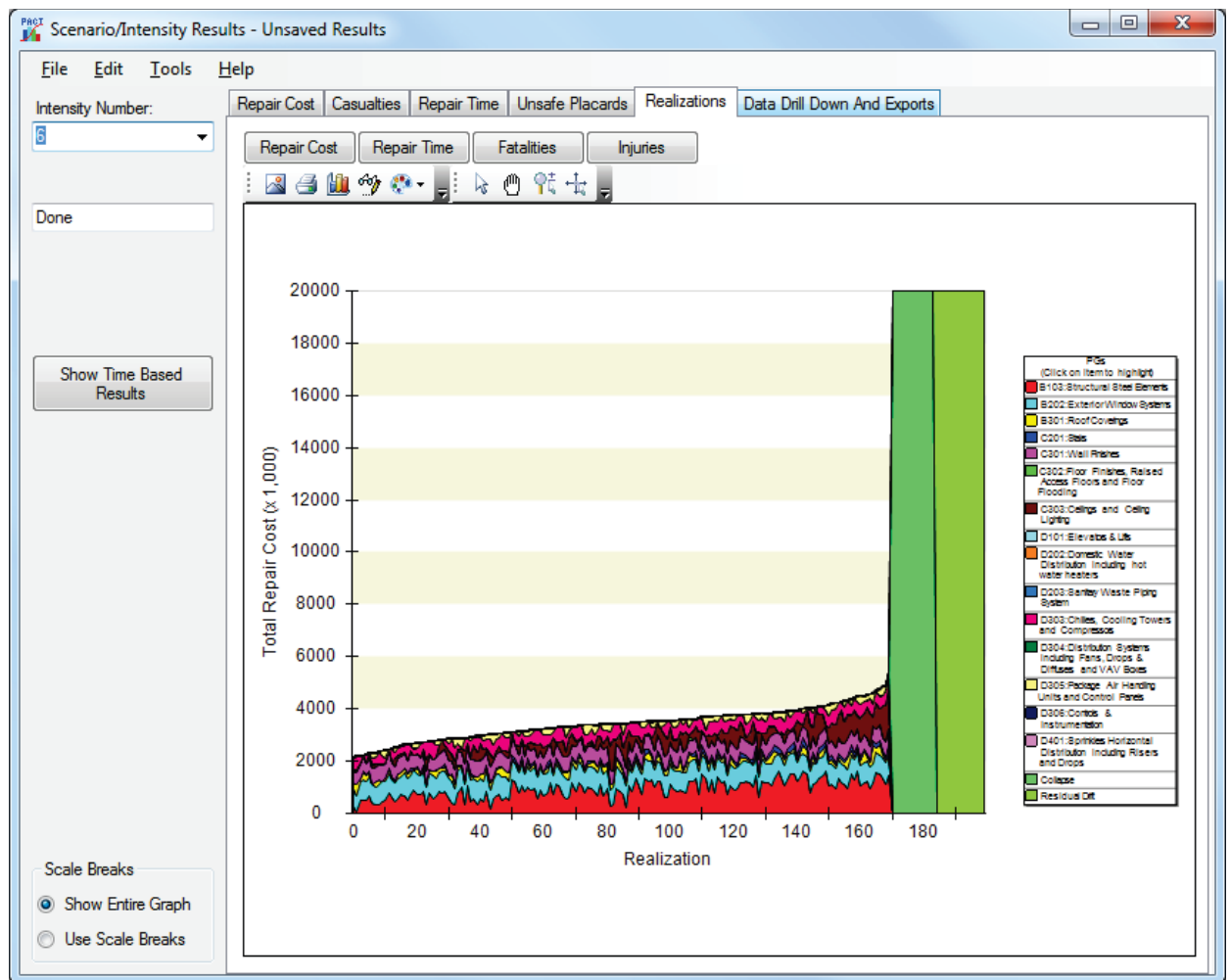
Η καρτέλα των υλοποιήσεων χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες οι οποίες περιέχουν από ένα γραφικό στιγμιότυπο των αποτελεσμάτων για την κάθε υλοποίηση που εκτελεί το πρόγραμμα. Οι κατηγορίες αυτές φαίνονται στην Εικόνα 3.28 και είναι οι εξής :

- Το κόστος επισκευής (repair cost)
- Ο χρόνος επισκευής (repair time)
- Ο αριθμός των θανάτων (fatalities)
- Ο αριθμός των τραυματισμών (injuries)

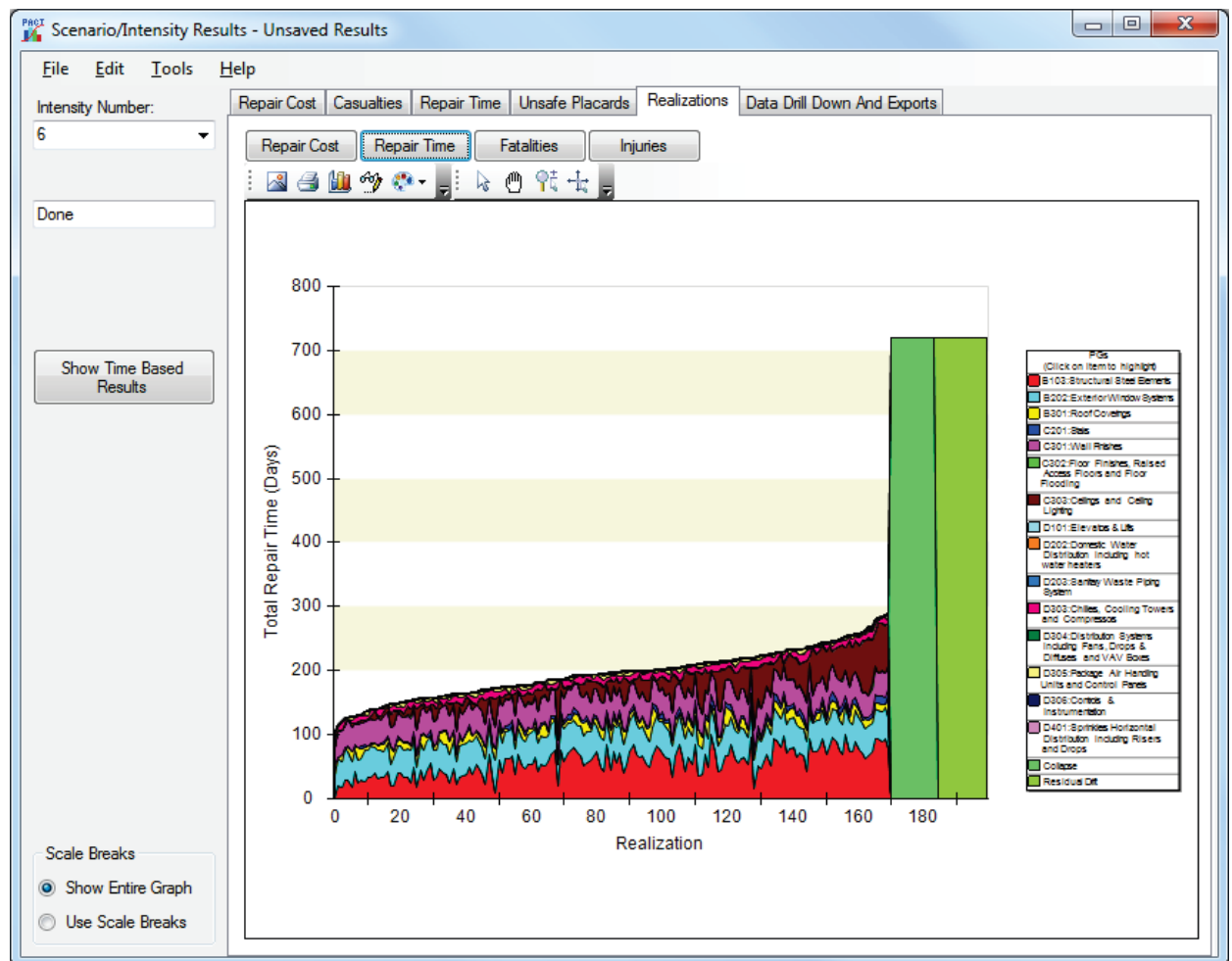


Εικόνα 3.30. Κατηγορίες υλοποιήσεων

Η Εικόνα 3.29 δείχνει το συνολικό κόστος από τις υλοποιήσεις ενώ η Εικόνα 3.30 δείχνει το χρόνο επισκευής.



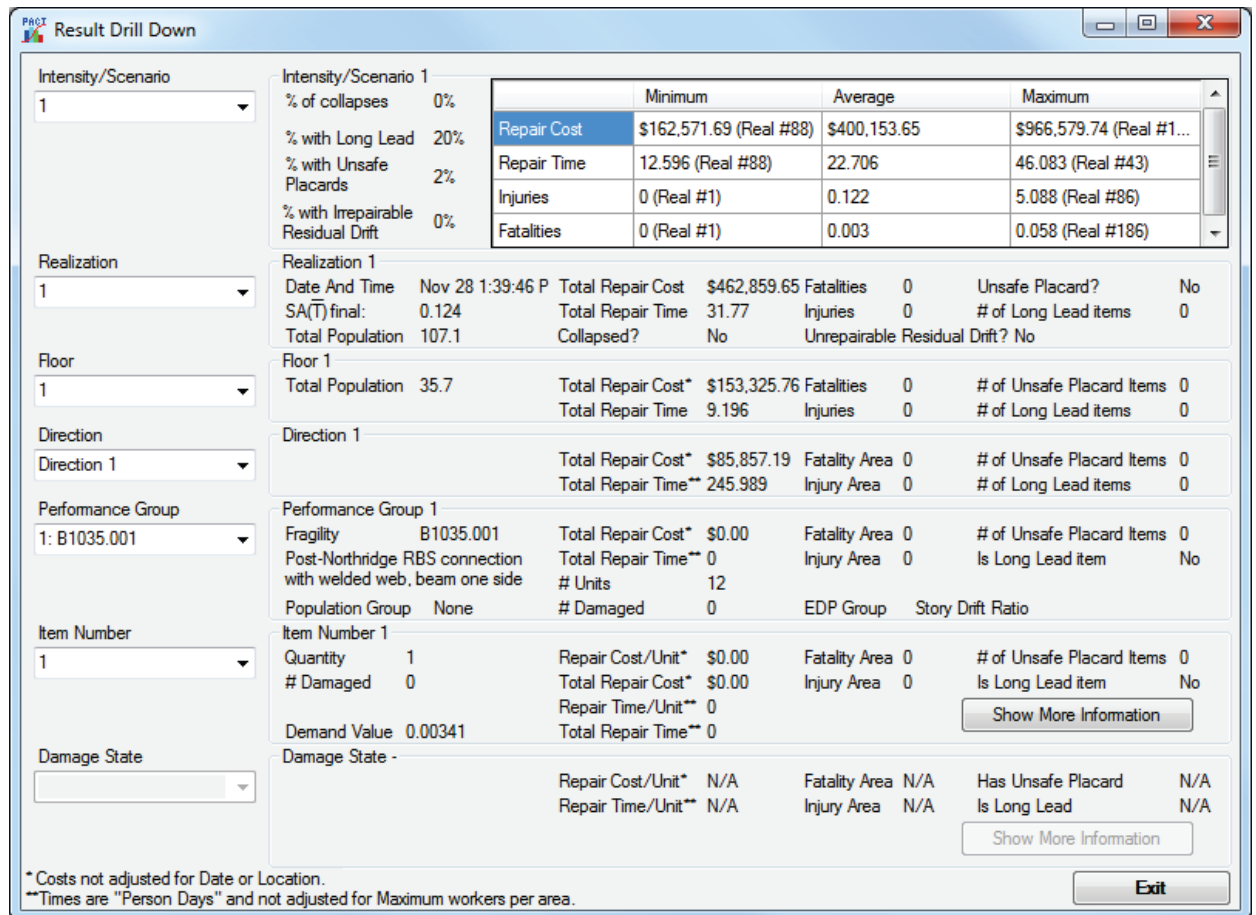
Εικόνα 3.31. Καρτέλα κόστους επισκευής



Εικόνα 3.32. Καρτέλα χρόνου επισκευής

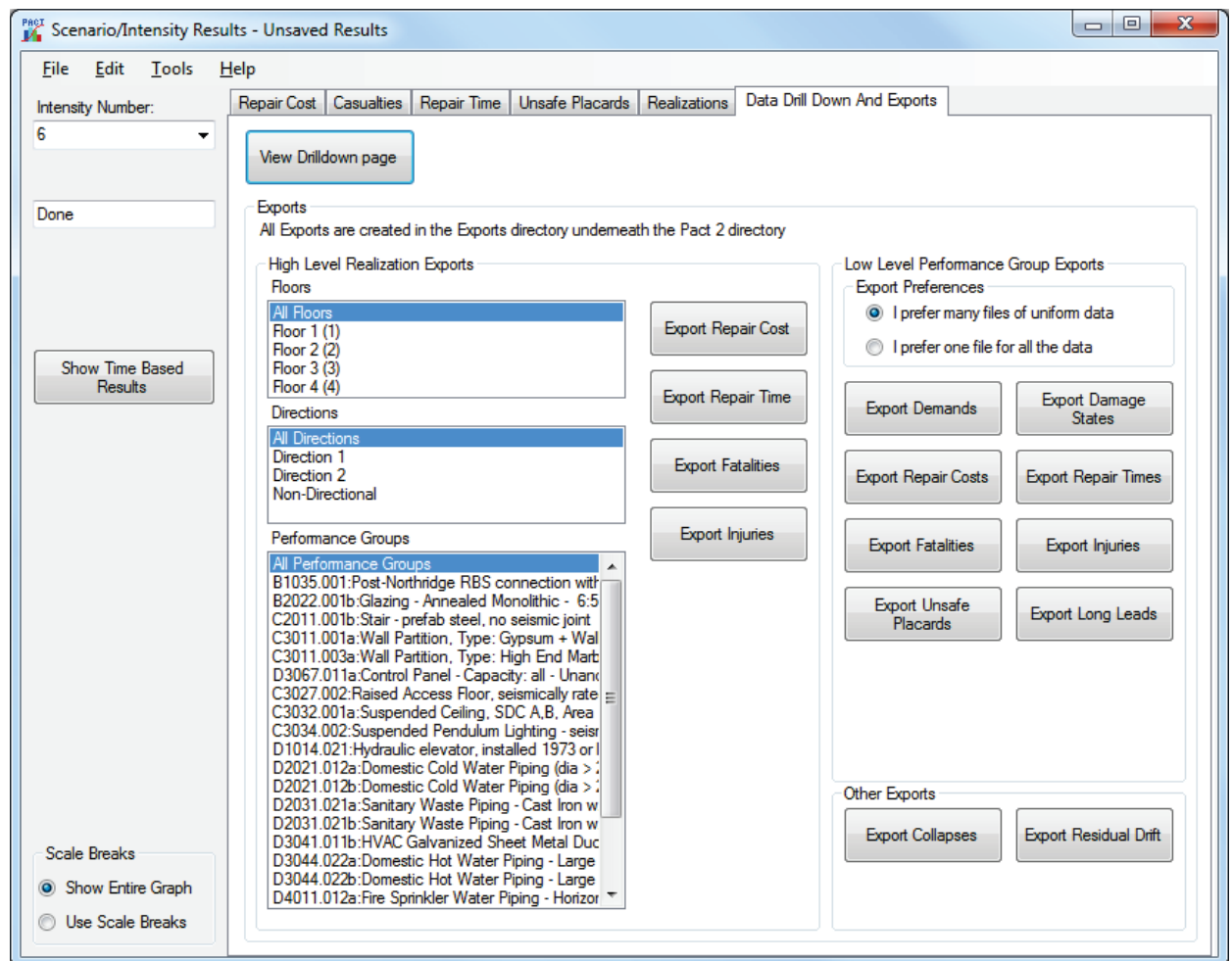
➤ **Καρτέλα εξαγωγής δεδομένων (Data Drill Down and Export Tab)**

Τα δεδομένα που έχουν δημιουργηθεί μπορούν σε αυτή την καρτέλα να εξεταστούν και υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής των αποτελεσμάτων σε μορφή συμβατή με το Microsoft Excel.



Εικόνα 33. Καρτέλα εξαγωγής αποτελεσμάτων

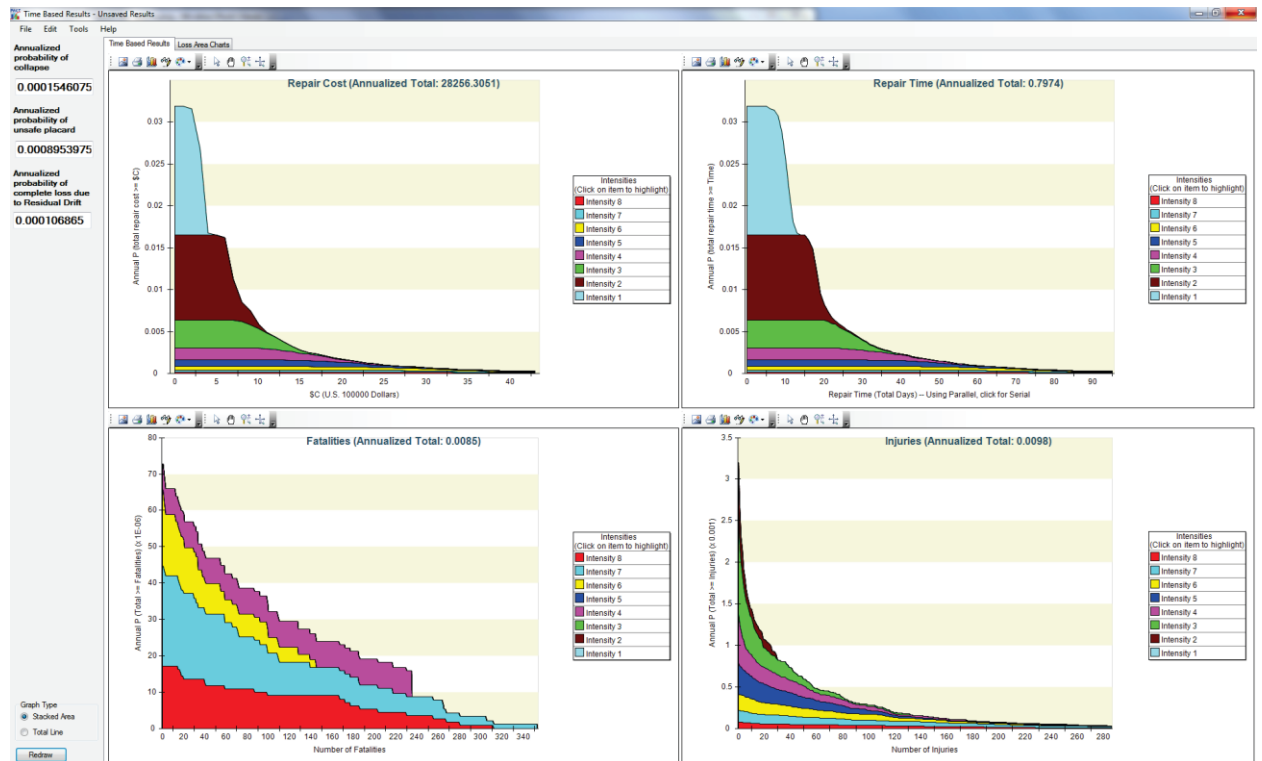
Υπάρχουν δύο επιλογές για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Η μία είναι το υψηλό επίπεδο εξαγωγών με αρχεία που περιέχουν σημαντικές πληροφορίες ενώ η δεύτερη το χαμηλό επίπεδο εξαγωγών όπου περιέχουν το κομμάτι των πληροφοριών που δημιουργούνται από το πρόγραμμα. Οι διαθέσιμες επιλογές φαίνονται στην Εικόνα 3.31.



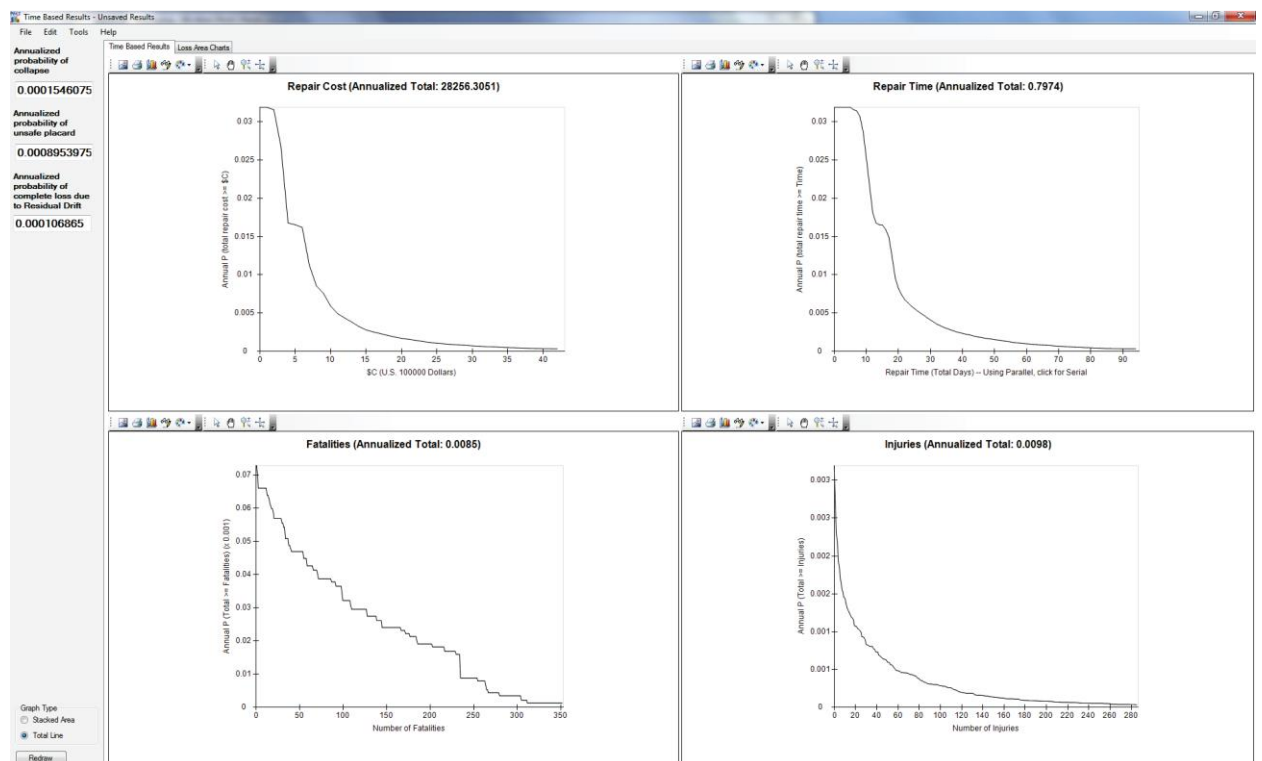
Εικόνα 3.31. Καρτέλα με επιλογές εξαγωγής αποτελεσμάτων

➤ Αποτελέσματα με βάση το χρόνο(TimeBasedResult)

Επιλέγοντας το κουμπί στο παράθυρο του Σεναρίου ή της Έντασης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.31, θα ξεκινήσει να μας δείχνει αποτελέσματα με βάση τον χρόνο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.32. Αυτό το παράθυρο χωρίζεται σε τέσσερα μέρη, στα οποία αναφέρονται οι ετήσιες συνολικές τιμές για το κόστος επισκευής, τον χρόνο επισκευής, τους θανάτους και τους τραυματισμούς. Τα σκιασμένα χρώματα σε κάθε γράφημα αντιπροσωπεύουν τη συμβολή των διαφόρων σεναρίων ή εντάσεων με την ετήσια συνολική απώλεια.



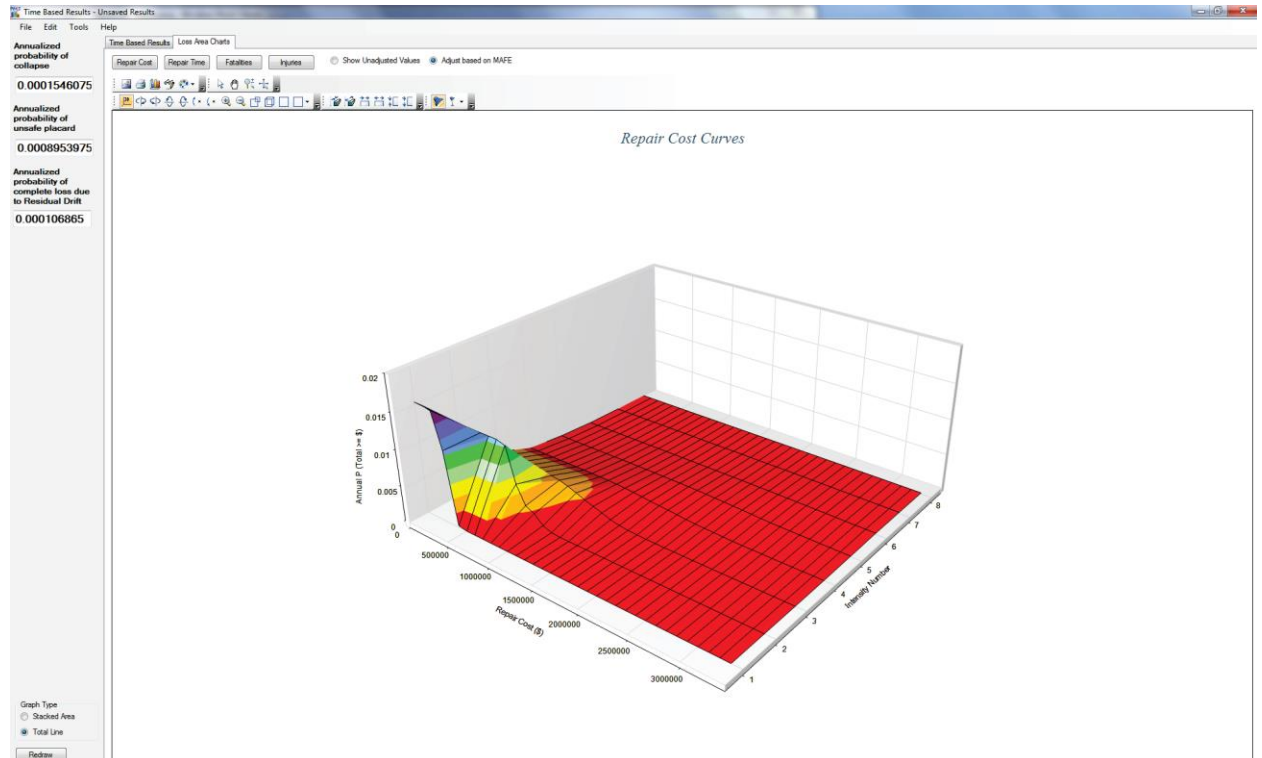
Εικόνα 34.32. Καρτέλα αποτελεσμάτων με βάση το χρόνο



Εικόνα 35.33. Καρτέλα αποτελεσμάτων με βάση το χρόνο

➤ Γραφήματα απώλειας

Επιλέγοντας το κελί Loss Area Charts, όπως φαίνεται στη Εικόνα 3.42, εμφανίζονται τα γραφήματα απωλειών για όλες τις κατηγορίες σε τρισδιάστατη αναπαράσταση.



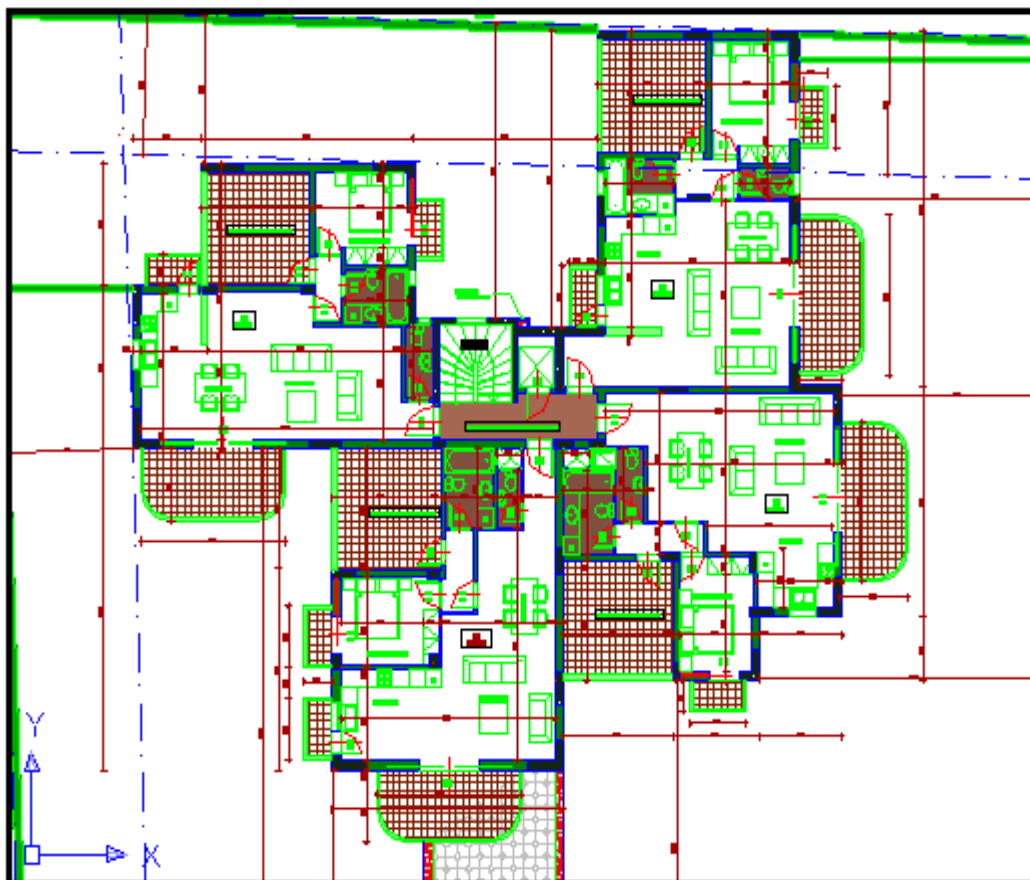
Εικόνα 36.34. Καρτέλα αποτελεσμάτων τρισδιάστατης μορφής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΤΟ PACT

4.1 Περιγραφή κτιρίου

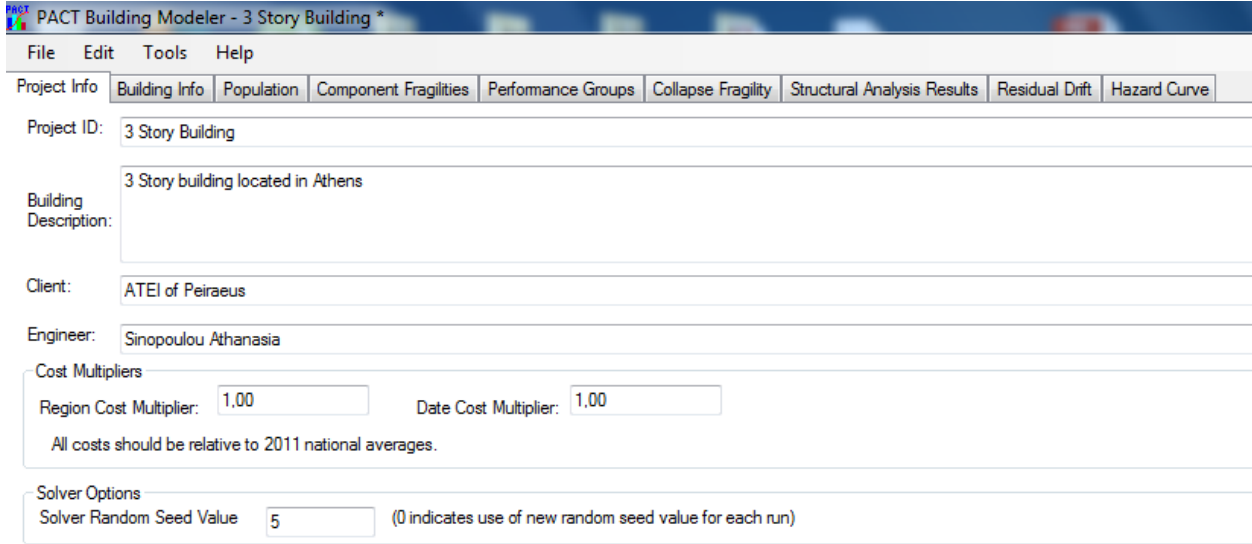
Για να χρησιμοποιούμε το λογισμικό PACT επιλέχθηκε ένα κτίριο έτσι ώστε να εξετάσουμε την εκτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς του. Πρόκειται για ένα τριώροφο κτίριο στην Αθήνα σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I (0,16g), το οποίο χρησιμοποιείται ως κτίριο κατοικιών, με εμβαδό ορόφου $369,40 \text{ m}^2 = 3976 \text{ ft}^2$ ($1\text{m} = 3,2808\text{ft}$ και $1\text{m}^2 = 10,7639\text{ft}^2$) και ύψος ανά όροφο 9,00ft, συνολικά δηλαδή 27ft. Η κάτοψη του τυπικού ορόφου του υπό εξέταση κτιρίου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 4.37. Κάτοψη 3όρου κτιρίου

Ακολουθώντας τις οδηγίες του προηγούμενου κεφαλαίου εισάγουμε τα στοιχεία που διαθέτουμε για το κτίριο μέσα στο πρόγραμμα.

➤ Project Info (Πληροφορίες του έργου)



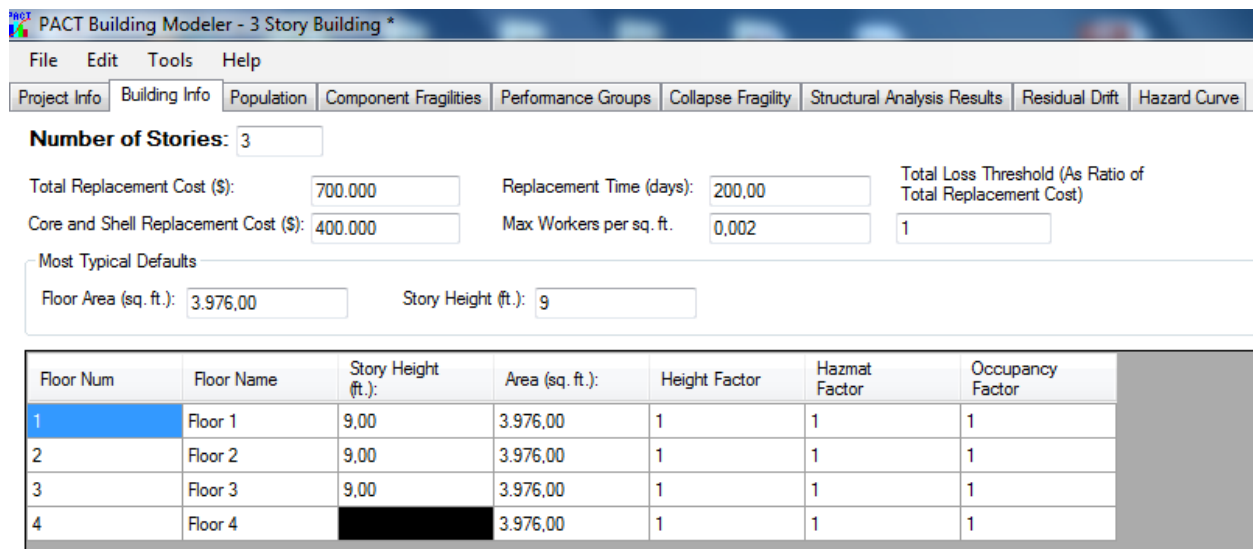
The screenshot shows the 'PACT Building Modeller - 3 Story Building' application window. The 'Project Info' tab is active, displaying the following information:

- Project ID:** 3 Story Building
- Building Description:** 3 Story building located in Athens
- Client:** ATEI of Peiraeus
- Engineer:** Sinopoulou Athanasia
- Cost Multipliers:** Region Cost Multiplier: 1.00, Date Cost Multiplier: 1.00. A note below states: "All costs should be relative to 2011 national averages."
- Solver Options:** Solver Random Seed Value: 5 (0 indicates use of new random seed value for each run)

Εικόνα 4.38. Πληροφορίες 3όροφου κτιρίου

➤ Building Info (Πληροφορίες του κτιρίου)

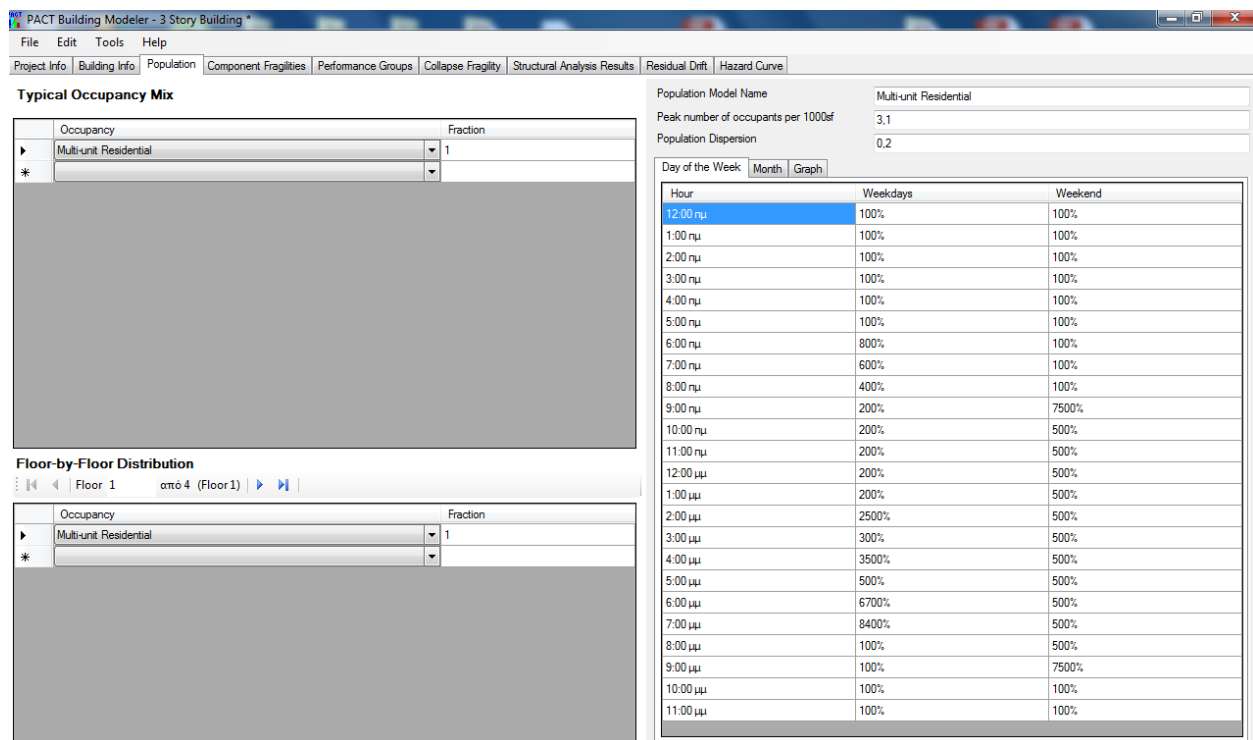
Γίνεται η εισαγωγή του αριθμού των ορόφων (τριώροφο κτίριο), της επιφάνειας του ορόφου (3976 ft²), του ύψους του ορόφου (9ft) και γίνεται εκτίμηση του συνολικού κόστους αντικατάστασης και του χρόνου αντικατάστασης του κτιρίου.



Εικόνα 4.39. Πληροφορίες 3όροφου κτιρίου

➤ Population (Μοντέλο Πληθυσμού)

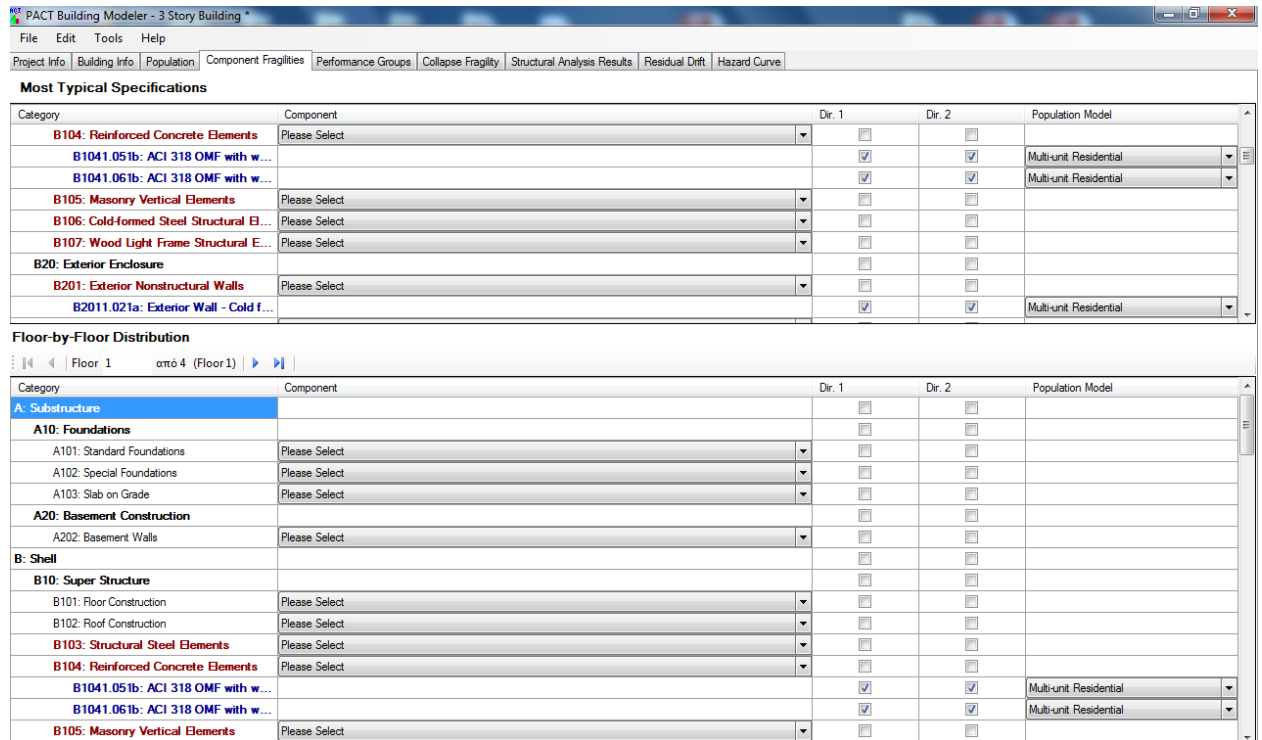
Το υπό εξέταση τριώροφο κτίριο χρησιμοποιείται ως κτίριο κατοικιών οπότε στο σημείο αυτό γίνεται η επιλογή του αντίστοιχου πεδίου (Multi-unit Residential).



Εικόνα 4.40. Μοντέλο πληθυσμού κτιρίου

➤ ComponentFragilities (Στοιχεία τρωτότητας)

Στην καρτέλα αυτή γίνεται η εισαγωγή των δομικών στοιχείων του κτιρίου που εξετάζουμε, δηλαδή των υποστυλωμάτων και των δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα, της τοιχοποιίας και του δαπέδου το οποίο επιλέγουμε να είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς πλακάκια. Στα στοιχεία που έχουμε επιλέξει ορίζουμε να εξεταστούν και ως προς τις δύο διευθύνσεις.



Εικόνα 4.41. Καρτέλα εισαγωγής στοιχείων τρωτότητας

➤ PerformanceGroups (Ομάδες Απόδοσης)

Αφού εμφανιστούν όλα τα δομικά στοιχεία που επιλέξαμε, στην καρτέλα αυτή ορίζουμε τις ποσότητες τους.

No.	Component Type	Performance Group Quantities	Quantity Dispersion	Fragility Correlated	Population Model	Demand Parameters
B1041.051b	ACI 318 OMF with weak beams and weak joints, beam flexural or shear response, Conc Col & Bm = 24" x 24", Beam both sides	65,00	0,00	<input type="checkbox"/>	Multi-unit Residential	Story Drift Ratio
B1041.061b	ACI 318 OMF with weak columns, Conc Col & Bm = 24" x 24", Beam both sides	32,00	0,00	<input type="checkbox"/>	Multi-unit Residential	Story Drift Ratio
B2011.021a	Exterior Wall - Cold formed steel walls with 22 or 31 mil steel sheathing, interior - gypsum board	180,00	0,00	<input type="checkbox"/>	Multi-unit Residential	Story Drift Ratio

Εικόνα 4.42. Ομάδες απόδοσης διεύθυνσης 1 και 2

No.	Component Type	Performance Group Quantities	Quantity Dispersion	Fragility Correlated	Population Model	Demand Parameters
B3011.013	Concrete tile roof, unsecured tiles	3.976,00	0,00	<input type="checkbox"/>	Multi-unit Residential	Acceleration

Εικόνα 4.43. Ομάδες απόδοσης χωρίς διεύθυνση

➤ CollapseFragility (Κατάρρευση ευθραυστότητας)

Ορισμός μέσης φασματικής επιτάχυνσης, g και της αντίστοιχης διασποράς.

The screenshot shows the 'Collapse Fragility' settings in PACT Building Modeler. The 'Collapse Fragility' tab is active, showing a median of 1.5 and a dispersion of 0.4. The number of potential collapse modes is set to 3. Below this, there are two tables: 'Mutually Exclusive Probability of Mode Given Collapse' and 'Fraction of Floor Subject to Collapse Debris'. At the bottom, the 'Collapse Consequences' section shows a table for 'Mode 1' with fatality and injury rates.

Mode 1	Mode 2	Mode 3
0.6	0.4	0.2

Floor	Mode 1	Mode 2	Mode 3
Floor 3 (3)	0.1	0.2	0.1
Floor 2 (2)	0.3	0.2	0.4
Floor 1 (1)	0.6	0.6	0.5

Floor	Fatality Rate Mean	Fatality Rate COV	Injury Rate Mean	Injury Rate COV
Floor 3 (3)	0.9	0	0.1	0
Floor 2 (2)	0.9	0	0.1	0
Floor 1 (1)	0.9	0	0.1	0

Εικόνα 4.44. Καρτέλα θραυστότητας

➤ Structural Analysis Results (Αποτελέσματα ανάλυσης)

• Ένταση – Μη Γραμμική ανάλυση (1^η εκδοχή)

Στη συνέχεια, με την επιλογή της Έντασης και της Μη-Γραμμικής ανάλυσης εισάγουμε τα στοιχεία της στατικής ανάλυσης. Εισάγουμε τα δεδομένα για όλες τις εντάσεις που έχουμε δημιουργήσει και σε όλες τις διευθύνσεις και με τιμές

φασματικής επιτάχυνσης τις εξής : $S_a = 0,275g$ για Intensity 1, $S_a = 0,423g$ για Intensity 2, $S_a = 0,87g$ για Intensity 3 και $S_a = 1,304g$ για Intensity 4.

The screenshot shows the 'Identify Intensity' window for Intensity 1. The 'Analysis Type' is set to 'Non-Linear'. The 'Scenario/Intensity Information' shows 6 Typical Number of Demand Vectors and 200 Number of Realizations. The 'Non-directional conversion factor' is 1.2. The 'For Collapse Only' section shows $S_a(\bar{T})$ Median (g) as 0.275. The 'Intensity Set' table is as follows:

Floor/Story	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6
Floor 3-Roof (rad)	12474	14358	12039	12764	11967	13271
Floor 2-3 (rad)	11974	13858	11539	12264	11467	12771
Floor 1-2 (rad)	69940	81850	76490	5678	49700	71130

Εικόνα 4.45. Ένταση 1 – Διεύθυνση 1 – $S_a = 0,275$

The screenshot shows the 'Identify Intensity' window for Intensity 1. The 'Analysis Type' is set to 'Non-Linear'. The 'Scenario/Intensity Information' shows 6 Typical Number of Demand Vectors and 200 Number of Realizations. The 'Non-directional conversion factor' is 1.2. The 'For Collapse Only' section shows $S_a(\bar{T})$ Median (g) as 0.275. The 'Intensity Set' table is as follows:

Floor/Story	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6
Floor 3-Roof (rad)	12691	12981	12401	12836	11967	12546
Floor 2-3 (rad)	12191	12481	11901	12336	19170	12046
Floor 1-2 (rad)	61610	80060	62200	64590	54470	61610

Εικόνα 4.46. Ένταση 1 – Διεύθυνση 2 – $S_a = 0,275$

Ομοίως και για τις εντάσεις 2, 3 και 4 και στην διεύθυνση 1 και 2 :

The screenshot shows the 'Identify Intensity' window for Intensity 2. The 'Analysis Type' is set to 'Non-Linear'. The 'Scenario/Intensity Information' shows 6 Typical Number of Demand Vectors and 200 Number of Realizations. The 'Non-directional conversion factor' is 1.2. The 'For Collapse Only' section shows $S_a(\bar{T})$ Median (g) as 0.423. The 'Intensity Set' table is as follows:

Floor/Story	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6
Floor 3-Roof (rad)	20807	26749	16532	19793	23561	19213
Floor 2-3 (rad)	17764	28561	14358	20517	15952	19503
Floor 1-2 (rad)	11074	18336	92560	12145	7292	11550

Εικόνα 4.47. Ένταση 2 – Διεύθυνση 1 – $S_a = 0,423$

Intensity ID Intensity 2

Number of Demand Vectors 6 Modeling Dispersion β_m 0 (β SD, β FA, and β FV)

For Collapse Only
Sa (T) 0,423
Median (g)

Intensity Set
Direction Direction 2 Demand Type Story Drift Ratio

Floor/Story	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6
Floor 3-Roof (rad)	18923	25228	19648	19793	19141	18488
Floor 2-3 (rad)	17619	19575	18778	20735	15735	18488
Floor 1-2 (rad)	81850	14110	94940	11610	77680	95540

Εικόνα 4.48. Ένταση 2 – Διεύθυνση 2 – Sa = 0,423

Intensity ID Intensity 3

Number of Demand Vectors 6 Modeling Dispersion β_m 0 (β SD, β FA, and β FV)

For Collapse Only
Sa (T) 0,87
Median (g)

Intensity Set
Direction Direction 1 Demand Type Story Drift Ratio

Floor/Story	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6
Floor 3-Roof (rad)	33706	47691	18126	27691	25372	25372
Floor 2-3 (rad)	31612	47916	18133	30856	21249	27191
Floor 1-2 (rad)	19288	32383	12919	20598	93160	18276

Εικόνα 4.49. Ένταση 3 – Διεύθυνση 1 – Sa = 0,87

Intensity ID Intensity 3

Number of Demand Vectors 6 Modeling Dispersion β_m 0 (β SD, β FA, and β FV)

For Collapse Only
Sa (T) 0,87
Median (g)

Intensity Set
Direction Direction 2 Demand Type Story Drift Ratio

Floor/Story	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6
Floor 3-Roof (rad)	21025	31677	21749	31314	22546	18199
Floor 2-3 (rad)	18343	23271	19720	30952	21749	20083
Floor 1-2 (rad)	88460	17026	12621	19169	12264	12850

Εικόνα 4.50. Ένταση 3 – Διεύθυνση 2 – Sa = 0,87

Intensity ID Intensity 4

Number of Demand Vectors 6 Modeling Dispersion β_m 0 (β SD, β FA, and β FV)

For Collapse Only
Sa (T) 1,304
Median (g)

Intensity Set
Direction Direction 1 Demand Type Story Drift Ratio

Floor/Story	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6
Floor 3-Roof (rad)	50952	62619	23054	37474	32257	38923
Floor 2-3 (rad)	47546	63343	22981	39720	27909	41025
Floor 1-2 (rad)	29407	43038	17026	27621	11669	27840

Εικόνα 4.51. Ένταση 4 – Διεύθυνση 1 – Sa = 1,304

Identify Intensity

Intensity 4 από 4 Add New Intensity Delete Intensity Load Results From CSV Save Results To CSV

Intensity ID Intensity 4

Number of Demand Vectors 6 Modeling Dispersion β_m 0 (β SD, β FA, and β FV)

For Collapse Only
Sa (T) 1,304
Median (g)

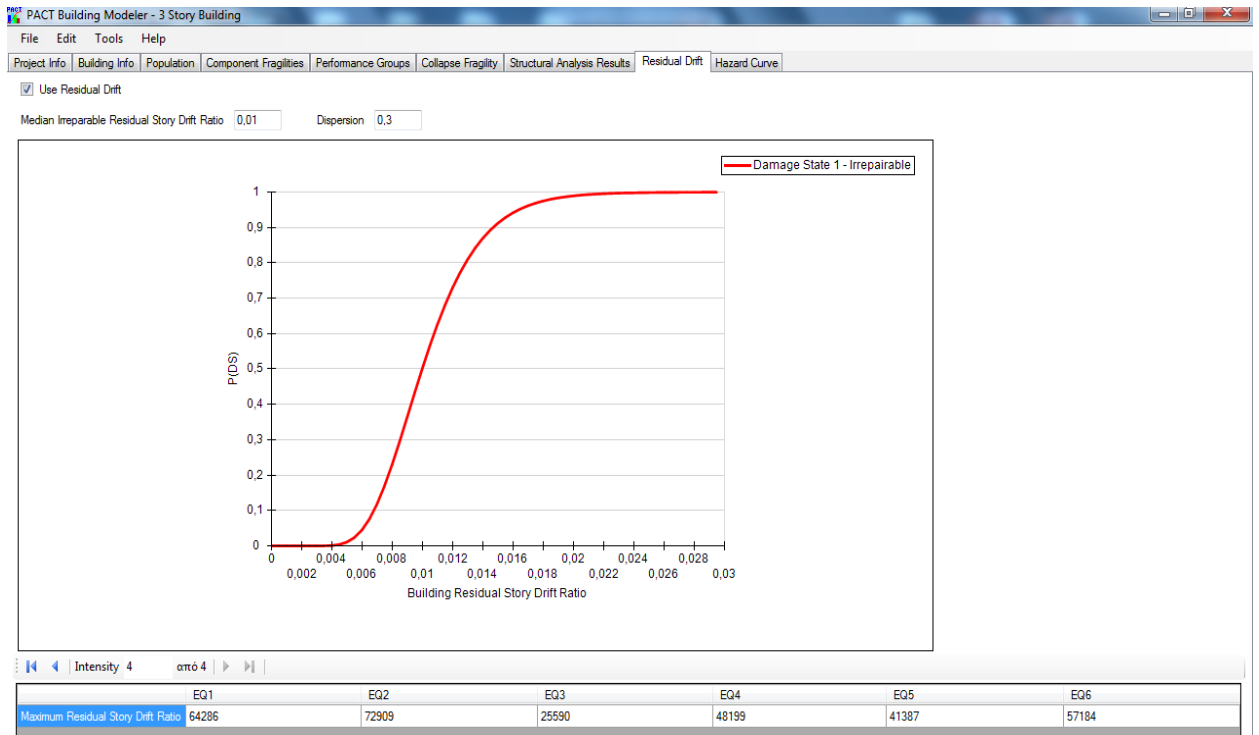
Intensity Set
Direction Direction 2 Demand Type Story Drift Ratio

Floor/Story	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6
Floor 3-Roof (rad)	23778	36387	26749	46967	31097	24068
Floor 2-3 (rad)	20671	27909	23199	44430	28778	25662
Floor 1-2 (rad)	12324	20776	18098	27621	17443	16193

Εικόνα 4.52. Ένταση 4 – Διεύθυνση 2 – Sa = 1,304

➤ Residual Drift (Εναπομείνουσα Μετατόπιση)

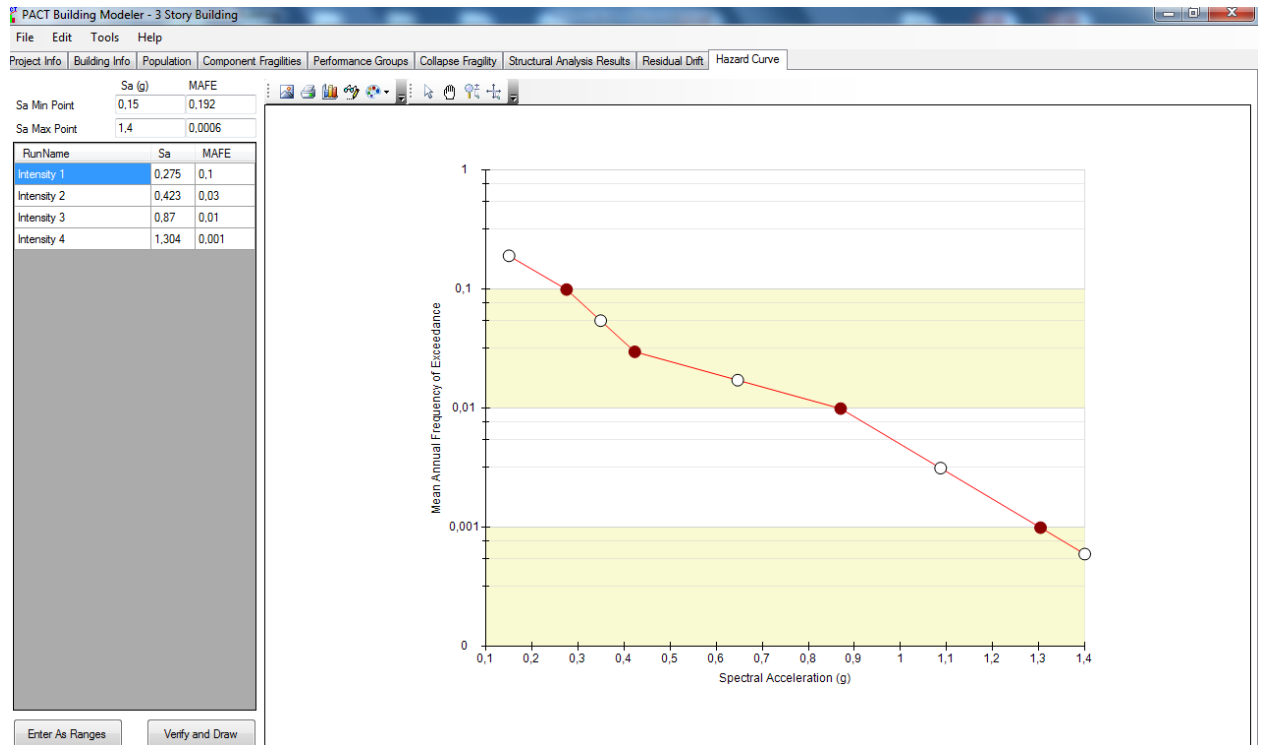
Στην καρτέλα αυτή εισάγουμε τις μέγιστες τιμές των διανυσμάτων και για τις 4 εντάσεις.



Εικόνα 4.53. Καμπύλη θραυστότητας κτιρίου

➤ HazardCurve (Καμπύλη Βλάβης)

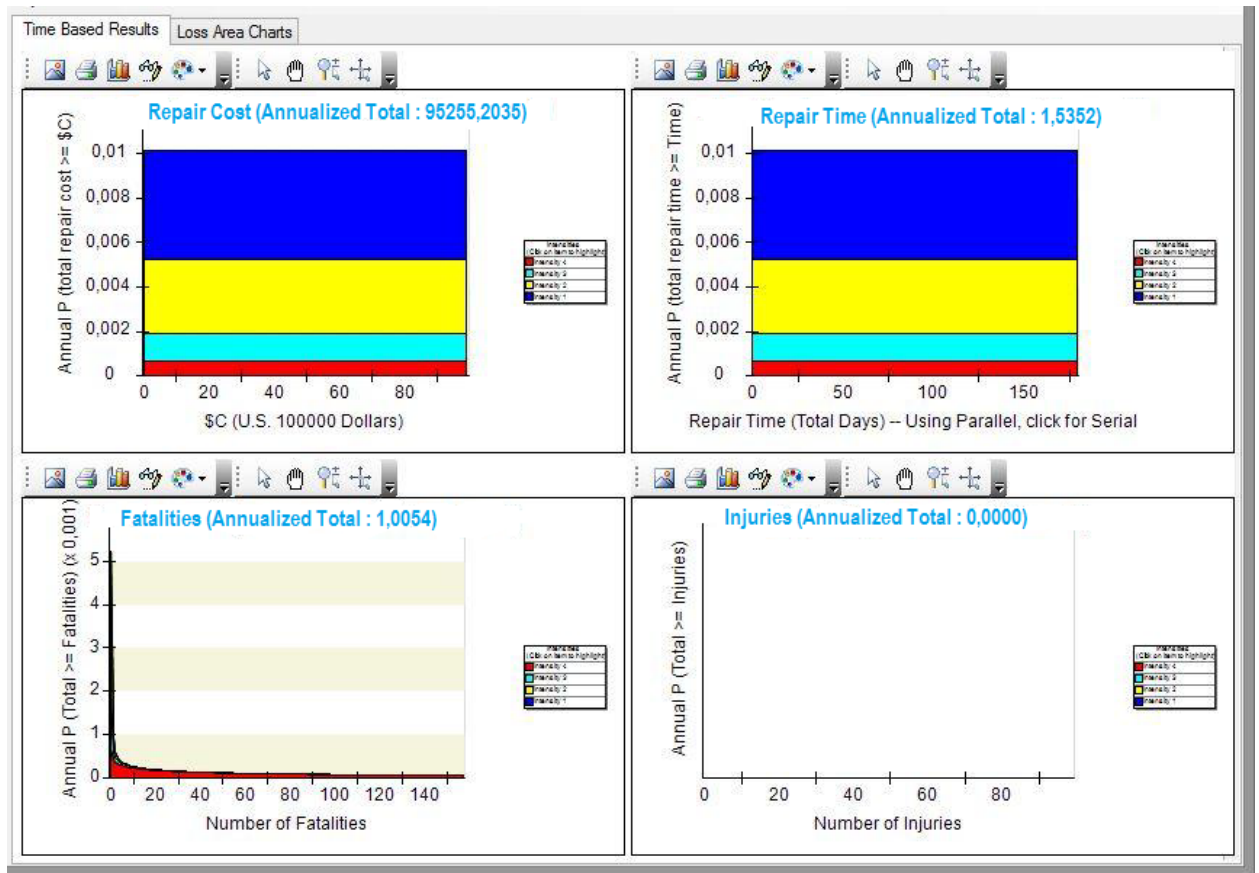
Η καμπύλη βλάβης που δημιουργήθηκε είναι η εξής :



Εικόνα 4.54. Καμπύλη βλάβης

Μετά την ολοκλήρωση και της τελευταίας αυτής καρτέλας, το επόμενο βήμα είναι να αποθηκεύσουμε και στη συνέχεια να τρέξουμε το αρχείο που δημιουργήσαμε και να εξάγουμε τα αποτελέσματα.

Αποτελέσματα σε ετήσια βάση Έντασης – Μη- Γραμμικής Ανάλυσης :

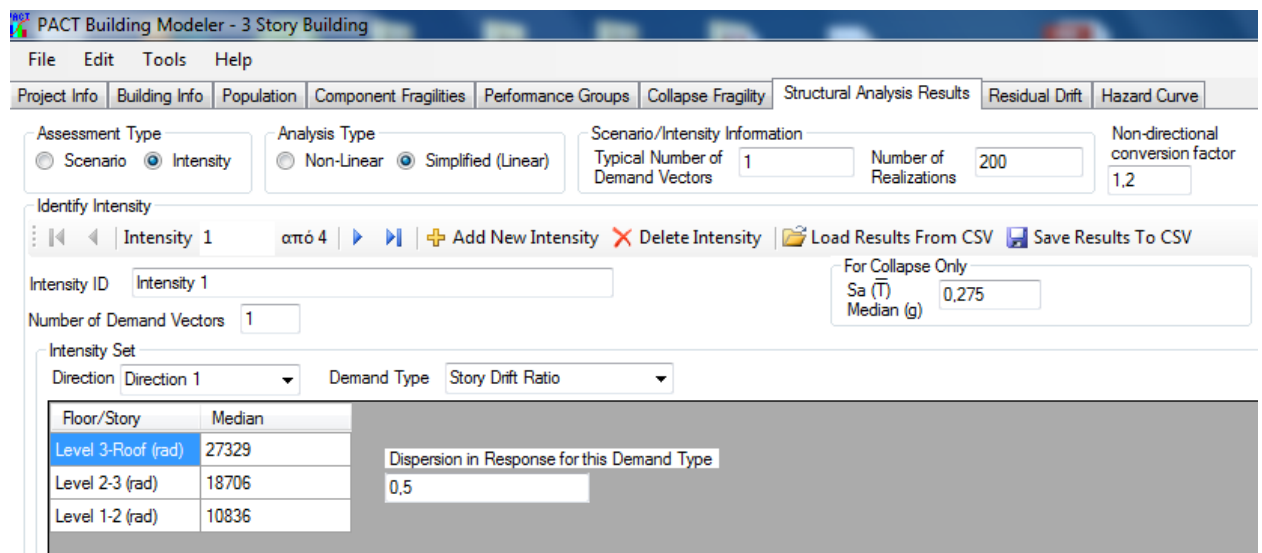


Εικόνα 4.55. Συνολικά αποτελέσματα σε ετήσια βάση

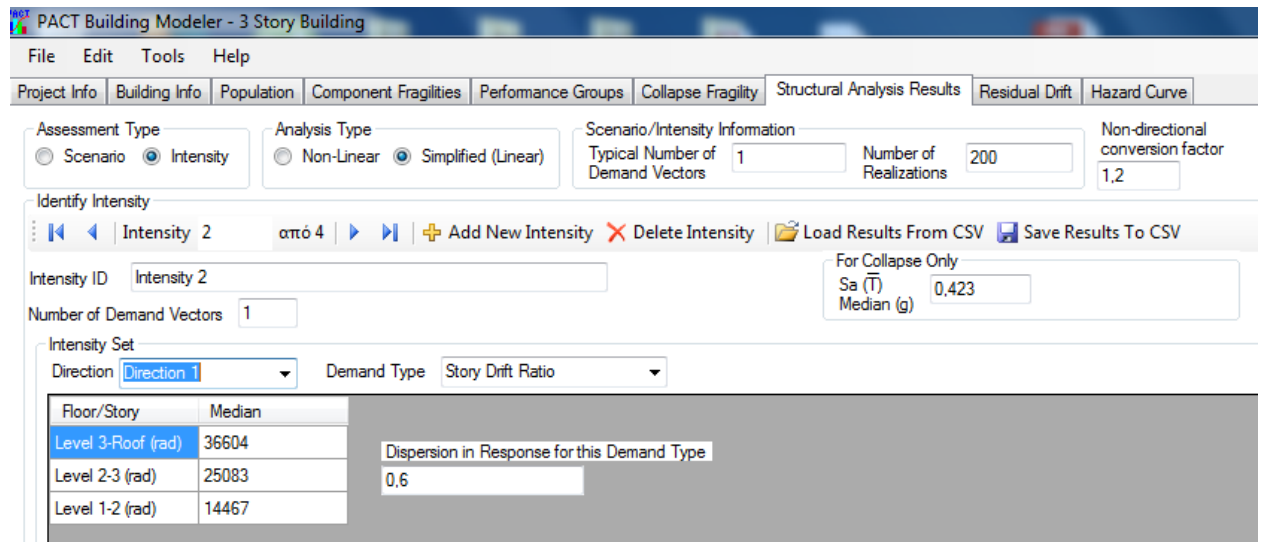
- Ένταση -Γραμμική ανάλυση (2^η εκδοχή)

Δημιουργούμε ένα αρχείο ίδιο με το προηγούμενο με τις πρώτες καρτέλες του Pact (projectinfo, buildinginfo, population, componentfragilities, performancegroupsκαιcollapsefragility) να είναι ακριβώς ίδιες, δηλαδή με ίδια όλα τα στοιχεία του κτιρίου. Η διαφοροποίηση ξεκινά από την καρτέλα της στατικής ανάλυσης, όπου σε αυτή την εκδοχή επιλέγουμε ως τύπο αξιολόγησης την ένταση και ως μέθοδο ανάλυσης τη γραμμική όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες.

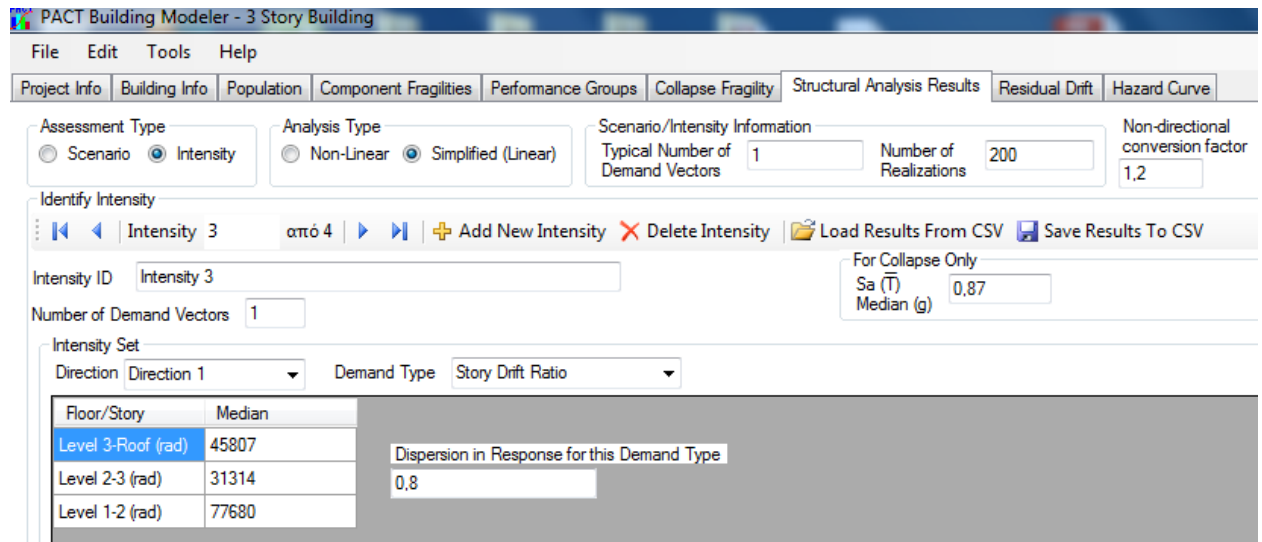
Εισάγουμε τα δεδομένα για όλες τις εντάσεις που έχουμε δημιουργήσει και σε όλες τις διευθύνσεις και με τιμές φασματικής επιτάχυνσης τις εξής : $S_a = 0,275$ για Intensity 1, $S_a = 0,423$ για Intensity 2, $S_a = 0,87$ για Intensity 3 και $S_a = 1,304$ για Intensity 4. Για την εκδοχή αυτή οι τιμές της διαμέσου στις διευθύνσεις 1 και 2 για κάθε ένταση είναι ίδιες, γι αυτό το λόγο στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται μόνο για την μία διεύθυνση.



Εικόνα 4.56. Ένταση 1 - Διεύθυνση 1 (ομοίως Διεύθυνση 2) - $S_a = 0,275g$



Εικόνα 4.21. Ένταση 2 - Διεύθυνση 1 (ομοίως Διεύθυνση 2) - $S_a = 0,423g$



Εικόνα 4.22. Ένταση 3 - Διεύθυνση 1 (ομοίως Διεύθυνση 2) - $S_a = 0,87g$

PACT Building Modeler - 3 Story Building

File Edit Tools Help

Project Info | Building Info | Population | Component Fragilities | Performance Groups | Collapse Fragility | Structural Analysis Results | Residual Drift | Hazard Curve

Assessment Type: Scenario Intensity

Analysis Type: Non-Linear Simplified (Linear)

Scenario/Intensity Information: Typical Number of Demand Vectors: 1, Number of Realizations: 200, Non-directional conversion factor: 1.2

Identify Intensity: Intensity 4 από 4

Intensity ID: Intensity 4

Number of Demand Vectors: 1

For Collapse Only: Sa (T) Median (g): 1,304

Intensity Set: Direction: Direction 1, Demand Type: Story Drift Ratio

Floor/Story	Median
Level 3-Roof (rad)	54865
Level 2-3 (rad)	37474
Level 1-2 (rad)	21550

Dispersion in Response for this Demand Type: 0,9

Εικόνα4.23. Ένταση 4 - Διεύθυνση 1 (ομοίως Διεύθυνση 2) - Sa= 1,304g

PACT Building Modeler - 3 Story Building

File Edit Tools Help

Project Info | Building Info | Population | Component Fragilities | Performance Groups | Collapse Fragility | Structural Analysis Results | Residual Drift | Hazard Curve

Use Residual Drift

Median Irreparable Residual Story Drift Ratio: 0,01 Dispersion: 0,3

Intensity 1 από 4

	Median	Dispersion
Maximum Residual Story Drift Ratio	36604	0,5

Εικόνα 4.24. Αναλογία μέγιστης μετατόπισης για Ένταση 1

	Median	Dispersion
Maximum Residual Story Drift Ratio	45807	0,6

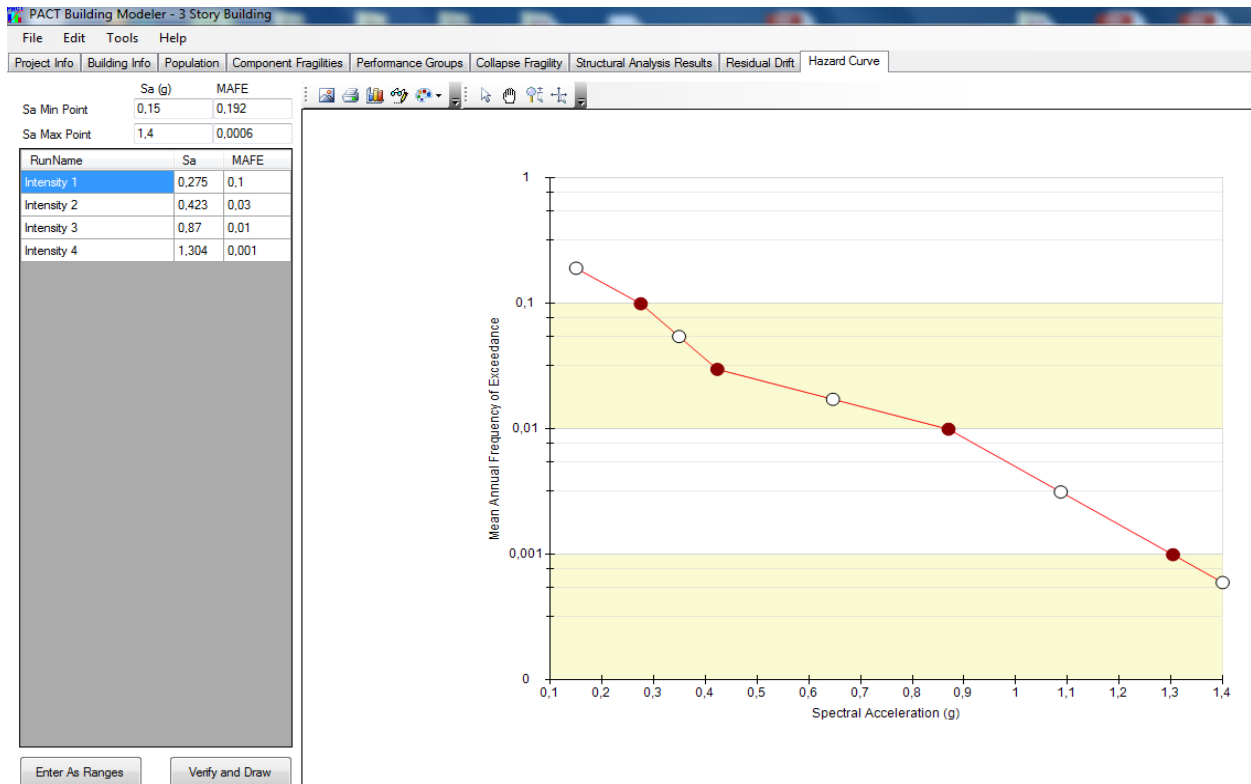
Εικόνα 4.25. Αναλογία μέγιστης μετατόπισης για Ένταση 2

	Median	Dispersion
Maximum Residual Story Drift Ratio	54865	0,8

Εικόνα 4.26. Αναλογία μέγιστης μετατόπισης για Ένταση 3

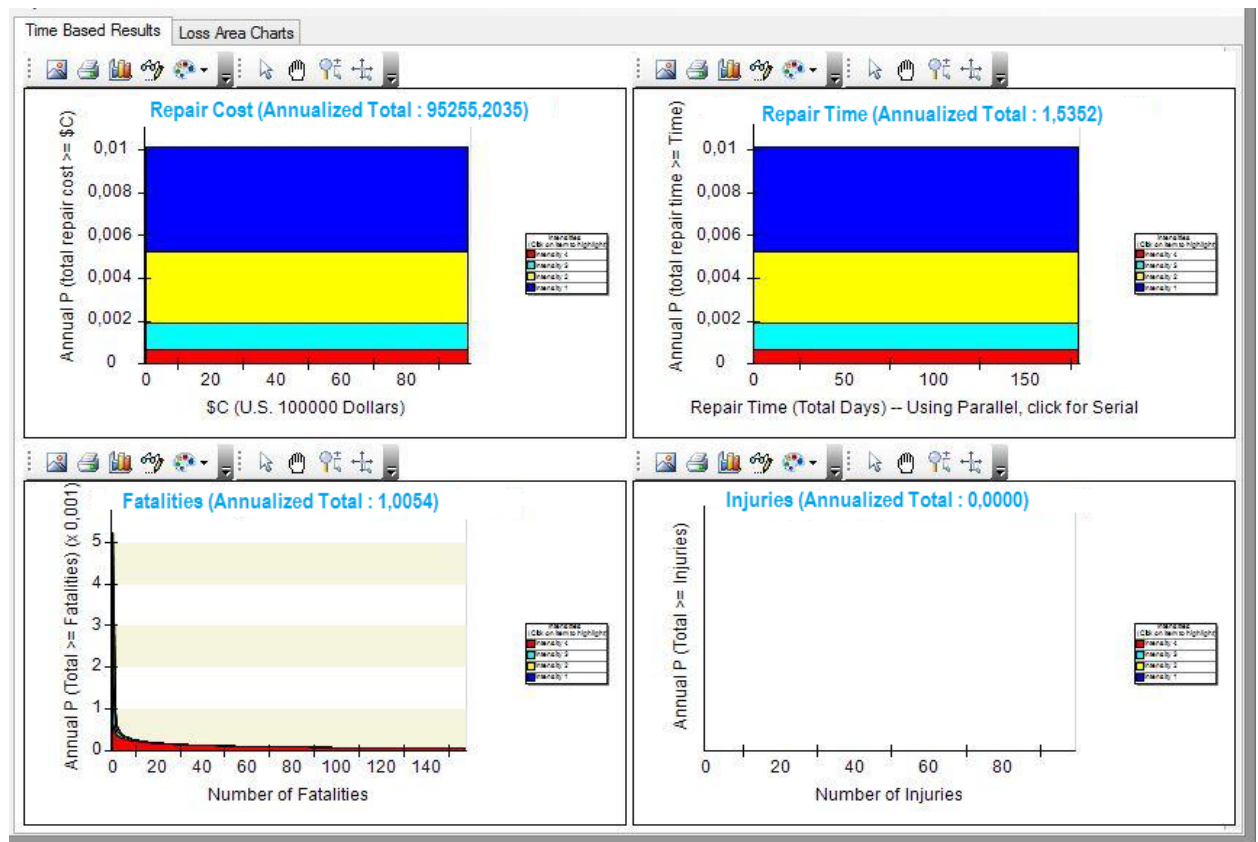
	Median	Dispersion
Maximum Residual Story Drift Ratio	63851	0,9

Εικόνα 4.27. Αναλογία μέγιστης μετατόπισης για Ένταση 4



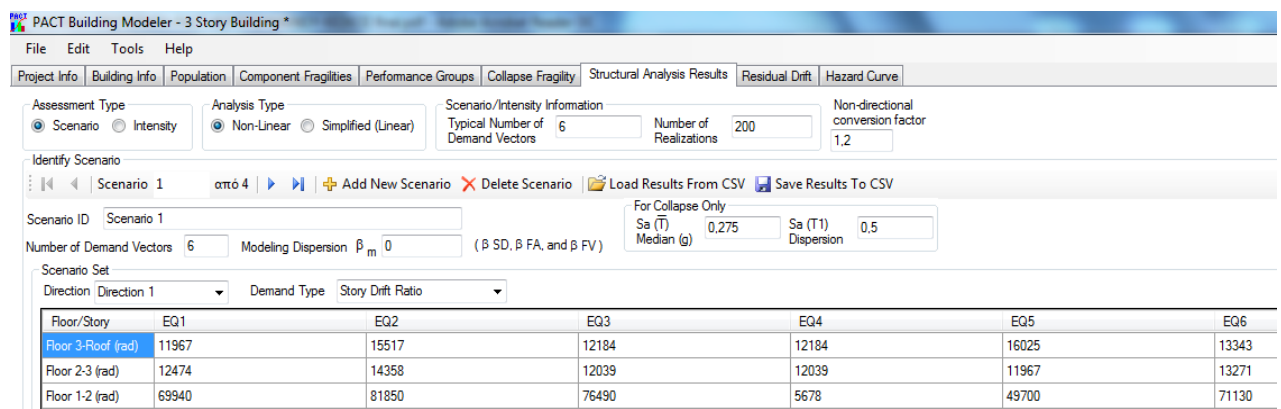
Εικόνα 4.28. Καμπύλη βλάβης

Αποτελέσματα σε ετήσια βάση Έντασης – Γραμμικής Ανάλυσης :



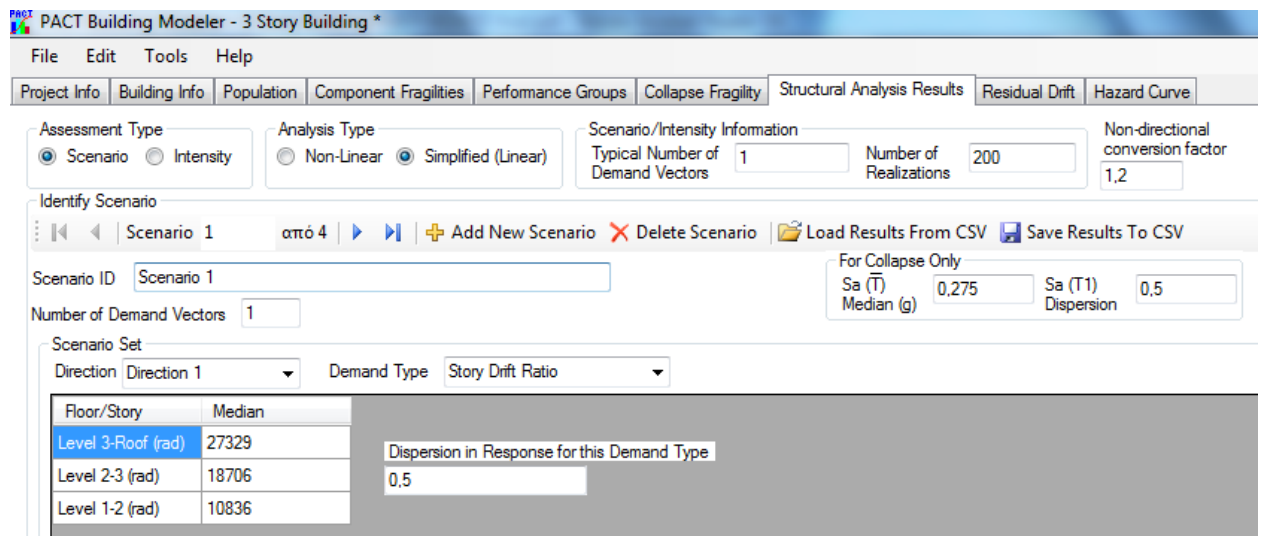
Εικόνα 4.29. Συνολικά αποτελέσματα σε ετήσια βάση

- **Σενάριο – Μη γραμμική ανάλυση (3^η εκδοχή)**



Εικόνα 4.30. Σενάριο – Μη Γραμμική Ανάλυση

- Σενάριο -Γραμμική ανάλυση (4^η εκδοχή)



Εικόνα 4.31. Σενάριο – Γραμμική Ανάλυση

Στην 3^η και 4^η εκδοχή οι τιμές που εισάγουμε είναι ίδιες με αυτές της έντασης στη μη γραμμική και στη γραμμική ανάλυση. Με την εξαγωγή των αποτελεσμάτων παρατηρούμε πως δεν υπάρχουν διαφορές για αυτές τις εκδοχές και πως το κόστος και ο χρόνος επισκευής είναι ίδιος όπως και ο αριθμός των θυμάτων και των τραυματισμών.

Κατά συνέπεια, όποια από τις τέσσερις εκδοχές επιλέξει ο χρήστης για την εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου και των απωλειών σε ένα κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα τα αποτελέσματα που θα πάρει θα είναι το ίδιο ακριβή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Συμπεράσματα

Ο σεισμός αποτελεί ένα απρόβλεπτο φυσικό φαινόμενο το οποίο μπορεί να επιφέρει τεράστιες καταστροφές σε μια περιοχή. Η αβεβαιότητα που επικρατεί για το χρόνο, τον τόπο και το μέγεθος ενός σεισμού έχει οδηγήσει τους μηχανικούς και τις υπηρεσίες πολιτικής προστασίας στην έρευνα και στη δημιουργία προγραμμάτων τα οποία να οδηγούν σε όσο πιο ακριβή αποτελέσματα για την εκτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς, την εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου και την εκτίμηση των σεισμικών απωλειών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε η προσπάθεια εκτίμησης του σεισμικού κινδύνου και των σεισμικών απωλειών σε ένα τριώροφο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα, που χρησιμοποιείται ως κτίριο κατοικιών, με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος Pact. Από την ανάλυση η οποία πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού προκύπτουν συμπεράσματα για το κόστος επισκευής του κτιρίου, το χρόνο επισκευής του, τον αριθμό των θυμάτων και τον αριθμό των τραυματισμών που μπορεί να προκαλέσει ένα σεισμικό γεγονός. Μελετώντας το κτίριο με τέσσερις διαφορετικές εκδοχές προκύπτει ένα μεγάλο κόστος επισκευής του κτιρίου το οποίο όμως δεν είναι μεγαλύτερο από το κόστος κατεδάφισης και ανακατασκευής του. Οι τραυματισμοί παρουσιάζονται μηδενικοί και ο αριθμός των θυμάτων σε ετήσια βάση παρουσιάζεται ίσος με μονάδα. Επίσης, παρατηρούμε πως είτε χρησιμοποιήσουμε την 1^η εκδοχή είτε κάποια από τις υπόλοιπες τρεις τα αποτελέσματα σε ετήσια βάση είναι ακριβώς τα ίδια για τα συγκεκριμένα στοιχεία που εισάγαμε στο πρόγραμμα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των τεσσάρων εκδοχών :

Πίνακας 5-1. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα τεσσάρων εκδοχών.

	1 ^η Εκδοχή	2 ^η Εκδοχή	3 ^η Εκδοχή	4 ^η Εκδοχή
	Intensity - Non-Linear	Intensity - Simplified	Scenario - Non-Linear	Scenario - Simplified
Repair Cost	95255,2035	95255,2035	95255,2035	95255,2035
Repair Time	1,5352	1,5352	1,5352	1,5352
Fatalities	1,0054	1,0054	1,0054	1,0054
Injuries	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η σεισμική μηχανική παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον και αποτελεί αντικείμενο μελέτης για πολλούς μηχανικούς σε πολλές χώρες. Ένα λογισμικό όπως το Pact μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο για τον τεχνικό κόσμο και για τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης μιας χώρας, εφόσον μπορεί να αξιολογήσει τις συνέπειες ενός πιθανού μελλοντικού σεισμού σε ένα κτίριο, δίνοντας αποτελέσματα για το κόστος και τον χρόνο επισκευής του, και για τις πιθανές απώλειες ανθρώπινων ζωών. Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου και των απωλειών σε ένα κτίριο κατοικιών από οπλισμένο σκυρόδεμα αναλύοντας τα δομικά του στοιχεία και έχοντας σαν βάση την μετατόπιση του. Ως αντικείμενο για μελλοντική έρευνα μπορούν να αναφερθούν οι εξής προτάσεις :

Εκτίμηση σεισμικού κινδύνου και απωλειών με τη χρήση του Pact :

- Εισάγοντας τα δομικά και όλα τα μη δομικά στοιχεία του κτιρίου. Στα αποτελέσματα το κόστος αποκατάστασης θα είναι ακόμα μεγαλύτερο και πιθανόν να υπάρχουν τραυματισμοί από πτώση αντικειμένων (για παράδειγμα μιας βιβλιοθήκης)
- Αναλύοντας τα στοιχεία του κτιρίου με βάση την επιτάχυνση
- Για ένα σύνθετο τύπο κτιρίου (για παράδειγμα κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα στο οποίο έχει γίνει προσθήκη μεταλλικής κατασκευής)

Όσο εκτενέστερη είναι η έρευνα τόσο καλύτερη η εικόνα των πιθανών βλαβών και των προβλημάτων που ενδέχεται να προκύψουν στο κτίριο και κατά συνέπεια στους πολίτες, γεγονός αρκετά σημαντικό για την οργάνωση, την ετοιμότητα και την αντιμετώπιση ενός μεγάλου σεισμικού γεγονότος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Seismic Performance Assessment of Buildings, Volume 1 – Methodology, FEMA P-58-1 / September 2012
2. Seismic Performance Assessment of Buildings, Volume 2 – Implementation Guide, FEMA P-58-2 / September 2012
3. Applied Technology Council (1996), “Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Volume 1” (ATC 40), Redwood City, California
4. FEMA (2000), Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Report No.FEMA-356, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
5. Kappos A. J. , Stylianidis K. C. και Pitilakis K. (1998) “Development of Seismic Risk Scenarios Based on a Hybrid Method of Vulnerability Assessment”, Natural Hazards 17: 177–192
6. Βασίλης και Κατερίνα Παπαζάχου (1999) «Οι σεισμοί της Ελλάδας», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
7. Παπαζάχος Β. (1997) «Εισαγωγή στη Σεισμολογία», Εκδόσεις Ζήτη, β' έκδοση, Θεσσαλονίκη
8. Παπαζάχος, 1997 , ΤΕΕ, 2002
9. ΚΑΝ.ΕΠΕ, (1η Αναθεώρηση Ιούλιος 2013), Ο.Α.Σ.Π.
10. Καρύδης Π. (1996) «Σημειώσεις Αντισεισμικής Τεχνολογίας», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα
11. Κοσμόπουλος Αντώνης (2005) «Αποτίμηση Σεισμικής Συμπεριφοράς και Ενίσχυση Μη Κανονικών Σε Κάτοψη Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πατρών, Πάτρα

Διαδικτυακές Πηγές :

1. <https://www.fema.gov>
2. <http://www.oasp.gr>
3. <http://www.earthquakenet.gr>
4. <http://www.civilprotection.gr>
5. <http://www.statistics.gr>