

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



«Ποιοτικές Μέθοδοι Εκτίμησης της Σεισμικής Τρωτότητας
των Κατασκευών. Μελέτη Περίπτωσης για μια Κρίσιμη Υποδομή»

Διπλωματική Εργασία

ΣΟΚΟΛΗ ΑΜΑΛΙΑ

cw7018

Επιβλέπων

Κέρπελης Πλούταρχος, Λέκτορας Εφαρμογών

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Αθήνα2023

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής
τριμελή επιτροπή:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΚΑΘΗΓΗΤΗ	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
------------------------	----------

ΚΕΡΠΕΛΗΣ	ΠΛΟΥΤΑΡΧΟΣ
(Επιβλέπων)	

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΡΕΠΑΠΗΣ
(Εξεταστής)

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΣ
(Εξεταστής)

Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Σοκόλη Αμαλία του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου cw7018 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



Αθήνα 2023

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	11
ABSTRACT	13
ΣΚΟΠΟΣ	15
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	16
Κεφάλαιο 1- Ορισμοί.....	16
1.1. Τρωτότητα (Seismic Vulnerability)	16
1.2. Δομική Τρωτότητα –Μη Δομική Τρωτότητα.....	17
1.3. Λειτουργική Τρωτότητα	17
1.4. Σεισμός και Κατασκευές.....	18
1.4.1. Σεισμός.....	18
1.4.2. Σεισμός και Ελλαδικός Χώρος.....	18
1.4.3. Διάκριση Σεισμών.....	19
1.4.4. Όργανα Καταγραφής Σεισμών	21
1.4.5. Επιπτώσεις Σεισμού στις Κατασκευές (Παράγοντες επιρροής).....	22
1.4.6. Κινήσεις Κατασκευών λόγω Σεισμού	24
1.5. Σεισμική Διακινδύνευση (Seismic Risk).....	25
1.6. Σεισμική Επικινδυνότητα (Seismic Hazard).....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	28
Κεφάλαιο 2- Κρίσιμες Υποδομές και Γραμμές Ζωής (Lifelines)	28
2.1. Ορισμός Γραμμών ζωής (Lifelines)	29
2.1.1. Βασικά χαρακτηριστικά Γραμμών Ζωής.....	29
2.1.2. Επιπτώσεις σεισμικής αστοχίας Κρίσιμων Υποδομών και Γραμμών Ζωής.....	30
2.2. Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων	30
2.2.1 Ορισμός Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων.....	31
2.2.2 Τύποι Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων.....	32
2.3. Κατηγορίες Λυμάτων.....	33
2.4. Κατασκευές που αποτελούν τις ΕΕΛ	34
2.4.1. Αντλιοστάσια.....	34
2.4.2. Αγωγοί Λυμάτων	36
2.4.3 Κανάλια Λυμάτων	36
2.4.4. Σήραγγες Λυμάτων.....	37

2.4.5. Δεξαμενές νερού και λυμάτων	38
2.5. Αποχετευτικά Δίκτυα και Αγωγοί, εντός της πόλης	39
2.5.1. Δίκτυα Αποχετευτικού συστήματος	40
2.6. Δίκτυο Ύδρευσης	40
2.7. Εξειδικευμένοι Κανονισμοί Βιολογικού Καθαρισμού	41
2.7.1 ΟΔΗΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ 91/271/ΕΟΚ	41
2.7.2. ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ...	42
2.8. Σεισμική Τρωτότητα Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων.....	43
2.8.1. Αστοχίες Δεξαμενών.....	45
2.8.2. Σεισμική Τρωτότητα Αποχετευτικών Αγωγών	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	50
Κεφάλαιο 3 - Μέθοδοι εκτίμησης σεισμικής τρωτότητας.....	50
3.1. Καμπύλες Τρωτότητας	50
3.1.1. Ορισμός	50
3.2. Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Τρωτότητας.....	53
3.2.1. Εμπειρικές Προσεγγίσεις	53
3.2.2. Αναλυτικές Προσεγγίσεις.....	54
3.2.3. Προσεγγίσεις Κρίσης Ειδικών.....	55
3.2.4. Υβριδικές Προσεγγίσεις	55
3.3. ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.....	56
3.3.1. Ερευνητικές Μέθοδοι για την Εκτίμηση σεισμικών Απωλειών	56
3.3.2. Εκτιμήσεις σεισμικών απωλειών σε ομάδες κτιρίων με παρόμοια χαρακτηριστικά.....	57
3.3.3. Εκτιμήσεις σεισμικών απωλειών χωρικά.....	59
3.3.4. Οι Περιορισμοί κατά την Εκτίμηση Σεισμικών Απωλειών	61
3.4. Λογισμικά Σεισμικής Τρωτότητας (Εκτίμησης Απωλειών).....	63
3.4.1. Μεθοδολογία HAZUS	64
3.4.2. HAZUS-MH.....	67
3.4.3. Open Quake.....	72
3.4.4. ELER (Earthquake Loss Estimation Routine).....	74
3.4.5. SELENA (Seismic Loss Estimation using a Logic Tree Approach)	77
3.4.6. CAPRA (Comprehensive Approach to Probabilistic Risk Assessment)	79
3.5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΕΣΤΙΑΣΗ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ	81
3.5.1. Μεθοδολογία FEMA P-58 (Seismic Performance Assessment of Buildings)	81
3.5.2. Πρόγραμμα PACT (Performance Assessment Calculation Tool)	86

3.6. Πρόγραμμα SAP (SAP2000 v23)	90
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- Εφαρμογή Λογισμικών Σεισμικής Τρωτότητας σε ΕΕΛ	94
4.1. Μελέτη Περίπτωσης.....	94
4.2. Δεξαμενές Καθίζησης.....	97
4.3. Υπολογισμός Σεισμικής Τρωτότητας της ΕΕΛ Ηγουμενίτσας.....	99
4.3.1. Υπολογισμός καμπυλών τρωτότητας μέσω του προγράμματος SAP	99
4.3.2. Καμπύλες τρωτότητας ΕΕΛ Ηγουμενίτσας, μέσω του HAZUS	115
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	128
Κεφάλαιο 5 - Συμπεράσματα	128
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	130

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Απεικόνιση σχέσης <<Σεισμική Διέγερση και Βλάβη>>.....	15
Εικόνα 2 :Παράγοντες που επηρεάζουν τη σεισμική διακινδύνευση σε μια θέση.....	25
Πίνακας 3: Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας Ελλάδος.....	27
Πίνακας 4: Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων	31
Πίνακας 5: Σχηματικό διάγραμμα γενικής μεθοδολογίας διαχείρισης σεισμικών κινδύνων Δ.Κ.Ο σε αστικά συγκροτήματα.....	43
Πίνακας 6:Σχηματικό Διάγραμμα ροής της Μεθοδολογίας SRMLIFE (2003-2007).....	44
Πίνακας 7: Αρκάνσας 2009-Κατάρρευση δεξαμενής, (Κονδυλογιάννη Μ., 2021).....	45
Πίνακας 8: Πουέρτο Ρίκο- Αστοχία δεξαμενής με θολωτή οροφή λόγω εσωτερικής εκκένωσης, (Κονδυλογιάννη Μ., 2021)	46
Πίνακας 9: Τυφώνας 2002-Λυγισμός δεξαμενής στο νησί Γκουάμ, (Κονδυλογιάννη Μ., 2021)	46
Πίνακας 10: Τυφώνας Hugo 1989-Αστοχία δεξαμενών ανοιχτής οροφής Σάντα Κρουζ, (Κονδυλογιάννη Μ., 2021)	46
Πίνακας 11: Οι Μορφές αστοχίας των δεξαμενών κατά την διάδοση σεισμικών κυμάτων.....	47
Πίνακας 12: Παράδειγμα καμπύλων Τρωτότητας κτιρίων Ο/Σ	50
Πίνακας 13: Σχηματική απεικόνιση καμπύλων τρωτότητας για διάφορα επίπεδα Βλάβης, (Κ.Pitilakis et.al,2018).....	50
Πίνακας 14: Τυπολογίες κτιρίων βάση της μεθοδολογίας HAZUS.....	64
Πίνακας 15: Διάφορες κατηγορίες χρήσεων βάση της μεθοδολογίας HAZUS.....	65
Πίνακας 16: Επίπεδα Χρήστη, (HAZUS-ΜΗ, 2014).....	67
Πίνακας 17: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας εκτίμησης σεισμικών απωλειών	68
Πίνακας 18: 33 Συγκεκριμένοι Τύποι Πληρότητας, (HAZUS-ΜΗ, 2014).	69
Πίνακας 19: Απεικόνιση διαγράμματος ροής σχεδιασμού εκτίμησης σεισμικού κινδύνου, των υφιστάμενων υποδομών (ανάλυσης κόστους - οφέλους),(Silva et al, 2014).	72
Πίνακας 20: Προβολή των τριών (3) επιπέδων ανάλυσης του ELER, (ELER v3.0, 2010).	74
Πίνακας 21: Προβολή διαγράμματος ροής του SELENA, (SELENA, 2010).....	77
Πίνακας 22: Προβολή Μοντέλου πιθανοτικής ανάλυσης και εφαρμογής διαχείρισης κινδύνου, (Cardona et al, 2012).	79

Πίνακας 23: Προβολή διαγράμματος ροής της μεθοδολογίας FEMA P-58, (FEMA, 2018)	81
Πίνακας 24: Προβολή πίνακα δομικών στοιχείων κατά μεθοδολογία FEMA P-58, (FEMA,2018) ...	83
Πίνακας 25: Προβολή κτιριακών χρήσεων κατά μεθοδολογία FEMA P-58, (FEMA,2018)	84
Πίνακας 26: Πίνακας ελέγχου του λογισμικού PACT, (PACT user manual,)	86
Πίνακας 27: Προβολή διαδικασίας αποτίμησης των κτιρίων με το πρόγραμμα PACT, (FEMA, 2018)	87
Πίνακας 28: Προβολή Εισαγωγής Νέου Μοντέλου στο πρόγραμμα SAP, (SAP2000,2010).	91
Πίνακας 29: Τοποθεσία ΕΕΛ Ηγουμενίτσας	94
Πίνακας 30: Αναλυτικό σχέδιο κυκλικής δεξαμενής , (Τεχνολογία Επεξεργασίας Αποβλήτων, 2022)	97
Πίνακας 31: α) Πρότυπη Τομή Δεξαμενής Καθίζησης	98
Πίνακας 32: Πρότυπη κάτοψη δεξαμενής.....	98
Πίνακας 33: Εισαγωγή του Νέου Μοντέλου	99
Πίνακας 34: Εισαγωγή Δεδομένων στο Μοντέλο	100
Πίνακας 35: Πρότυπα Προσομοιωμάτων Δεξαμενών Α και Β	100
Πίνακας 36: Καθορισμός Χαρακτηριστικών του Σκυροδέματος C30/37	101
Πίνακας 37: Καθορισμός Area Sections Δεξαμενής.....	102
Πίνακας 38: Καθορισμός Χαρακτηριστικών Δεξαμενής (πάχη και διαστάσεις)	102
Πίνακας 39: Καθορισμός Στηρίξεων	103
Πίνακας 40: Καθορισμός Load Patterns των Κατακόρυφων Φορτίων	103
Πίνακας 41: Καθορισμός Assign joint Pattern Data με την ονομασία PRESS	104
Πίνακας 42: Νέο Μοτίβο Φόρτισης με το όνομα PRESHID	105
Πίνακας 43: Πρότυπο Προσομοίωμα Δεξαμενής με Φορτίσεις.....	106
Πίνακας 44: Ορισμός Δεδομένων	107
Πίνακας 45: Καθορισμός Συνδυασμού Φόρτισης για την Γραμμική Στατική Ανάλυση υπό την Δράση Κατακόρυφων Φορτίων.....	107
Πίνακας 46: Καθορισμός Συνδυασμού Φόρτισης για την Γραμμική Στατική Ανάλυση υπό την Δράση Κατακόρυφων Φορτίων.....	108
Πίνακας 47: Καθορισμός Συνάρτησης Χρονοϊστορίας	109
Πίνακας 48: Αρχείο Επιταχυνσιογραφήματος σε Δύο Στήλες.....	109
Πίνακας 49: Επιλογή τύπου Συνάρτησης που θέλουμε να προσθέσουμε στο αρχείο	110
Πίνακας 50: Εισαγωγή του Επιταχυνσιογραφήματος έχοντας δύο στήλες Δεδομένων του χρόνου και των επιταχύνσεων.....	111
Πίνακας 51: Δημιουργία των Define Load Cases για Time History	111
Πίνακας 52: Καθορισμός Load Case που Περιέχει την Δύναμη λόγω Σεισμικής Διέγερσης.....	112
Πίνακας 53: Επιλογή Ανάλυσης του Φορέα- Καθορισμός των Βαθμών Ελευθερίας/Κόμβου	112
Πίνακας 54: Εκκίνηση Διαδικασίας για την Ανάλυση του φορέα.....	112
Πίνακας 55: Παραμόρφωση Σχήματος για την εύρεση της μετατόπισης του προσομοιώματος ..	113
Πίνακας 56: Πίνακας Αλγόριθμων Ζημιών για Μικρές Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων ...	115
Πίνακας 57: Καμπύλες Ευθραυστότητας με Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μικρές Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.	115
Πίνακας 58: Καμπύλες Ευθραυστότητας με μη Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μικρές Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.	115
Πίνακας 59: Πίνακας Αλγόριθμων Ζημιών για Μεσαίες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων .	116

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την Διπλωματική αυτή εργασία νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν στην εξέλιξη και την ολοκλήρωσή της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Κέρπελη Πλούταρχο, Λέκτορα Εφαρμογών στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, για την άψογη καθοδήγηση, την συνεργασία και την υποστήριξη που μου προσέφερε για την υλοποίησή της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους κ.κ. Κωνσταντίνο Ρεπαπή, Αναπληρωτή Καθηγητή και Νικόλαο Πνευματικό, Καθηγητή για την πολύτιμη βοήθεια τους που μοιράστηκαν μαζί μας τις γνώσεις και τις εμπειρίες τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για όλη την στήριξη που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας αλλά και σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, όλους όσους ήταν δίπλα μου το διάστημα αυτό και μου έδωσαν τεράστια δύναμη να συνεχίσω και να καταφέρω να ολοκληρώσω τη διπλωματική αυτή εργασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα συχνό φυσικό φαινόμενο, ιδιαίτερα στην χώρα μας, είναι ο σεισμός, οι επιπτώσεις του οποίου επηρεάζουν σε έναν μεγάλο βαθμό την υγεία των πολιτών και τη λειτουργία των δικτύων.

Ένα βασικό μέρος της εκτίμησης σεισμικού κινδύνου αποτελεί η σεισμική τρωτότητα, η οποία συχνά αντιπροσωπεύεται από μια καμπύλη τρωτότητας που εκφράζει την πιθανότητα υπέρβασης του επιπέδου ζημιάς ως συνάρτηση του σεισμικού κινδύνου. Τα τελευταία χρόνια υπήρξε σημαντικό ενδιαφέρον για την κατανόηση της συμπεριφοράς των κατασκευών κατά την διέγερση σεισμών σε παγκόσμια κλίμακα. Τα σεισμικά γεγονότα επηρεάζουν αρχικά το έδαφος, μετά τα κτίρια και στην συνέχεια τους ανθρώπους. Ένα από τα θεμελιώδη ερευνητικά αντικείμενα στον τομέα των μηχανικών, είναι η διερεύνηση της σεισμικής συμπεριφοράς και η πρόβλεψη των επιπτώσεων της στους ανθρώπους, το περιβάλλον και τις κατασκευές. Κατά αυτόν τον τρόπο οι μηχανικοί στην προσπάθεια τους αυτή κατάφεραν να αναπτύξουν μοντέλα προσομοίωσης για πιθανολογικά καθορισμένα αποτελέσματα.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται σχετικά με το θέμα της σεισμικής τρωτότητας των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ). Τονίζεται η ιδιαιτερότητα των κρίσιμων υποδομών και γραμμών ζωής και η σημαντικότητα πιθανών επιπτώσεων σε αυτές. Αναφέρονται οι διάφορες κατασκευές που αποτελούν τις εγκαταστάσεις αυτές. Αναλύεται η σημασία της τρωτότητας και των καμπύλων τρωτότητας. Γίνεται μια προσπάθεια υπολογισμού της καμπύλης τρωτότητας μιας ΕΕΛ πχ της Ηγουμενίτσας με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων SAP και με τις καμπύλες τρωτότητας κατά HAZUS. Τα αποτελέσματα κατά SAP δεν απέδωσαν τα αναμενόμενα και για αυτό έγινε προσπάθεια αντιστοίχισης της ΕΕΛ Ηγουμενίτσας με υπάρχουσες καμπύλες κατά HAZUS είτε με καμπύλες που δημιουργήθηκαν (σύμφωνα με το Πρόγραμμα αυτό) για 10 σημαντικούς σεισμούς. Υπήρξε ταύτιση των

αποτελεσμάτων μεταξύ υπάρχουσών καμπυλών και υπολογισθέντων καμπυλών τρωτότητας κατά HAZUS. Τελικά επιλέχθηκε η καμπύλη τρωτότητας σε μια μεσαία ΕΕΛ (Panico et al, 2013) ,η οποία είναι μη αγκυρωμένη, ως περισσότερο παρεμφερής με τις καμπύλες HAZUS. Επειδή υπάρχουν πολλές αβεβαιότητες, δημιουργήθηκαν καμπύλες +10% είτε -10% επί των υπολογισθέντων καμπυλών.

Το αποτέλεσμα εύρεσης των καμπυλών τρωτότητας είναι πάρα πολύ σημαντικό για τους μηχανικούς αλλά και για την πολιτική προστασία, η οποία καλείται να διαχειριστεί και να αντιμετωπίσει τις συνέπειες ενός σεισμικού γεγονότος.

Η δομή της παρούσας εργασίας αποτελείται από τα ακόλουθα κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η εννοιολογική αποσαφήνιση των βασικότερων ορισμών για το αντικείμενο της μελέτης, όπως η τρωτότητα (Δομική, μη Δομική και Λειτουργική), ο όρος της σεισμικής διακινδύνευσης, ο όρος της σεισμικής επικινδυνότητας, καθώς επίσης το φαινόμενο του σεισμού και οι χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας της ελληνικής επικράτειας.

Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο δεύτερο γίνεται εκτεταμένη αναφορά στις Γραμμές Ζωής και στις Κρίσιμες Υποδομές ,στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων ,καθώς και στα ιδιαίτερα αναγνωριστικά χαρακτηριστικά τους. Γίνεται η καταγραφή της συμπεριφοράς τους αλλά και των επιπτώσεων τους, αφού εκτίθενται σε ακραίες καταστάσεις, όπου είναι τα φυσικά φαινόμενα και ιδιαίτερα ο σεισμός. Επίσης γίνεται αναφορά στους εξειδικευμένους κανονισμούς βιολογικού καθαρισμού.

Στο κεφάλαιο τρίτο αναλύονται οι μέθοδοι εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας και οι μέθοδοι εκτίμησης των απωλειών των κατασκευών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η δεξαμενή καθίζησης ως η σημαντικότερη κατασκευή εντός των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων ως πρότυπο για την προσομοίωση του μοντέλου στο υπολογιστικό πρόγραμμα SAP. Ενδεικτικά,

χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την ΕΕΛ Ηγουμενίτσας. Στην συνέχεια λήφθηκαν τα αποτελέσματα για την δημιουργία των καμπύλων τρωτότητας.

Επειδή τα αποτελέσματα κατά SAP δεν απέδωσαν τα αναμενόμενα έγινε προσπάθεια εύρεσης της καμπύλης τρωτότητας ΕΕΛ Ηγουμενίτσας με την αντιστοίχιση με κάποια καμπύλη κατά HAZUS. Λήφθηκε δε η ανοχή +10% είτε -10% λόγω των αβεβαιοτήτων Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας παρατέθηκαν οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα από την παρούσα Διπλωματική εργασία.

Λέξεις κλειδιά: Τρωτότητα, Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων, Δεξαμενή καθίζησης, Αναλυτική μέθοδος, πρόγραμμα SAP, HAZUS

ABSTRACT

A frequent natural phenomenon, especially in Greece, is the earthquake which affects to a large extent the health assurance of citizens and the operation of networks.

A key part of seismic risk assessment is seismic vulnerability, which is often represented by a vulnerability curve expressing the probability of exceeding the damage level as a function of seismic risk. In recent years, there has been considerable interest in understanding the behaviour of structures during, earthquake expose on a global scale. Seismic events affect first the ground, then buildings and then people. One of the fundamental research topics in engineering is the investigation of seismic behaviour and the prediction of its effects on people, the environment and structures. In this way, engineers' efforts are focused on the development of simulation models for probabilistically determined outcomes.

The subject of this thesis is the investigation of the methods used on the issue of seismic vulnerability of Wastewater Treatment Plants (WWTPs). The specificity of critical infrastructure and lifelines and the importance of potential impacts on them are highlighted. The various structures that make up these facilities are mentioned.

The importance of vulnerability and vulnerability curves is analysed. A calculation done about the vulnerability curves of a WWTP e.g. Igoumenitsa using the finite element computer program SAP and HAZUS vulnerability curves. The SAP results did not yield the expected results and therefore an attempt was made to match the Igoumenitsa's WWTP, using existing HAZUS curves or with curves generated (according to this program) for 10 major earthquakes. Matching between published curves and calculated HAZUS vulnerability curves existed. In the end, the vulnerability curve in a medium WWTP (Panico et al, 2013), which is unanchored, was selected as more similar to the HAZUS curves. Because of many uncertainties, +10% or -10% curves were generated on the calculated curves.

The result of finding the vulnerability curves is very important for engineers and also for civil protection, which has to manage and cope with the consequences of an earthquake event.

The structure of this paper consists of the following chapters:

In the first chapter, the main definitions related to the subject of the study are conceptually clarified, such as seismic risk, seismic hazard, vulnerability (Structural, Non-Structural and Functional), as well as the seismic phenomenon and the seismic hazard maps of the Greek territory.

Then, in chapter two, extensive reference is announced about the Lifelines and the Critical Infrastructure, the Wastewater Treatment Plants, as well as their specific identifying characteristics. Their behavior and their effects are recorded, as they are exposed to extreme situations, and natural phenomena (such as earthquakes). Referencing is also performed for the specific regulations of biological treatment.

Chapter three discusses the methods of seismic vulnerability assessment and the methods of estimating the losses of structures.

In chapter four, a brief reference is made to the sedimentation tank that will be used as a model for the simulation of the model in the SAP computer program. Then, the obtained results are used so as to generate the vulnerability curves.

Indicatively, data from WWTP of Igoumenitsa was used. Because the results according to SAP did not yield as expected, an attempt was made to find the vulnerability curve of WWTP of Igoumenitsa by matching it with some vulnerability curve according to HAZUS. A tolerance of +10% or -10% was taken due to the uncertainties.

In the fifth and last chapter of the thesis, the observations and conclusions from this Diploma thesis are presented.

Keywords: Vulnerability, Wastewater Treatment Plant, Sedimentation tank, Analytical method, SAP program, HAZUS

ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνηθούν οι διαθέσιμες υπολογιστικές μέθοδοι για την εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας των Εγκαταστάσεων επεξεργασίας Λυμάτων. Η εκτίμηση πραγματοποιήθηκε με την αναλυτική μέθοδο σύμφωνα το πρόγραμμα SAP αλλά και με παραμετρική μέθοδο σύμφωνα με το πρόγραμμα HAZUS, στην δεξαμενή καθίζησης της ΕΕΛ Ηγουμενίτσας (ενδεικτικά), και με απώτερο σκοπό την διασφάλιση της υγείας των πολιτών και του περιβάλλοντος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

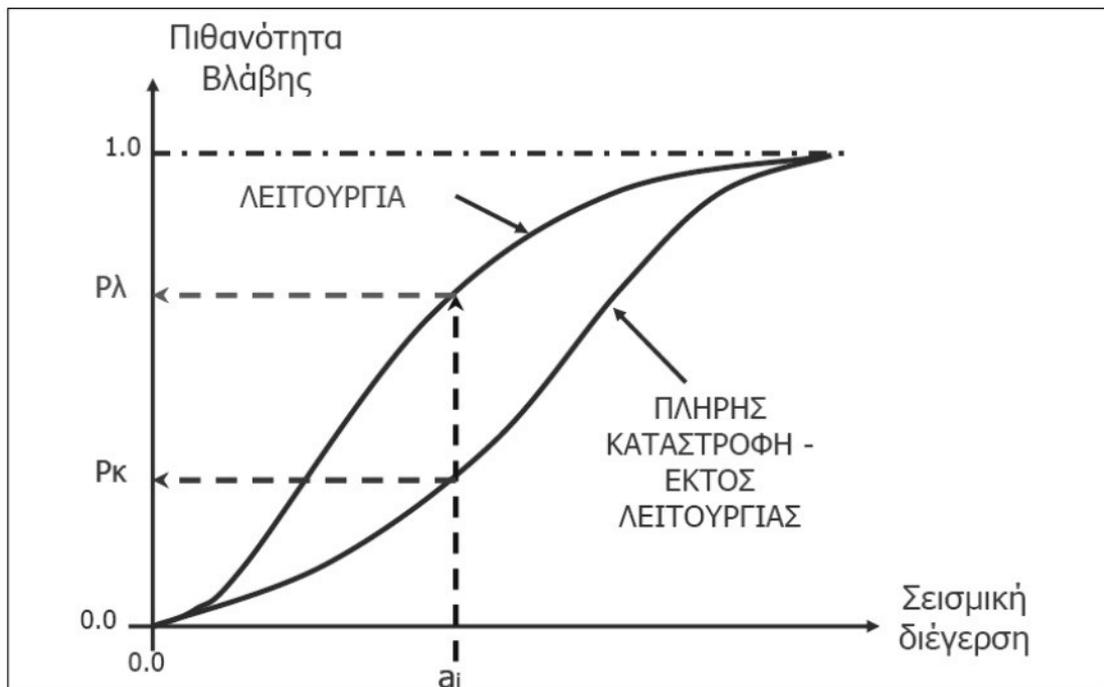
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Κεφάλαιο 1- Ορισμοί

1.1. Τρωτότητα (Seismic Vulnerability)

Τρωτότητα ορίζεται ως η προδιάθεση μιας κατασκευής να υποστεί βλάβες υπό την σεισμική φόρτιση, η οποία ενισχύεται από φυσικά, κοινωνικά, οικονομικά, τεχνικά και περιβαλλοντικά αίτια, εντείνοντας την ευπάθεια του ατόμου, των κοινωνικών ομάδων και των υποδομών σε κατάσταση κινδύνου ή καταστροφής.

Στην παρακάτω εικόνα 1.1 απεικονίζεται η σχέση της Σεισμικής Διέγερσης και η Πιθανότητα της Βλάβης (Φωτοπούλου,2007).



Εικόνα 1: Απεικόνιση σχέσης <<Σεισμική Διέγερση και Βλάβη>>

1.2. Δομική Τρωτότητα –Μη Δομική Τρωτότητα

Η τρωτότητα κατηγοριοποιείται σε Δομική Τρωτότητα και σε Μη Δομική Τρωτότητα. Αφενός η δομική τρωτότητα αφορά τον κίνδυνο κατάρρευσης των δομικών στοιχείων ενός κτηρίου (π.χ. τα υποστυλώματα, τις δοκούς, τις πλάκες, τα τοιχεία και τη θεμελίωση) και αφετέρου η μη δομική τρωτότητα αναφέρεται στις βλάβες που θα προκύψουν στα μη δομικά στοιχεία του κτηρίου. Τα μη δομικά στοιχεία είναι χωρισμένα σε τρεις κατηγορίες: στα αρχιτεκτονικά στοιχεία (όπως οι πόρτες, τα παράθυρα, οι ψευδοροφές, τα επιχρίσματα), στο περιεχόμενο του κτηρίου (όπου συγκαταλέγονται οι συσκευές καθημερινής χρήσης, ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός καθώς και όλα τα έπιπλα του κτηρίου) και στις εγκαταστάσεις του κτηρίου (ηλεκτρομηχανολογικές, υδραυλικές, θέρμανσης,...). Η μη δομική τρωτότητα αναφέρεται σε όλα τα στοιχεία του κτηρίου εκτός από τον φέροντα οργανισμό του. Εάν αναφερόμαστε σε τρωτότητα λόγω σεισμικών δονήσεων δηλ σε σεισμική τρωτότητα, τότε αυτή εγκυμονεί σημαντικούς κινδύνους όπως τη διακοπή της λειτουργίας του κτηρίου προκαλώντας αξιοσημείωτες ζημιές επιφέροντας τόσο οικονομική επιβάρυνση όσο και πιθανότητα απώλειας ανθρώπινων ζωών. (Ο.Α.Σ.Π.,2012)

1.3. Λειτουργική Τρωτότητα

Όταν οι βλάβες που μπορεί να προκληθούν σε μια κατασκευή επηρεάζουν την λειτουργία μιας εγκατάστασης (ανεξάρτητα από τη δομική είτε τη μη δομική τρωτότητα της), τότε αναφερόμαστε στη λειτουργική τρωτότητα. Τέτοιου είδους τρωτότητα συναντάται σε εγκαταστάσεις κτιρίων κοινής ωφέλειας (ύδρευσης, αποχέτευσης, σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις κα). Η μη ικανοποίηση των συνθηκών και προδιαγραφών που απαιτούνται με βάση τους Κανονισμούς σε μια κρίσιμη εγκατάσταση σε μια πόλη λόγω πχ ισχυρού συμβάντος, μπορεί να καταταγεί στη

λειτουργική τρωτότητα αυτής. Για παράδειγμα, οι επιπτώσεις σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, η οποία δεν έχει πάθει δομικές είτε μη βλάβες μπορεί να είναι η δυσλειτουργία των οργάνων μέτρησης με συνέπεια να υπάρξει ευτροφισμός στον αποδέκτη αποδοχής των λυμάτων.

1.4. Σεισμός και Κατασκευές

1.4.1. Σεισμός

Οι εδαφικές δονήσεις που γεννιούνται κατά τις διαταράξεις της μηχανικής ισορροπίας των γήινων πετρωμάτων, που βρίσκονται στο εσωτερικό της Γης από φυσικά αίτια, ορίζονται ως Σεισμοί.

Η μηχανική ενέργεια μεταδίδεται στη Γη υπό την μορφή σεισμικών κυμάτων και εκδηλώνεται με την μορφή δονήσεων στο έδαφος, όπου παρουσιάζεται από τις διαταράξεις στην ισορροπία των πετρωμάτων. Αντιληπτοί γίνονται οι σεισμοί από τον άνθρωπο, ο οποίος καλείται να είναι σε εγρήγορση να τους αντιμετωπίσει, καθώς δεν έχει την δυνατότητα να τους αποτρέψει ως φυσικά φαινόμενα.

Οι σεισμοί διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- εγκατακριμνησιγενείς
- ηφαιστιογενείς και
- τεκτονικοί

1.4.2. Σεισμός και Ελλαδικός Χώρος

Η Ελληνική περιοχή βρίσκεται στα σύνορα όπου η Ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα συναντά την Αφρικανική λιθοσφαιρική πλάκα, γι' αυτό παρουσιάζεται υψηλή και συχνή σεισμική δραστηριότητα. Η Ελλάδα, σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία, κατέχει

την πρώτη θέση στην Ευρώπη και την Μεσόγειο Θάλασσα ως προς τη σεισμική δραστηριότητα (συχνότητα σεισμικών εξάρσεων και μέγεθός αυτών) και την έκτη στον κόσμο, μετά την Χιλή ,τις Νέες Εβρίδες, τα νησιά του Σολομώντα, το Περού και την Ιαπωνία. Επίσης, στην Ελλάδα καταναλώνεται, το 50% της σεισμικής ενέργειας της Ευρώπης, σύμφωνα με σεισμολόγους ερευνητές.

Το Ελληνικό τόξο (ή τόξο του Αιγαίου) είναι το κυριότερο τεκτονικό χαρακτηριστικό του Ελληνικού χώρου και ορίζεται ως το σημείο επαφής μεταξύ της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας (η οποία εισχωρεί στην Ανατολική Μεσόγειο) και της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας (μέρος της οποίας είναι η ηπειρωτική Ελλάδα και το Αιγαίο).

1.4.3. Διάκριση Σεισμών

Όταν πραγματοποιείται μια διάρρηξη πετρώματος γίνεται σε πολλές φάσεις, έχοντας ως συνέπεια να προκαλέσει μεμονωμένους είτε μια ομάδα σεισμών στην περιοχή. Οι σεισμοί παρουσιάζονται με την μορφή μιας ακολουθίας γεγονότων, όπου ο κύριος σεισμός είναι ο μεγαλύτερος από αυτούς, οι προηγούμενοι του ονομάζονται προσεισμοί και μετασεισμοί ονομάζονται αυτοί που ακολουθούν μετά τον κύριο σεισμό. (Πνευματικός, 2018)

α) Διάκριση ως προς το βάθος

Οι σεισμοί διακρίνονται ανάλογα με το βάθος (h) της εστίας διάρρηξης των πετρωμάτων ως προς την επιφάνεια του εδάφους, (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2023) :

Επιφανειακοί σεισμοί , όταν $h < 60$ km

Ενδιάμεσου βάθους , όταν $60 < h < 300$ km

Σεισμοί βάθους (μη αισθητή στην επιφάνεια της γης), όταν 300 km < h

β) Διάκριση ως προς τα αίτια

Οι σεισμοί, ανάλογα με τα αίτια που τους προκαλούν, διακρίνονται στα εξής είδη (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2023 ; Πνευματικός, 2018):

- Εγκατακρημνισιγενείς Σεισμοί

Οι σεισμοί αυτοί τις περισσότερες φορές παράγονται από την κατάρρευση της οροφής κενών σπηλαίων, όπου καταρρέει ολόκληρη (ή μέρος αυτής) λόγω φυσικών αιτίων είτε λόγω σεισμού, και προκαλείται ισχυρή τοπικού χαρακτήρα δόνηση.

- Ηφαιστειογενής Σεισμοί

Οι Ηφαιστειογενής Σεισμοί προκαλούνται από ηφαιστειακές δράσεις. Οφείλονται στην απότομη τοπική μεταβολή των συνθηκών ισορροπίας των πετρωμάτων λόγω της ώθησης που προκαλεί η λάβα στην πορεία της προς την φυσική επιφάνεια του εδάφους.

- Τεκτονικοί Σεισμοί

Οι σεισμοί αυτοί οφείλονται στη διάρρηξη του φλοιού της γης, λόγω της κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών, και είναι οι συνηθέστεροι. Το στέρεο μέρος των πλακών αυτών πάχους μεταξύ 0-70 km. Οι πλάκες βρίσκονται σε συνεχή κίνηση, λόγω γεωθερμικών ρευμάτων και άλλων αιτιών, καθώς επίσης επιπλέον πάνω από το υλικό του μανδύα της γης (ο οποίος βρίσκεται σε μια ημίρευστη κατάσταση). Εξαιτίας της συνεχούς κίνησης προκαλούνται παραμορφώσεις και η εντατική κατάσταση στο φλοιό της γης διαρκώς αλλάζει. Όταν οι τάσεις, οι οποίες αυξάνονται στην περιοχή που αρχίζει η θραύση, φθάσουν να γίνουν ίσες και λίγο μεγαλύτερες από την αντοχή θραύσης του πετρώματος, τότε δημιουργείται η θραύση με απότομες μετατοπίσεις. Η διαδικασία αυτή είναι η αρχή της δημιουργίας των σεισμών στην περιοχή. Οι σεισμικές διαρρήξεις σε μια παλιά επιφάνεια θραύσης μπορούν να αυξήσουν την επιφάνεια θραύσης και το μήκος του ρήγματος, με αποτέλεσμα να προκαλούνται ισχυρότεροι σεισμοί στη περιοχή. Η περιοχή εκτονώνεται και οι τάσεις μειώνονται και δημιουργείται μια νέα εντατική κατάσταση με μικρότερες τάσεις μετά την διάρρηξη. Οπότε, με το πέρασμα του χρόνου υπάρχει η πιθανότητα σε μια περιοχή, λόγω νέων

μετατοπίσεων, να ξανασυσσωρευτούν τάσεις και να δημιουργηθεί μια νέα διάρρηξη ή να ενεργοποιηθεί μια παλαιότερη.

- Σεισμοί προκαλούμενοι από Φράγματα

Η πλήρωση μια τεχνητής λίμνης ενός φράγματος αναπαράγει τέτοιου είδους σεισμούς. Το φορτίο του νερού είναι αυτό που μπορεί να προκαλέσει θραύσεις πετρωμάτων και αντίστοιχο σεισμό στην εγγύς περιοχή. Οι σεισμοί αυτοί συνήθως είναι τοπικής εμβέλειας, δεν είναι ιδιαίτερα ανησυχητικοί καθώς ερευνητές αναφέρουν ότι το βάρος του νερού εντός του φράγματος λειτουργεί ως ένα αίτιο επιτάχυνσης των τοπικών σεισμών που θα συνέβαιναν στην περιοχή.

- Τεχνητοί Σεισμοί

Οι Τεχνητοί Σεισμοί προέρχονται τις περισσότερες φορές από υπόγειες και υπέργειες εκρήξεις πυρηνικών όπλων. Στα σειсмоγράμματα είναι εμφανής η διαφορά των σεισμών από φυσικά αίτια με τους προκαλούμενους τεχνητούς σεισμούς

1.4.4. Όργανα Καταγραφής Σεισμών

Για την καταγραφή και την ανίχνευση των σεισμών χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα όπως σειсмоγράφοι, επιταχυνσιογράφοι, σεισμόμετρα και σειμοσκόπια. Η καταγραφή της σεισμικής δόνησης πραγματοποιείται με την εγγραφή του σειсмоγραφήματος, μέσω του σειсмоγράφου. Για την καταγραφή των σεισμικών δονήσεων έχουν τοποθετηθεί μόνιμοι σειсмоγράφοι σε σεισμολογικούς σταθμούς τόσο στον ελλαδικό χώρο αλλά και διεθνώς.

Οι πρώτοι ψηφιακοί σειсмоγράφοι στήθηκαν σε κάθε γωνία του πλανήτη, με σταθμούς εξοπλισμένους με τα τυπικά όργανα και λειτουργώντας σε ομοιόμορφο χρόνο, από την ίδρυση του Παγκόσμιου Δικτύου Σειсмоγραφικής Αναφοράς γύρω στο 1965 (ΑΠΘ, 2023).

Η ανακάλυψη του H. Reid το 1910, είναι βασισμένη στις γεωδαιτικές μετρήσεις, οι οποίες προήρθαν πριν και μετά το μεγάλο σεισμό του Αγίου Φραγκίσκου το 1906, όπου και είναι το μεγαλύτερο επιστημονικό βήμα για τον τρόπο γένεσης των σεισμών. Δηλαδή ο σεισμός, οφείλεται στην απελευθέρωση ενέργειας κατά την διάρρηξη του σεισμικού ρήγματος. Αυτή η ενέργεια προκύπτει κατά τη διάρκεια γένεσης του σεισμού, και επακολουθεί η βραδεία και επί καθοριστικού χρονικού διαστήματος παραμόρφωση των πετρωμάτων του εστιακού χώρου, γνωστή ως η θεωρία της Ελαστικής Ανάπλασης, και η οποία θεωρείται μέχρι και σήμερα ως η βασική θεωρία για τον τρόπο γένεσης των σεισμών (Reid H., 1910).

Από τις αρχές του εικοστού αιώνα, η μελέτη των σεισμών και η ανάγκη αντιμετώπισής τους βοήθησε στην γέννηση και στην ανάπτυξη της αντισεισμικής προστασίας των χωρών.(.).

1.4.5. Επιπτώσεις Σεισμού στις Κατασκευές (Παράγοντες επιρροής)

Παρόλο την εξέλιξη της τεχνολογίας και του ανθρώπινου πολιτισμού η πρόβλεψη του σεισμού μέχρι και σήμερα δεν έχει καταφέρει να υλοποιηθεί. Ερευνητικές προσπάθειες όπως πχ στατιστική επεξεργασία των καταγεγραμμένων σεισμών άλλοτε δίνουν σημαντικά αποτελέσματα και άλλοτε όχι. Οι σεισμικές επιπτώσεις περιλαμβάνουν άμεσες συνέπειες, είτε έμμεσες συνέπειες στον άνθρωπο, στις κατασκευές και στο περιβάλλον. Επίσης ο σεισμός, αποτελεί τον κύριο αστάθμητο παράγοντα, καθώς οι διεργασίες γένεσης του πραγματοποιούνται σε πολύ μεγάλο βάθος και με έμμεσες μεθόδους προσεγγίζονται τα διάφορα χαρακτηριστικά του, όπως ο τρόπος διαβίβασης της σεισμικής ενέργειας , η ένταση, το βάθος, το επίκεντρο, κ.λπ.

Στον άνθρωπο δημιουργείται ένα αίσθημα πανικού και ανασφάλειας, για μεγάλο χρονικό διάστημα, στους ανθρώπους, αφού ενδέχεται η πιθανότητα ύπαρξης νεκρών και τραυματιών. Μεγάλα προβλήματα δημιουργούνται και στο φυσικό περιβάλλον,

καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις μετά από έναν σεισμό μπορεί να προκληθεί πυρκαγιά, προκαλώντας σημαντικότερα προβλήματα από τον ίδιο τον σεισμό. Συχνά φαινόμενα επίσης είναι οι καθιζήσεις και οι κατολισθήσεις. Λόγω των σπασμένων φραγμάτων ή αλλαγή στη ροή του ποταμού, καθώς και λόγω κατεστραμμένων δικτύων ύδρευσης είναι συνηθισμένο φαινόμενο να συμβούν και πλημμύρες.

Ο σεισμός προκαλεί σοβαρά προβλήματα και εκτεταμένες ζημιές σε πολλές κατασκευές, είναι αυτός που επιφέρει τις αστοχίες σε κτίρια, (όπως σε θεμελιώσεις, καθώς και στον φέροντα οργανισμό των κατασκευών). Κάθε αστοχία που προκαλείται εξαιτίας της καταπόνησης του στοιχείου, πέρα από τα όρια της αντοχής του έναντι σεισμού, καθορίζεται ως βλάβη. Συνοπτικά τα σημαντικότερα αίτια εμφάνισης βλαβών στις κατασκευές, είναι η αστοχία των υποστυλωμάτων, η ασύμμετρη διάταξη στοιχείων ακαμψίας στην κάτοψη, εύκαμπτο ισόγειο, κ.λπ. τα οποία καταγράφονται από την απόκλιση που υπάρχει στο φάσμα αποκρίσεως, ως προς το φάσμα του σχεδιασμού (Μπάρκας, 2000).

Αναλυτικότερα οι πιο συχνές και συγχρόνως οι πιο σοβαρές βλάβες μετά τον σεισμό, εμφανίζονται στα υποστυλώματα κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η συντριπτική πλειονότητα αστοχιών οφείλεται σε αστοχίες ποικίλων μορφών των υποστυλωμάτων, ανάλογα με τις σχετικές τιμές των φορτίων διατομής (N,Q,M) και διάφορους κατασκευαστικούς παράγοντες. Η αστοχία των υποστυλωμάτων, της ψαθυρής θραύσης, φανερώνεται με προοδευτική θραύση και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος λόγω χαμηλής ποιότητας σκυροδέματος, αραιοί συνδετήρες ή ακόμα και παντελής έλλειψη, η ύπαρξη ισχυρών δοκών που θα οδηγήσουν σε αστοχία τους στύλους. Άλλη μια κατηγορία υποστυλωμάτων είναι τα κοντά, που κατασκευάζονται κατά κανόνα σε ημιυπόγειους χώρους και πατάκια. Την μεγαλύτερη τέμνουσα δύναμη την αναλαμβάνουν τα κοντά υποστυλώματα (Μπάρκας, 2000).

Ο σεισμός μπορεί να επιφέρει σημαντικά προβλήματα στην καθημερινή ζωή. Οι βλάβες δεν παρατηρούνται μόνο σε κτίρια κατοικιών αλλά και σε δίκτυα, όπως

ύδρευσης, ηλεκτρικό, τηλεπικοινωνιακό, οδικό και σιδηροδρομικό, έχοντας ως αποτέλεσμα την δύσκολη πρόσβαση των πληγεισών περιοχών για παροχή βοήθειας. Επιπρόσθετα, σημαντικά προβλήματα έχουμε και στο φυσικό περιβάλλον, όπως κατολισθήσεις, καθιζήσεις, πλημμύρα εξαιτίας βλαβών στα δίκτυα ύδρευσης, καταστροφής φραγμάτων ή αλλαγής της ροής ποταμών, καθώς επίσης καταρρεύσεις κτιρίων και λοιπών κατασκευών και εκδήλωση πυρκαγιών από διάφορα βραχυκυκλώματα που έχουν ως αποτέλεσμα την επέκταση των καταστροφών. Ευκαταφρόνητοι δεν είναι οι κίνδυνοι που εγκυμονούν από την μόλυνση των πόσιμων υδάτων, τις πυρκαγιές που προκαλούνται από την θραύση δεξαμενών και αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου.

Για τη μελέτη βελτίωσης και την αναζήτηση νέων τρόπων αντιμετώπισης και θωράκισης, η Πολιτεία παρατηρεί και αναλύει τις βλάβες, ώστε να εντοπιστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την έκταση των βλαβών στις δομικές κατασκευές (Μπάρκας,2000). Ο Σχεδιασμός των νέων κατασκευών που υλοποιούνται σε μια περιοχή, περιλαμβάνει το βαθμό σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής αυτής. Όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη ενότητα, ο χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας χωρίζεται σε τρεις ζώνες Σεισμικότητας.

1.4.6. Κινήσεις Κατασκευών λόγω Σεισμού

Η έναρξη του σεισμού δημιουργεί σεισμικά κύματα στη βάση της κατασκευής, τα οποία τη διεγείρουν και μεταβάλουν την κατάσταση ισορροπίας της ανωδομής. Η στάθμη κάθε ορόφου, καθώς βρίσκεται σε ηρεμία αρχίζει να κινείται με την έλευση του σεισμού. Ενδεικτικές καταγραφές από ένα σεισμικό γεγονός αποδεικνύουν ότι οι κατασκευές εκτελούν τρεις μετακινήσεις (δύο οριζόντιες κατά τον άξονα x και y και μια κατακόρυφη κατά τον άξονα z) και τρεις στροφές γύρω από τους αντίστοιχους άξονες. Γίνεται η παραδοχή ότι στην βάση μιας κατασκευής, κατά την διάρκεια ενός σεισμού, όλα τα σημεία έδρασης εκτελούν την ίδια κίνηση. Όταν τα σημεία έδρασης μιας

κατασκευής όμως απέχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα τα βάθρα μιας γέφυρας μεγάλου ανοίγματος, τότε αυτή η παραδοχή είναι μη αποδεκτή. Στην περίπτωση αυτήν έχουμε πολλαπλή διέγερση στη βάση, καθώς θεωρείται ότι αναπτύσσεται διαφορετική διέγερση σε κάθε έδραση.

1.5. Σεισμική Διακινδύνευση (Seismic Risk)

Στις 25 Σεπτεμβρίου 2015, στο πλαίσιο της 70^{ης} Γενικής Συνέλευσης των Ηνωμένων Εθνών, οι παγκόσμιοι ηγέτες ενέκριναν ομόφωνα την Ατζέντα του 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη. Η Ατζέντα του 2030 είναι η πιο φιλόδοξη συμφωνία που έχουν καταλήξει τα Ηνωμένα Έθνη, εφόσον είναι ένα σχέδιο δράσης για την ευημερία, τον πλανήτη και τον άνθρωπο. Η Ατζέντα 2030 προωθεί την ενοποίηση των τριών διαστάσεων της αειφόρου ανάπτυξης (της περιβαλλοντικής, της κοινωνικής και της οικονομικής). Η Ατζέντα αυτή προάγει την ασφάλεια του ανθρώπου, η οποία βέβαια είναι σε άμεση συνάρτηση των κινδύνων που υφίσταται ο άνθρωπος από τη φύση (σεισμική διακινδύνευση, κα) είτε από άλλα αίτια.

Σεισμική διακινδύνευση είναι ο κίνδυνος καταστροφών από σεισμικές δονήσεις σε κτήρια, περιοχές ή συγκροτήματα όταν βρίσκονται εκτεθειμένα μια καθορισμένη χρονική περίοδο. Η σημασία αυτού του όρου ανταποκρίνεται τόσο στις άμεσες συνέπειες, όπως είναι οι υλικές ζημιές, οι τραυματισμοί και στην έσχατη περίπτωση οι ανθρώπινες απώλειες, όσο και στις έμμεσες (όπως κοινωνικές, οικονομικές κα). Η αντιμετώπιση της σεισμικής διακινδύνευσης οφείλει να αντιμετωπίζεται επιτελικά και διαλειτουργικά από τις εμπλεκόμενες Υπηρεσίες και Φορείς.

Η σεισμική διακινδύνευση εκφράζεται με το γινόμενο της σεισμικής επικινδυνότητας του πλήθος των διακινδυνευόμενων στοιχείων επί τη σεισμική τρωτότητα των στοιχείων αυτών.

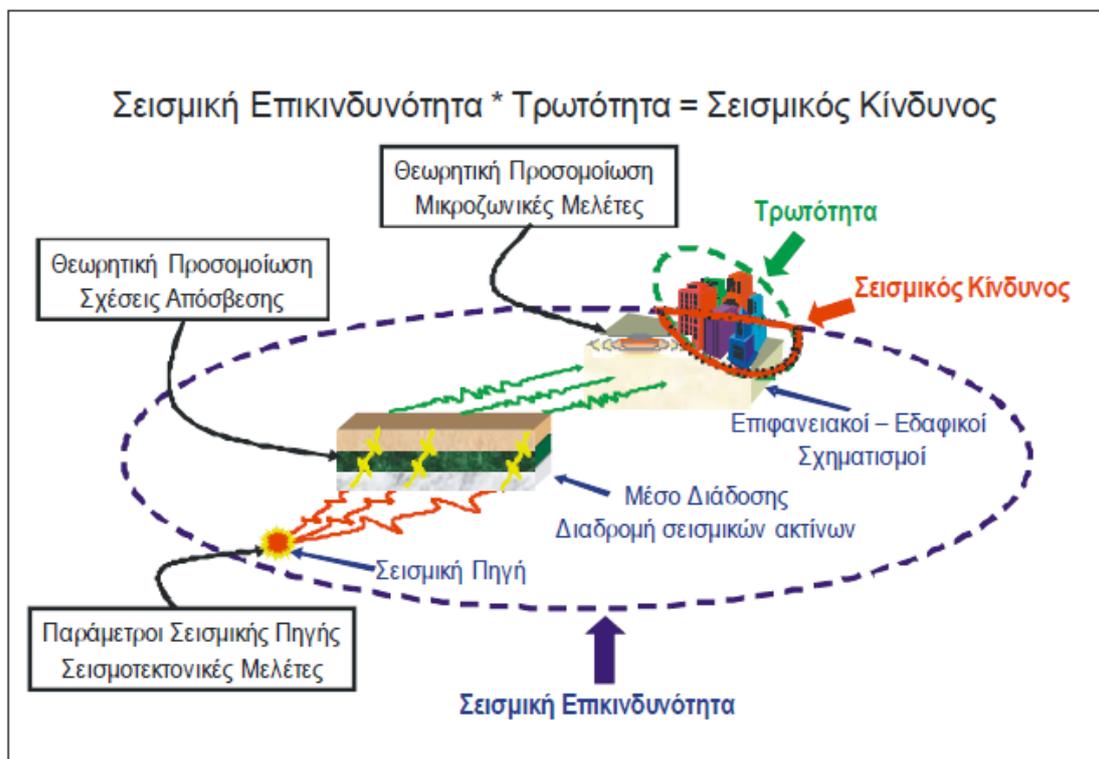
Στην εικόνα 1.3 διακρίνονται οι παράγοντες που επηρεάζουν τη σεισμική διακινδύνευση σε μια θέση (Σώκος, 2021).

$$R = H * V$$

Όπου , R= σεισμική διακινδύνευση

H= σεισμική επικινδυνότητα

V= σεισμική τρωτότητα



Εικόνα 2 :Παράγοντες που επηρεάζουν τη σεισμική διακινδύνευση σε μια θέση

1.6. Σεισμική Επικινδυνότητα (Seismic Hazard)

Σεισμική Επικινδυνότητα ορίζεται ως η πιθανότητα ενός σεισμού να υπερβεί ένα συγκεκριμένο όριο σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα ,σε μία θέση μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής. Εξετάζονται εδαφικές και σεισμολογικές παράμετροι (η ταχύτητα, η μετατόπιση, η επιτάχυνση, η ένταση πιθανού σεισμού ,κλπ.).

Για τον ακριβή υπολογισμό για τον σχεδιασμό του σεισμού, οι μηχανικοί χρησιμοποιούν διάφορους μεθόδους για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας,

ώστε να εκτιμήσουν τις κινήσεις του εδάφους σε συγκεκριμένη θέση. Οι μεθοδολογίες αυτές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: οι στατικές μεθοδολογίες, οι ημι-στατιστικές μεθοδολογίες και οι αιτιοκρατικές μεθοδολογίες (Σώκος,2021). Αυτές αναλύονται παρακάτω:

1) Οι Στατιστικές Μεθοδολογίες: Αποτελούνται από εφαρμογές στατιστικών τεχνικών για την επεξεργασία και την ανάλυση σεισμολογικών δεδομένων. Με την βοήθεια των τεχνικών αυτών, τα μέτρα σεισμικής επικινδυνότητας που κατά κανόνα υπολογίζονται, είναι η μέγιστη προβλεπόμενη σεισμική ένταση, το μέγιστο προβλεπόμενο μέγεθος, καθώς και υπό προϋποθέσεις οι μέγιστες προβλεπόμενες τιμές εδαφικών παραμέτρων.

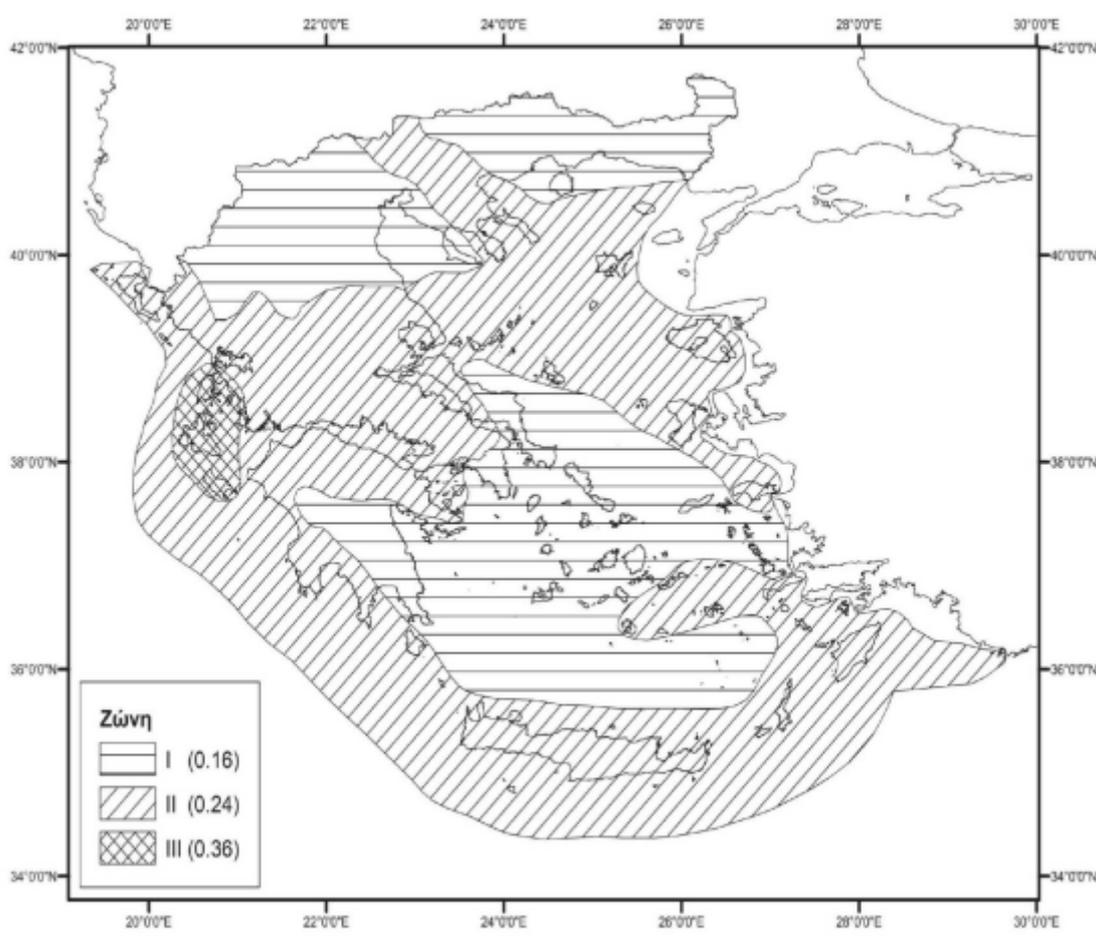
2) Οι Ημι-στατιστικές Μεθοδολογίες: Στις εφαρμογές στατικών τεχνικών για την εκτίμηση της συμβολής σεισμικών πηγών, όπου επακολουθούν από την επεξεργασία και την ανάλυση σεισμολογικών δεδομένων σε συνάθροιση με τα διαθέσιμα τεκτονικά και γεωλογικά στοιχεία, θεμελιώνονται οι ημι-στατιστικές μεθοδολογίες. Με την βοήθεια των τεχνικών αυτών, τα μέτρα σεισμικής επικινδυνότητας που κατά κανόνα υπολογίζονται, είναι οι μέγιστες προβλεπόμενες τιμές εδαφικών παραμέτρων όπως επίσης και οι μέγιστες προβλεπόμενες τιμές φασματικών παραμέτρων.

3) Οι Αιτιοκρατικές Μεθοδολογίες : Η προσέγγιση για τον υπολογισμό της σεισμικής επικινδυνότητας με τη μέθοδο της αιτιολογικής ανάλυσης επιχειρείτε η έκφραση της σεισμικής επικινδυνότητας σε μία θέση μέσω διακριτών τιμών ή μοντέλων . Με την βοήθεια των τεχνικών αυτών, τα μέτρα σεισμικής επικινδυνότητας που κατά κανόνα υπολογίζονται, είναι οι μέγιστες προβλεπόμενες τιμές εδαφικών παραμέτρων, καθώς επίσης και οι μέγιστες προβλεπόμενες τιμές φασματικών παραμέτρων. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα γεωλογικά, τεκτονικά και σεισμολογικά στοιχεία, συνήθως διεξάγεται η αναλυτική μαθηματική επίλυση.

Στην πιθανολογική ανάλυση μέσω στατιστικών μεθοδολογιών, χρησιμοποιούνται ερευνούν την πιθανότητα να συμβεί ένα σεισμικό γεγονός με βάση πιθανολογικά

μοντέλα στις αναλύσεις τους. Επομένως, υπολογίζεται η πιθανότητα να συμβεί σεισμός συγκεκριμένου μεγέθους σε μια θέση σε χρονικό διάστημα στο μέλλον.

Στην Ελλάδα, η εφαρμογή της πιθανοτικής ανάλυσης δίνει το Χάρτη σεισμικής Επικινδυνότητας. Στην παρακάτω εικόνα 1.2 απεικονίζεται ο χάρτης αυτός, ο οποίος χωρίζει την Ελλάδα σε τρεις ζώνες Σεισμικότητας (I, II, III) με σεισμικούς συντελεστές $\alpha=0.16g$, $\alpha=0.24g$, $\alpha=0.36g$, σύμφωνα με τα δεδομένα του Ο.Α.Σ.Π. (ΦΕΚ_1154b, 2003). Οι αναμενόμενες σεισμικές επιταχύνσεις σχεδιασμού λαμβάνονται υπόψη στη σχεδίαση και κατασκευή των κατασκευών.



Πίνακας 3: Χάρτης Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας Ελλάδος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Κεφάλαιο 2- Κρίσιμες Υποδομές και Γραμμές Ζωής (Lifelines)

2.1. Ορισμός Γραμμών ζωής (Lifelines)

Οι κοινωφελείς υπηρεσίες, οι κατασκευές και οι εξοπλισμοί που συνθέτουν τις υποδομές μιας ευρύτερης περιοχής, χαρακτηρίζονται ως Γραμμές Ζωής (Lifelines) ή Δίκτυα Ζωής (Δ.Ζ.). Οι Γραμμές Ζωής , αποτελούν κομβικά σημεία μεταξύ περιοχών ή τμημάτων του αστικού ιστού, καθώς είναι αναγκαία για την εξυπηρέτηση βασικών αναγκών των χρηστών, όπου επηρεάζουν άμεσα τις κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες της περιοχής (Σταματάκης, 2012).

Οι Γραμμές Ζωής διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Δίκτυα Κοινής Ωφέλειας, τα οποία ενσωματώνουν το Δίκτυο ύδρευσης, το Δίκτυο αποχέτευσης, το Δίκτυο υγρών και αερίων καυσίμων, το Δίκτυο Ηλεκτρικής ενέργειας και Τηλεπικοινωνιών.
- Δίκτυα Μεταφορών και Συγκοινωνιών, τα οποία ενσωματώνουν το οδικό δίκτυο, το σιδηροδρομικό δίκτυο, τα αεροδρόμια και τα λιμάνια.

2.1.1. Βασικά χαρακτηριστικά Γραμμών Ζωής

Οι Γραμμές Ζωής χαρακτηρίζονται κυρίως από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (Σταματάκης, 2012):

- Από την έκταση τους καθώς εντείνονται σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, έχοντας ως αποτέλεσμα να είναι τρωτά σε μεγάλης κλίμακας κινδύνους.
- Από την πολυπλοκότητα της δομής τους, όπου καθορίζονται από «γραμμές» και «κόμβους» διαφορετικής τυπολογίας (π.χ. γραμμές μεταφοράς ενέργειας, αντλιοστάσια, αγωγοί, εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων κ.λπ.)
- Από συγκεκριμένα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (π.χ. προδιαγραφές, υλικό , ηλικία) και τεχνικές που να τα τροποποιούν σημαντικά ακόμη και όταν τα στοιχεία εντάσσονται στην ίδια κατηγορία.

- Από την δομή τους (κλειστά, μεικτά, ανοιχτά)
- Από την αλληλεπίδραση μεταξύ τους αλλά και με το αστικό περιβάλλον.

2.1.2. Επιπτώσεις σεισμικής αστοχίας Κρίσιμων Υποδομών και Γραμμών Ζωής

Οι απώλειες λόγω της αστοχίας των Γραμμών Ζωής και των Κρίσιμων Υποδομών ταξινομούνται ως εξής:

- Η διακοπή των υπηρεσιών που προσφέρουν οι Γραμμές Ζωής, η παρεμπόδιση της παραγωγής και της λειτουργίας των επιχειρήσεων, τα έξοδα μετεγκατάστασης ή ενοικίου, σχετίζονται με τις έμμεσες οικονομικές απώλειες.
- Το κόστος επιδιόρθωσης και αντικατάστασης των στοιχείων των δικτύων, σχετίζονται με τις άμεσες οικονομικές απώλειες.
- Ανθρώπινες απώλειες
- Συμπληρωματικές απώλειες εξαιτίας της αλληλεπίδρασης μεταξύ των συστημάτων.
- Περιβαλλοντική μόλυνση εξαιτίας διαρροών πετρελαίου και αποβλήτων.
- Εσωτερική αστάθεια διαφόρων κοινωνικών λειτουργιών.

2.2. Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων

Οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) εντάσσονται στην κατηγορία των γραμμών ζωής και των κρίσιμων υποδομών, σύμφωνα με τα προηγούμενα. Τα συστήματα αυτά είναι περίπλοκα δίκτυα που αποτελούνται από πολλά διασυνδεδεμένα στοιχεία, όπου καθένα από αυτά διακρίνεται από συγκεκριμένη σεισμική τρωτότητα. Στον απόηχο ενός σεισμού, απαραίτητο για την σωστή λειτουργία, είναι ότι τα συστήματα αυτά πρέπει να λειτουργούν πλήρως ή τουλάχιστον εν μέρει. Επίσης, η υποβάθμιση του περιβάλλοντος λόγω διαρροής μη επεξεργασμένων λυμάτων στο έδαφος είτε/και η απόρριψη τους σε επιφανειακά

υδατικά συστήματα, μπορεί να είναι αποτέλεσμα της αστοχίας του συστήματος, με σημαντικά προβλήματα για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

2.2.1 Ορισμός Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων

Οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (Wastewater Treatment Plants -WWTPs) ή ΕΕΛ) είναι σύνθετα δίκτυα τα οποία συντίθενται από αρκετές διασυνδεδεμένες εγκαταστάσεις (Panico et al, 2013). Οι ΕΕΛ είναι γνωστές εγκαταστάσεις που τοποθετούνται στο πέρας των συστημάτων αποχέτευσης κατάντι και χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των ρύπων από τα λύματα για την αποφυγή της ρύπανσης των υδάτων και κατά συνέπεια την πρόκληση βλαβών στο περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. Αποτελούνται δε από δομικά στοιχεία, όπως δεξαμενές, ανοιχτά κανάλια, σωλήνες, κ.λπ. και μη δομικά στοιχεία, όπως αντλίες, βαλβίδες, μηχανικές κατασκευές, προσκρουστήρες, κ.λπ. Είναι τόσο στενά συνδεδεμένα συστημικά μεταξύ τους τα διάφορα μέρη που απαρτίζουν τις εγκαταστάσεις αυτές, ώστε η επιτυχής διαδικασία ολοκλήρωσης του καθαρισμού των λυμάτων, εξαρτάται από την σωστή λειτουργία όλων των στοιχείων που συνθέτουν το σύστημα.

Οι εγκαταστάσεις αυτές βρίσκονται συνήθως σε παράκτιες ζώνες και κοντά σε ποτάμια, καθώς τα λύματα τους απορρίπτονται στις θάλασσες ή σε άλλα επιφανειακά υδάτινα σώματα, όπως ποτάμια και λίμνες. Τέτοιες ζώνες αποτελούνται κατά κανόνα, από μαλακές ιζηματογενείς αποθέσεις ή κορεσμένα στρώματα χαλαρής άμμου και για το λόγο αυτό η σεισμική απόκριση των εγκαταστάσεων αυτών θα μπορούσε να επηρεαστεί έντονα από τις γεωτεχνικές παραμέτρους (O'Rourke and Liu, 1999).

Στην εικόνα 2.1 απεικονίζεται η πανοραμική όψη μιας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων, στην οποία διακρίνονται όλες οι επιμέρους κατασκευές της (ΕΥΑΘ, 2022).



Πίνακας 4: Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων

2.2.2 Τύποι Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων

Οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων, με βάση την απαιτούμενη αποτελεσματικότητα στην απομάκρυνση των ρύπων, μπορούν να σχεδιαστούν για Πρωτοβάθμια επεξεργασία, Δευτεροβάθμια επεξεργασία και Τριτοβάθμια επεξεργασία. Στην Πρωτοβάθμια επεξεργασία οι ΕΕΛ, αφαιρούν (μέσω δεξαμενών καθίζησης), μόνο τα αιωρούμενα στερεά, τα οποία είναι κατάλληλα για φυσική καθίζηση. Η Δευτεροβάθμια και Τριτοβάθμια επεξεργασία, αφαιρούν διαλυμένη οργανική ύλη και θρεπτικά συστατικά, έχοντας ως στόχο την περαιτέρω βελτίωση στην ποιότητα των εκροών πριν από την απόρριψή τους στο περιβάλλον υποδοχής. Η τριτοβάθμια επεξεργασία αποδίδει περισσότερα οφέλη σε σχέση με τη δευτερεύουσα επεξεργασία (Panico et al, 2013).

Τα αποτελέσματα μελετών της σεισμικής επικινδυνότητας, όπου παρέχει την κατανομή του μέτρου εδαφικής κίνησης που επιλέχθηκε και την πιθανότητα να

υπερβληθεί ή να μην υπερβληθεί αυτό σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, γνωστοποιούνται με την μορφή χαρτών ή καμπυλών (Panico et al, 2013).

2.3. Κατηγορίες Λυμάτων

Οι κατηγορίες των υδάτων προς επεξεργασία στα συστήματα αποχέτευσης περιλαμβάνουν:

- Αστικά υγρά απόβλητα (ή λύματα ή ακάθαρτα)

Είναι νερά ανακατεμένα με στερεά που αποβάλλονται με την συνηθισμένη χρήση υγιεινής από οικιστικές, εμπορικές και βιομηχανικές περιοχές.

- Βοθρολύματα: Χαρακτηριστικό των βοθρολυμάτων είναι η σχεδόν μηδενική συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου με ταυτόχρονη υπερίσχυση αναερόβιων βιολογικών διεργασιών.
- Νωπά/Φρέσκα λύματα: Ύπαρξη διαλυμένου οξυγόνου, με ταυτόχρονη υπερίσχυση αερόβιων βιολογικών διεργασιών, είναι χαρακτηριστικό των φρέσκων λυμάτων.

- Όμβρια

Βρόχινα νερά που προκύπτουν από γεγονότα της βροχής.

Στις προηγούμενες περιπτώσεις κατηγοριών λυμάτων υπάρχει πιθανότητα διηθήσεων βρόχινων νερών που εισχωρούν στο αποχετευτικό δίκτυο από το έδαφος. Μια κατηγοριοποίηση των διηθήσεων αφορά τις εξής περιπτώσεις:

Συνεχείς: Από την κορεσμένη ζώνη (αγωγούς εγκαταστημένους κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα).

Μεμονωμένες: Από την ακόρεστη ζώνη κατά την διάρκεια γεγονότων βροχής (αγωγούς εγκαταστημένους πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα)

2.4. Κατασκευές που αποτελούν τις ΕΕΛ

2.4.1. Αντλιοστάσια

Η σωστή λειτουργία των ΕΕΛ και η διαχείριση των λυμάτων μέσω των Μονάδων τους θα ήταν ανέφικτη αν δεν υπήρχαν οι αγωγοί και τα αντλιοστάσια. Όμως αυτά τα τμήματα παρουσιάζουν αυξημένη σεισμική τρωτότητα. Τα αντλιοστάσια χρησιμοποιούνται για την ανύψωση των λυμάτων από την περιοχή συλλογής τους προς την μονάδα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας. Ένα αντλιοστάσιο αποτελεί δηλαδή μια μηχανική συσκευή που εγκαθίσταται σε ένα σύστημα ύδρευσης ή αποχέτευσης ή άλλο αγωγό μεταφοράς υγρών για τη μεταφορά υγρών σε υψηλότερα επίπεδα.

Η χρήση αντλίας είναι απαραίτητη για την μεταφορά υγρών, όπως λυμάτων, ομβρίων, υδάτων κ.λπ., από ένα σημείο χαμηλότερης στάθμης σε ένα άλλο υψηλότερου επιπέδου (AES,2022). Δίχως την ύπαρξη αντλιοστασίου θα δημιουργούνταν σοβαρά προβλήματα, όπως υπερχειλίση στο σημείο της εγκατάστασης, καθώς και πιθανή διαρροή των λυμάτων προς διαφορετικές κατευθύνσεις. Οι φυγοκεντρικές αντλίες, στις ΕΕΛ, είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες αντλίες.

Ένα αντλιοστάσιο αποτελείται από:

- Ηλεκτρολογικό Εξοπλισμό
- Υδραυλικό Εξοπλισμό (αντεπίστροφες βαλβίδες, βάνες, αγωγούς)
- Αντλίες
- Επισημαίνεται ότι στον υδραυλικό εξοπλισμό, το αντλιοστάσιο περιλαμβάνει ένα συνεχή κύριο αγωγό (ως εισαγωγή και εξαγωγή των λυμάτων σε αυτό), και μέσω του οποίου αντλούνται τα λύματα. Ο αγωγός αυτός λειτουργεί υπό πίεση μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση στον τελικό προορισμό τους ώστε να είναι πάντοτε πληρωμένος με λύματα (AES,2022).

Στη σύγχρονη εποχή τα αντλιοστάσια παρέχουν έναν οικονομικό και αποτελεσματικό τρόπο εγκατάστασης συστημάτων αποχέτευσης. Για τα αντλιοστάσια εμπεριέχουν μηχανολογικές κατασκευές για την άντληση και την συλλογή υγρών όπως τα επιφανειακά νερά, και τα λύματα (σε συνήθεις καταστάσεις επεξεργασίας είτε από χαμηλού υψομέτρου περιοχές που δεν υπάρχει δυνατότητα αποστράγγισης μέσω της βαρύτητας).

Το compact αντλιοστάσιο είναι ένα πλήρες σύστημα ενσωματωμένο σε ένα περίβλημα κατασκευασμένο από ανθεκτικό, ισχυρό στην κρούση πολυαιθυλένιο ή GRP (πλαστικό ενισχυμένο από γυαλί). Η μονάδα παρέχεται με εσωτερικές σωληνώσεις προσυναρμολογημένες, εγκατεστημένες έτοιμες για θεμελίωση στο έδαφος, με ενσωματωμένη την εγκατάσταση υποβρυχίων αντλιών και εξοπλισμού ελέγχου. Για πλήρως αυτόματη λειτουργία, τα αντλιοστάσια αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν χειριστήρια. Σε περίπτωση βλάβης της αντλίας υπάρχει η ένδειξη συναγερμού υψηλής στάθμης υγρού (AES,2022).

Θαμμένοι Σωλήνες (Buried Pipes)

Οι θαμμένοι σωλήνες αποτελούνται από μεγάλης διαμέτρου σωλήνες, οι οποίοι είναι θαμμένοι 3 έως 15 πόδια (1 πόδι= 0,3048 μέτρα) ή μπορεί και βαθύτερα ακόμα στο έδαφος. Τα υλικά που αποτελούνται είναι συχνά σωλήνες από σκυρόδεμα ή χάλυβα, οι οποίοι είναι πακτωμένοι είτε συγκολλημένοι. (Moser A.& Folkman S., 2008)

Ανυψωμένοι Σωλήνες (Elevated Pipes)

Οι Ανυψωμένοι Σωλήνες αποτελούνται από μεγάλης διαμέτρου σωλήνες, 4 έως 7 πόδια, που στηρίζονται σε δοκούς. Αυτοί οι σωλήνες χρησιμοποιούνται περισσότερο σε περιοχές που διασχίζουν μικρής αντοχής εδάφη και τα δοκάρια τους συχνά στηρίζονται σε πασσάλους οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι με ανθεκτικά υλικά. Ένας υπερυψωμένος σωλήνας είναι συνήθως κατασκευασμένος από πριτσίνια ή συγκολλημένο υλικό- σωλήνα από χάλυβα. Οι σωλήνες με πριτσίνια ήταν περισσότερο συνηθισμένοι κατασκευαστικά, πριν από το 1940. Ο υπερυψωμένος

χαλύβδινος συγκολλημένος σωλήνας είναι κατασκευασμένος είτε από ποιότητας νερού είτε από ποιότητας πετρελαίου υλικό, δηλαδή από χαμηλότερης ποιότητας και καλύτερης ποιότητας. Τα στηρίγματα/ υποστηλώματα για τους πασσάλους μπορεί να είναι κατασκευασμένα από σκυρόδεμα , ξύλο και χάλυβα με περιβλήματα από σκυρόδεμα.

2.4.2. Αγωγοί Λυμάτων

Ως Αγωγός ελεύθερης ροής μπορεί να θεωρηθεί ένα ανοιχτό κανάλι ή τάφρος ή ακόμα μπορεί να είναι μια σήραγγα που ρέει μερικώς νερό. Επίσης ως αγωγός υπό πίεση μπορεί να θεωρηθεί ένας αγωγός ή μια σήραγγα που ρέουν τα λύματα υπό εσωτερική πίεση. Ένα κανάλι ή ένας αγωγός είναι ένα ανοιχτό κανάλι.

Οι αγωγοί λυμάτων που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως υπόγειοι και σε σκάμματα και σπάνια σε σήραγγες. Για τη μετακίνηση των λυμάτων από τη μια μονάδα στην άλλη, είναι απαραίτητοι και στηρίζεται στις αρχές της φυσικής ροής (βαρύτητα) και της άντλησης. Συνήθως κατασκευάζονται από προκατασκευασμένους σωλήνες κυκλικής διατομής. Το κριτήριο για την επιλογή των υλικών κατασκευής αγωγών είναι το είδος των λυμάτων που πρόκειται να μεταφέρουν (από άποψη χημικής σύστασης) (Κουτσογιάννης Δ., 1999). Ωστόσο ,υπάρχουν μερικά από τα πιο κοινά υλικά αγωγών, όπως είναι το σκυρόδεμα, το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), το αμιαντοτσιμέντο, το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), πλαστικός σωλήνας ενισχυμένος με ίνες γυαλιού (GRP),που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αναλόγως σε ειδικές περιπτώσεις (Liu & Liptak, 1999).

2.4.3 Κανάλια Λυμάτων

Κανάλι θεωρείται ένας αγωγός ελεύθερης ροής που συνήθως είναι ανοιχτός στην ατμόσφαιρα και συνήθως σε επίπεδο. Ένα κανάλι μπορεί να είναι με ή χωρίς

επένδυση. Για να μειωθούν οι απώλειες νερού, τα κανάλια τις περισσότερες φορές επενδύονται με σκυρόδεμα. Η επένδυση αποτρέπει την υπερβολική απώλεια υγρασίας λόγω διαρροών. Διασχίζουν τόσο σταθερές όσο και ασταθείς γεωλογικές συνθήκες, όταν οι γεωλογικές συνθήκες περιλαμβάνουν ζώνες κατολίσθησης. Σταθεροποιεί τις όχθες, πρόληψη της διάβρωσης, καθώς επίσης βοηθά στον έλεγχο της ρύπανσης του νερού και διευκολύνει στον καθαρισμό του. Τα κανάλια τείνουν να είναι μεγαλύτερα από τους αγωγούς που λειτουργούν υπό πίεση, καθώς λειτουργούν υπό ατμοσφαιρική πίεση. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται ως στοιχεία ενός μεγαλύτερου συστήματος μεταφοράς λυμάτων .

2.4.4. Σήραγγες Λυμάτων

Σήραγγα μπορεί να θεωρηθεί ένα υπόγειο πέρασμα, ως ορισμός όμως δεν είναι καθολικά αποδεκτός για το τι συγκροτεί μια σήραγγα. Εκτός από τα ανοίγματα της, όλες οι πλευρές είναι πλήρως κλεισμένες και το μήκος της είναι δυο φορές μεγαλύτερο από το πλάτος της. Οι σήραγγες αποτελούν υψίστης σημασίας συνιστώσες των μεταφορικών δικτύων, όπως δίοδο για οχήματα ,πεζούς ή και ποδηλάτες, καθώς επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως υδραγωγεία, δηλαδή σήραγγες αποκλειστικά για την μεταφορά νερού ,σαν αποχετευτικός αγωγός, για υδροηλεκτροπαραγωγή, για ηλεκτροπαραγωγή, κ.λπ.

Μια εμπειριστατωμένη μελέτη της κατάστασης του εδάφους προηγείται και είναι σημαντικό για την κατασκευή μιας σήραγγας. Από ισχυρές εδαφικές δονήσεις, μπορεί να προκληθούν ζημιές στις επενδύσεις των σηράγγων. Για τους σκοπούς της ανάπτυξης καμπυλών ευθραυστότητας, οι σήραγγες κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες: σήραγγες με κοπή και κάλυψη και σήραγγες με διάτρηση.

Οι παλαιότερες σήραγγες θεωρούνται κακή έως μέτριας ποιότητας κατασκευής. Σε σχέση με τις επίγειες κατασκευές, οι σήραγγες καθιερώθηκαν ως λιγότερες τρωτές

από ισχυρούς σεισμούς, μετά την έρευνα προηγούμενων περιστατικών σεισμών. Οι σήραγγες σήμερα συνεχίζουν να είναι επιδεκτικές σεισμικών βλαβών σε περιοχές με υψηλή σεισμικότητα είτε/και άσχημες εδαφικές συνθήκες με υψηλή πιθανότητα εμφάνισης μονίμων παραμορφώσεων είτε κλιμακούμενες σεισμικές ταλαντώσεις.

Για την εκτίμηση του προβλεπόμενου βαθμού βλάβης, χρήσιμο εργαλείο αποτελούν οι καμπύλες τρωτότητας, οι οποίες περιγράφουν την πιθανότητα μιας κατασκευής να υπερβεί ένα καθορισμένο επίπεδο βλάβης για διάφορα επίπεδα σεισμικής κίνησης. Επομένως, έτσι συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη διαχείριση της σεισμικής διακινδύνευσης των μεταφορικών δικτύων (Pitilakis et al., 2005). Η εκτίμηση της τρωτότητας σηράγγων βασίζεται έως και σήμερα σε εμπειρικές καμπύλες τρωτότητας, που είναι αποτέλεσμα παρατηρήσεων βλαβών από προηγούμενους σεισμούς ανά τον κόσμο, (Dowding and Rozen, 1978, Owen and Scholl, 1981, Wang, 1985, Sharma and Judd, 1991).

2.4.5. Δεξαμενές νερού και λυμάτων

Δεξαμενή Αποθήκευσης Διανομής νερού: Τα περισσότερα συστήματα νερού περιέχουν διάφορους τύπους δεξαμενών αποθήκευσης στα συστήματα διανομής τους. Οι δεξαμενές αποθήκευσης μπορεί να είναι είτε δεξαμενές κλειστές είτε ανοιχτές δεξαμενές. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι υψηλής ποιότητας χάλυβα, σκυρόδεμα και PVC.

Πολλές από τις ανοιχτές δεξαμενές περικλείονται με προσθήκη στέγης, έτσι ώστε το επεξεργασμένο νερό να προστατεύεται από την μόλυνση εξωτερικών πηγών, καθώς εκτίθενται στις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Γενικά τα συστήματα διανομής νερού, τα οποία υφίστανται εντός των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, παρέχουν επεξεργασμένο νερό για τον καθαρισμό των μηχανημάτων των λυμάτων, καθώς και για λόγους πυρόσβεσης.

Δεξαμενή Αποθήκευσης Λυμάτων: Τα λύματα κατά την διάρκεια της επεξεργασίας τους εντός του χώρου της ΕΕΛ απαιτείται να παραμένουν συγκεκριμένα διαστήματα εντός δεξαμενών (συνήθως ανοικτών) έτσι ώστε να γίνει η καθίζηση των λεπτόκκοκκων σωματιδίων (στις Δεξαμενές Αθμιας επεξεργασίας) είτε η βιοαποδόμηση των οργανικών υλικών (στις Δεξαμενές Βθμιας επεξεργασίας).

2.5. Αποχετευτικά Δίκτυα και Αγωγοί, εντός της πόλης

Από το παρελθόν ακόμα, τα Δίκτυα Αποχέτευσης σχεδιάζονται ως παντοκρατορικά, δηλαδή τα λύματα και τα όμβρια από κατακρημνίσεις αποχετεύονταν σε ένα κοινό αγωγό. Ένας τέτοιος αγωγός θα πρέπει να διαστασιολογείται από την παροχή της βροχής. Η βροχόπτωση συνήθως χαρακτηρίζεται από μικρή διάρκεια, όμως υπάρχει η περίπτωση να οδηγήσει σε μεγάλους απορρέοντες όγκους νερού και σε σημαντικές παροχές. Στον υπολογισμό της διατομής του αγωγού, η παροχή των ακαθάρτων έχει κατά προτίμηση δευτερεύοντα ρόλο.

Σε ακραίες περιπτώσεις βροχόπτωσης, οι παροχές των αγωγών του παντοροϊκού συστήματος μπορεί να υπερβούν κάποια κρίσιμα όρια, τα οποία ορίζονται από το σχεδιασμό. Ανεξάρτητα από την ένταση του ρυπαντικού φορτίου που μεταφέρεται στα αντλιοστάσια και στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, θα πρέπει να προβλέπονται διατάξεις ανακούφισης, οι οποίες είναι γνωστές ως και «bypass». Στις περιπτώσεις αυτές, η πλεονάζουσα παροχή διατίθεται μέσω κατάλληλα σχεδιασμένου αγωγού ή υπερχειλίζοντας απλά τον τελικό αποδέκτη επηρεάζοντας την ποιότητα του. Για την χαλάρωση του δικτύου, απαιτούνται δε τεχνικά έργα, ώστε να μην υπάρχει επιβάρυνση της διαδικασίας επεξεργασίας λόγω των ακραίων μεταβολών της βροχόπτωσης (Λαγγούσης κ Φουρνιώτης, 2020).

Σύμφωνα με το χωριστικό σύστημα, λύματα και όμβρια αποχετεύονται σε χωριστούς αγωγούς. Οι δύο τύποι αγωγών πρέπει να είναι υπόγειοι. Σε ανοιχτούς τάφρους, χείμαρρους ή παρακείμενα υδατορεύματα μπορούν να αποχετευτούν τα όμβρια, κατ'

εξαιρέση σε συγκεκριμένες περιοχές με μικρή ή καθόλου δόμηση. Σε καμία περίπτωση ο τελικός αποδέκτης δεν μπορεί να δέχεται ακάθαρτα ύδατα, εφόσον υφίσταται κάποια ΕΕΛ στην περιοχή (Λαγγούσης κ Φουρνιώτης, 2020).

2.5.1. Δίκτυα Αποχετευτικού συστήματος

Δίκτυο Ακαθάρτων

Το σύνολο των αγωγών που εξυπηρετεί την συσσώρευση και την μεταφορά των λυμάτων προς τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας (συγκεντρωτικός σχεδιασμός), αποτελεί το δίκτυο ακαθάρτων.

Δίκτυο Ομβρίων

Το σύνολο των αγωγών που εξυπηρετεί την συσσώρευση και την μεταφορά των ομβρίων υδάτων προς υδάτινους αποδέκτες (αποκεντρωτικός σχεδιασμός), αποτελεί το δίκτυο ομβρίων.

Παντοροϊκό Δίκτυο

Η ταυτόχρονη συσσώρευση και η μεταφορά των ομβρίων υδάτων και των λυμάτων προς τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, αποτελεί το παντοροϊκό δίκτυο (Λαγγούσης κ Φουρνιώτης, 2020).

2.6. Δίκτυο Ύδρευσης

Το πιο σημαντικό δίκτυο στη σύγχρονη κοινωνία είναι το δίκτυο ύδρευσης, καθώς επηρεάζει άμεσα την ανθρώπινη ζωή. Δεν είναι δύσκολό να αντιληφθεί κανείς πως σε περίπτωση διαταραχής στο δίκτυο ύδρευσης, θα φέρει πολύ σοβαρά προβλήματα στο ανθρώπινο περιβάλλον. Οι κοινωνικές απώλειες είναι το ίδιο σημαντικές με τις κοινωνικές. Για αυτόν τον λόγο, είναι κρίσιμης σημασίας η αξιολόγηση της τρωτότητας των δικτύων ύδρευσης σε διάφορους ανθρωπογενείς και φυσικούς κινδύνους και ο αντισεισμικός σχεδιασμός τους, καθώς και η εκτίμηση των

οικονομικών απωλειών σε περίπτωση αστοχίας. Το δίκτυο ύδρευσης αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- Μηχανισμοί ελέγχου ροής (βαλβίδες κ.λπ.)
- Υπέργειες κυλινδρικές δεξαμενές αποθήκευσης
- Συστήματα συλλογής δεδομένων και ελέγχου που βρίσκονται κατά μήκος της διαδρομής του συστήματος μεταφοράς
- Συστήματα παροχής νερού (κανάλια, σήραγγες και αγωγούς)

2.7. Εξειδικευμένοι Κανονισμοί Βιολογικού Καθαρισμού

Παρακάτω αναλύεται το Νομικό πλαίσιο σχεδιασμού και εγκατάστασης Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων.

2.7.1 ΟΔΗΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ 91/271/ΕΟΚ

Στις 21^{ης} Μαΐου 1991, βάση της Οδηγίας του συμβουλίου 91/271/ΕΟΚ, όπου αποσκοπεί στην προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Ένωσης από τις δυσμενείς επιπτώσεις. Επίσης, απαιτείται να ρυθμίζεται από γενικές διατάξεις (ειδικά εγκεκριμένη), η απόρριψη βιομηχανικών αποβλήτων σε δίκτυα αποχέτευσης και η απόρριψη λυμάτων και λυμάτων από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Τα κράτη μέλη έπρεπε να διασφαλίσουν ότι το αργότερο έως τις 31 Δεκεμβρίου 2005 την προθεσμία για την κατασκευή σταθμών επεξεργασίας λυμάτων και δικτύων αποχέτευσης σε όλους τους οικισμούς, με ισοδύναμο πληθυσμό άνω των 2000 ατόμων. Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ορίζουν την υποβολή εκθέσεων (σχετικά με τη διαδικασία εφαρμογής και τα αποτελέσματα), ως προς:

- Την συμμόρφωση των κρατών μελών με τις απαιτήσεις της Οδηγίας για την κατασκευή Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων και την κατασκευή Δικτύων Αποχέτευσης και την καλή λειτουργία τους.
- Την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας Βιομηχανικών αποβλήτων και της πολιτικής διαχείρισης ιλύος.

- Την προχωρημένη επεξεργασία σε αστικά κέντρα, σε καθορισμένες ευαίσθητες περιοχές με πληθυσμό άνω των 10000 ατόμων.
- Την εφαρμογή Δευτεροβάθμιας Επεξεργασίας στα λύματα που έχουν συλλεχθεί.

2.7.2. ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ

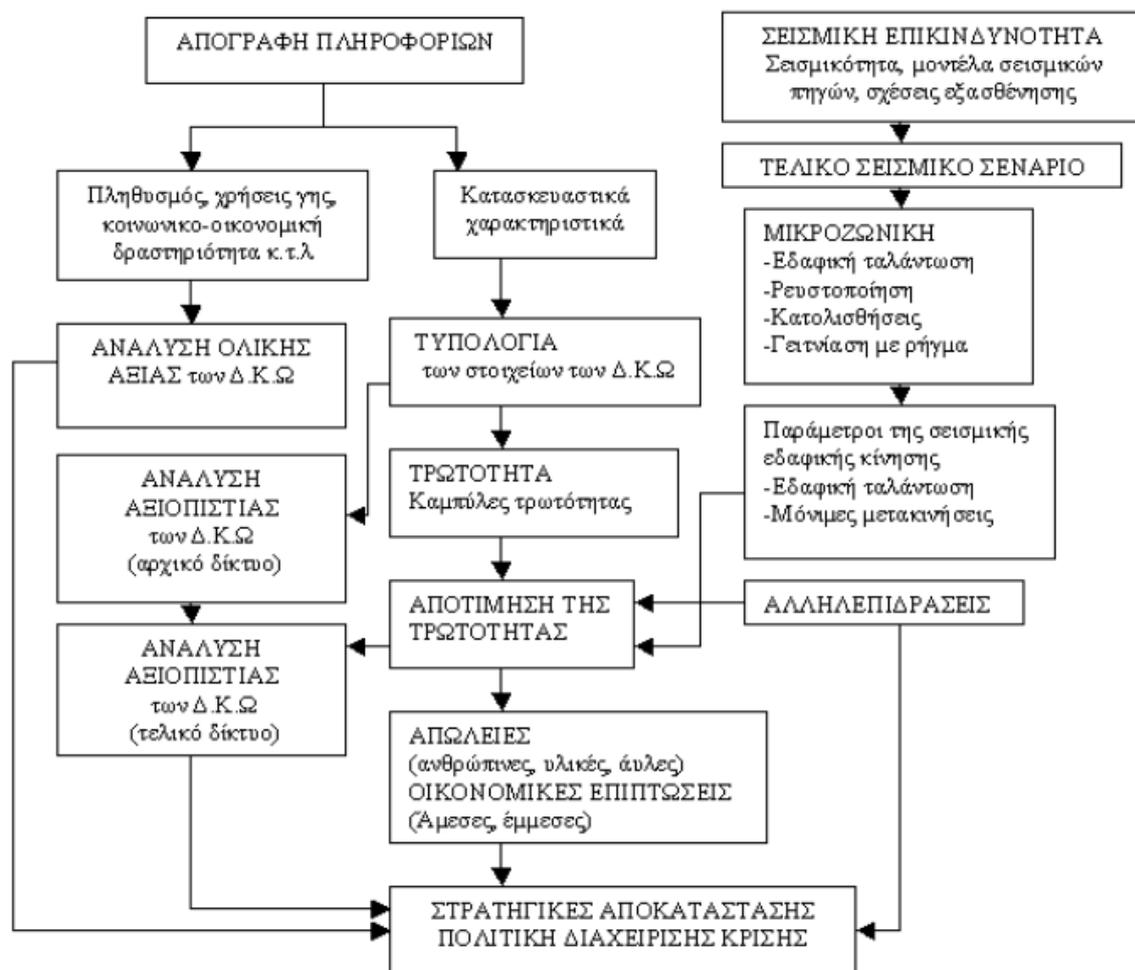
Στις 23^{ης} Οκτωβρίου 2000, βάση της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, η Ευρωπαϊκή Ένωση αναδιαμόρφωσε τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στο θέμα της πολιτικής για τα ύδατα (Ευρωπαϊκή επιτροπή, 2000). Τον Δεκέμβριο του 2000 τέθηκε σε ισχύ η οδηγία που στοχεύει στη βιώσιμη διατήρηση και διαχείριση των υδροφόρων πόρων, των εσωτερικών επιφανειών υδάτων και των θαλάσσιων για την επίτευξη των εξής στόχων:

- Η προώθηση της αειφόρου χρήσης του νερού, χάρη στην μακροπρόθεσμη διατήρηση των διαθέσιμων υδάτινων πόρων.
- Η ανάκτηση της οικολογικής λειτουργίας των υδάτινων πόρων.
- Ο μετριασμός των επιπτώσεων από τις ξηρασίες και τις πλημμύρες.
- Η βελτίωση και η προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων. Η μείωση των ανθρωπογενών επιπτώσεων, είναι ένας από τους στόχους της οδηγίας για τη διατήρηση των υδάτων που σχετίζεται άμεσα με τη διαχείριση υγρών αποβλήτων μικρής κλίμακας.
- Έως και το 2015 το κάθε κράτος μέλος έπρεπε να πετύχει δύο στόχους εντός της επικράτειας τους:
 - Να αποτραπεί η ρύπανση του νερού και να αποτραπεί η περαιτέρω υποβάθμιση.
 - Να εμποδιστεί η περαιτέρω μόλυνση των υπόγειων υδάτων καθώς και να διασφαλιστεί η σταδιακή μείωση της ρύπανσης τους.

2.8. Σεισμική Τρωτότητα Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων

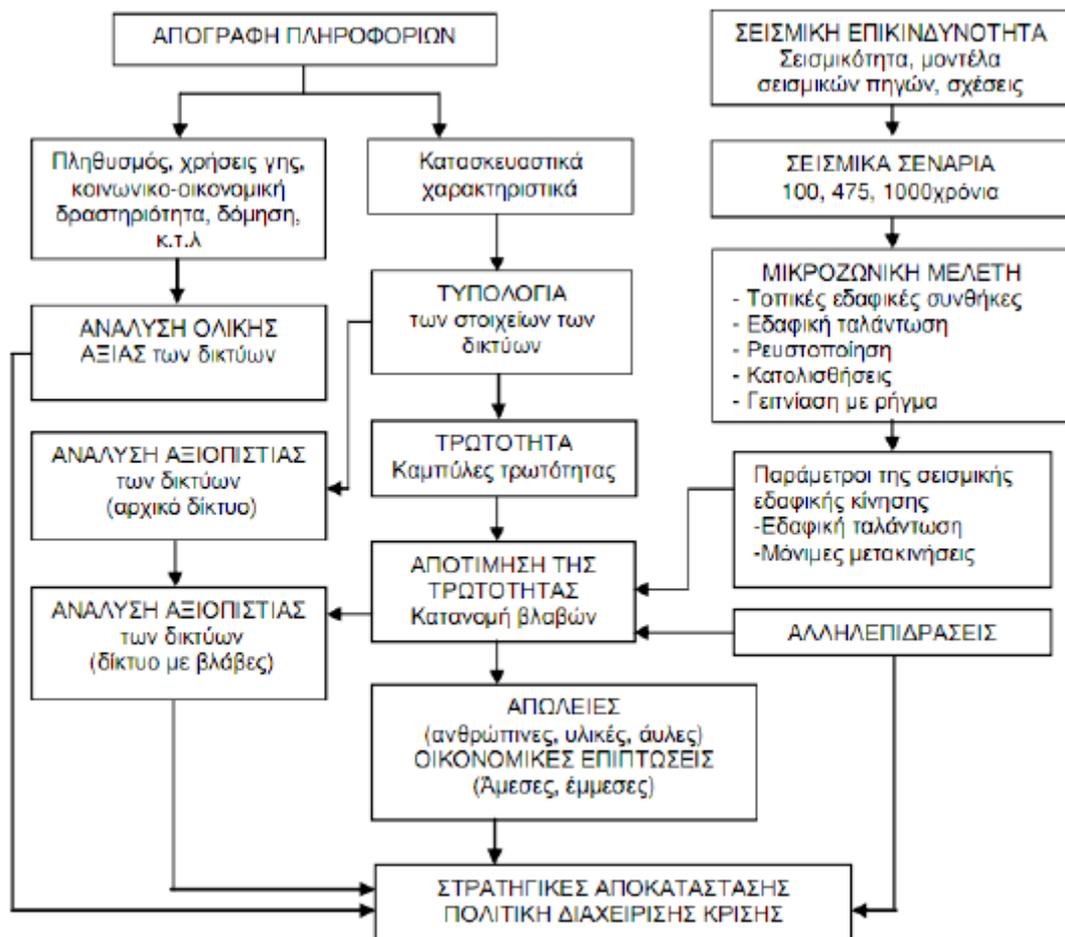
Η κρισιμότητα του δικτύου αποχέτευσης, καθώς και ο συνδυασμός της αβεβαιότητας, τη πολυπλοκότητας και του τεράστιου πλήθους των συλλεχθέντων πληροφοριών των στοιχείων του, όπως για παράδειγμα των δεξαμενών, αγωγών, αντλιοστασίων, εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, κλπ., τις αλληλεπιδράσεις του δικτύου μεταξύ των μερών που το απαρτίζουν και με το αστικό περιβάλλον και η χωρική μεταβλητότητα της σεισμικής κίνησης καθιστούν την αξιολόγηση της απόκρισης του σε ισχυρούς σεισμούς ως βασική πολιτική προτεραιότητα. Αποτελεί ουσιαστικό στοιχείο για την ανάπτυξη μιας «έξυπνης» στρατηγικής διαχείρισης κρίσεων και τον έλεγχο των έμμεσων απωλειών.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η διαχείριση σεισμικού κινδύνου σε Δίκτυα Κοινής Ωφέλειας (ΔΚΟ), με μια γενική δομή μεθοδολογίας σε αστικά συγκροτήματα,(Pitilakis K. et al, 2005, Pitilakis et al, 2006, Πιπιλάκης κ.α., 2008). Ανάλογες προσπάθειες έχουν γίνει από ερευνητές για τον προσδιορισμό εμπειρικής ποιοτικής μεθοδολογίας για την εκτίμηση της σεισμικής τρωτότητας καθώς και τον προσδιορισμό των παραμέτρων Δομικής, Μη δομικής και Λειτουργικής τρωτότητας των ΕΕΛ (Kerpelis et al, 2021, 2021b, 2021c). Άλλες παλαιότερες έρευνες προσδιόριζαν αναλυτικότερα τις ανωτέρω παραμέτρους σεισμικής τρωτότητας (Kerpelis, 2019).



Πίνακας 5: Σχηματικό διάγραμμα γενικής μεθοδολογίας διαχείρισης σεισμικών κινδύνων Δ.Κ.Ο σε αστικά συγκροτήματα.

Κατά την περίοδο 2003-2007 και στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος SRMLIFE, εξελίχθηκε η μεθοδολογία αποτίμησης της σεισμικής διακινδύνευσης των δικτύων κοινής ωφελείας, η οποία ανταποκρίνεται στις ανάγκες και στα δεδομένα της Ελληνικής πρακτικής. Σύμφωνα με τους Κ. Πιτιλάκη, Α. Αναστασιάδη, Σ. Αργυρούδη, Κ. Κακδέρη, Μ. Αλεξούδη, 2008, στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η πολυεπίπεδη μεθοδολογία για την αποτίμηση της τρωτότητας και της διαχείρισης σεισμικής διακινδύνευσης των υποδομών και των δικτύων κοινής ωφελείας.



Πίνακας 6: Σχηματικό Διάγραμμα ροής της Μεθοδολογίας SRMLIFE (2003-2007).

2.8.1. Αστοχίες Δεξαμενών

Η καταπόνηση μιας δεξαμενής αποθήκευσης με σεισμική διέγερση μπορεί να οδηγήσει στην έναρξη και την εξέλιξη της αστοχίας. Πιθανή ζημιά μπορεί να έχει σημαντικές κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες.

Οι κύριες αστοχίες των δεξαμενών αποθήκευσης υγρών υπό σεισμική δόνηση και καταπόνηση είναι:

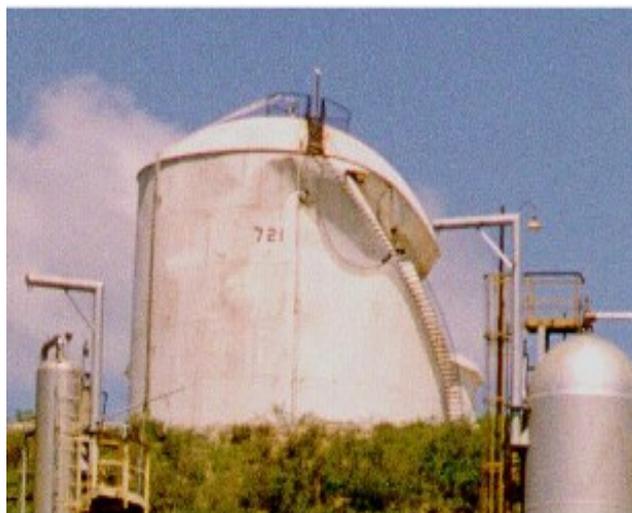
- Η Ολίσθηση δεξαμενής
- Η Αστοχία σωλήνων και ακροφυσίων μη αγκυρωμένων δεξαμενών
- Η Αστοχία θεμελίωσης
- Η Αστοχία αγκύρωσης

- Ο Λυγισμός λόγω εναλλαγής υδροστατικών και υδροδυναμικών σημείων στο πάνω μέρος της δεξαμενής
- Η Πλαστικοποίηση βάσης λόγω της ανόδου των μη αγκυρωμένων δεξαμενών
- Η Αύξηση των περιφερειακών τάσεων έχει ως αποτέλεσμα την διαρροή ή την αστοχία του κελύφους
- Ο Λυγισμός ποδιού ελέφαντα(Elephant's foot buckling-λυγισμός) κοντά στον πυθμένα της δεξαμενής

Στις παρακάτω εικόνες 2.3, 2.4, 2.5 και 2.6 παρουσιάζονται μερικά από τα παραδείγματα αστοχιών των δεξαμενών



Πίνακας 7: Αρκάνσας 2009-Κατάρρευση δεξαμενής, (Κονδυλογιάννη Μ., 2021)



Πίνακας 8: Πουέρτο Ρίκο- Αστοχία δεξαμενής με θολωτή οροφή λόγω εσωτερικής εκκένωσης, (Κονδυλογιάννη Μ., 2021)

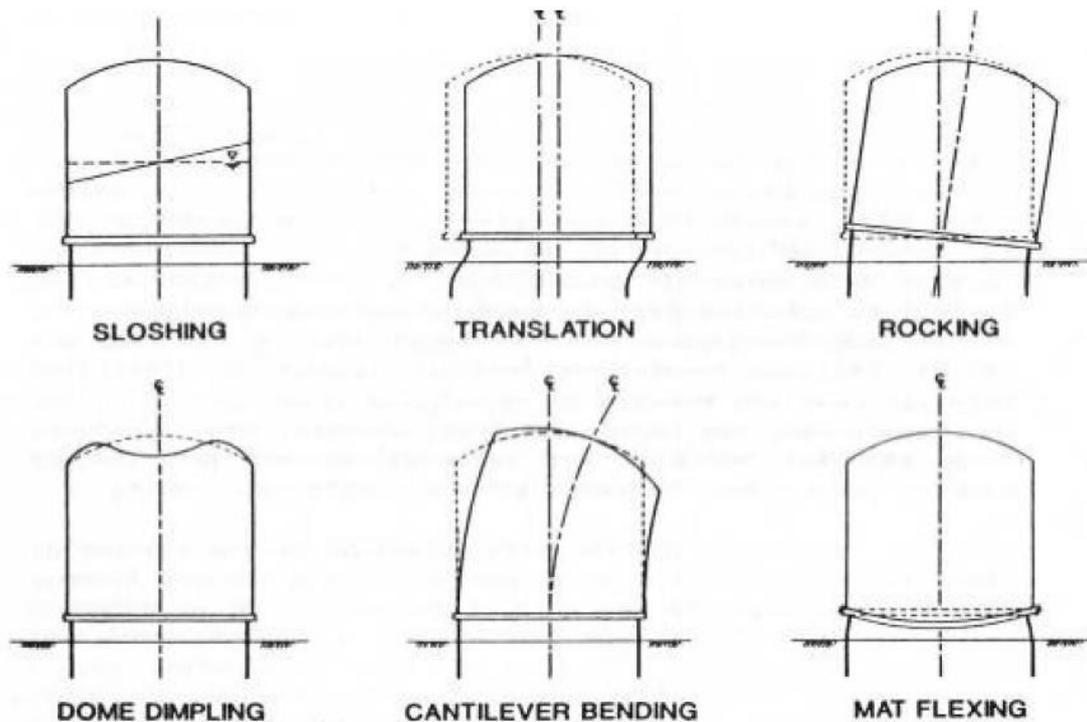


Πίνακας 9: Τυφώνας 2002-Λυγισμός δεξαμενής στο νησί Γκουάμ, (Κονδυλογιάννη Μ., 2021)



Πίνακας 10: Τυφώνας Hugo 1989-Αστοχία δεξαμενών ανοιχτής οροφής Σάντα Κρουζ, (Κονδυλογιάννη Μ., 2021)

Οι δεξαμενές αποθήκευσης ΕΕΛ μπορεί να αστοχήσουν για διάφορους λόγους, παρουσιάζουν έτσι υψηλότερη σεισμική τρωτότητα. Ωστόσο, ο πιο συνηθισμένος τρόπος αποτυχίας είναι η ανατροπή, όπως έχουν παρατηρήσει οι O'Rourke και So (Alexoudi, M., Pitilakis, et al,2010). Η διαφορετική προβλεψιμότητα των αστοχιών δεξαμενών σχετίζεται με την αναμενόμενη σεισμική επιτάχυνση στο έδαφος (PGA).



Πίνακας 11: Οι Μορφές αστοχίας των δεξαμενών κατά την διάδοση σεισμικών κυμάτων.

2.8.2. Σεισμική Τρωτότητα Αποχετευτικών Αγωγών

Η διεθνής εμπειρία έχει δείξει ότι ένα δίκτυο αποχέτευσης ή ύδρευσης εμφανίζει διαρροές ή θραύσεις μετά από κάποιο σεισμό, καθώς οι αγωγοί αποχέτευσης είναι το πιο ευάλωτο μέρος της εγκατάστασης (αποχετευτικό σύστημα), όπως αποδεικνύεται από τις σεισμικές επιπτώσεις προηγούμενων ισχυρών σεισμών στο ΕΕΛ. Έχουν παρατηρηθεί ζημιές ιδιαίτερα στους κόμβους τους, με αποτέλεσμα τη διαρροή λυμάτων στον υδροφόρο ορίζοντα, αλλά μόνο επιφανειακά, με άμεσες επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία. Πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στη μείωση της τρωτότητας των αποχετεύσεων. Έτσι, η γνώση που αποκτήθηκε από τη συμπεριφορά των σωλήνων ΕΕΛ και τις σεισμικές επιπτώσεις τους σε αυτούς έχει προωθήσει μια νέα επιστημονική άποψη που προβλέπει την κατασκευή των σωλήνων ΕΕΛ με υλικό HDPE, καθώς φαίνεται να είναι πιο ανθεκτικός από όλα τα άλλα υλικά (Eidinger & Davis, 2012). Επίσης, έμφαση δίνεται στον σχεδιασμό

εύκαμπτων κόμβων, ειδικά σε περιοχές όπου οι αγωγοί διασταυρώνονται με ρήγματα, για την αποφυγή αστοχιών λόγω διαφορικών καθιζήσεων (Eidinger & Davis, 2012). Για την αποφυγή εμφάνισης αστοχιών μετά από έναν ισχυρό σεισμό, απαιτείται ο λεπτομερής αντισεισμικός σχεδιασμός του συστήματος του δικτύου, καθώς επίσης και η εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Κεφάλαιο 3 - Μέθοδοι εκτίμησης σεισμικής τρωτότητας

3.1. Καμπύλες Τρωτότητας

3.1.1. Ορισμός

Η ποσοτικοποίηση του ενδεχόμενου βαθμού βλάβης ως συνάρτηση της στάθμης της σεισμικής έντασης ορίζεται ως η εκτίμηση της τρωτότητας. Οι καμπύλες τρωτότητας παράγουν το πιο εύχρηστο εργαλείο για την αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης δικτύων κοινής ωφέλειας, υποδομών και κτιρίων (Calvi et al. 2006).

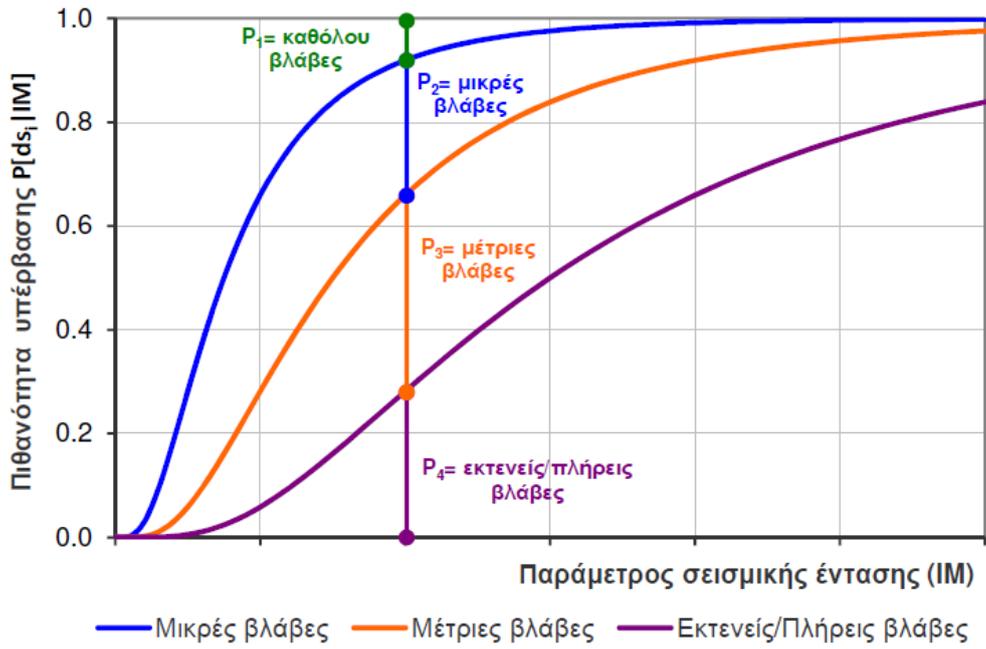
Οι καμπύλες τρωτότητας παρέχουν την πιθανότητα το υπό έρευνα στοιχείο να έχει υπερβεί μια δεδομένη στάθμη βλάβης, όπως μικρές, μέτριες, εκτενείς, πλήρεις βλάβες, υπό μια συγκεκριμένη σεισμική ένταση. Μέσω των πιθανοτήτων υπέρβασης $P[ds \geq i]$, καθορίζονται οι πιθανότητες $P[ds = i]$ όπου βρίσκουν το υπό εξέταση στοιχείο σε κάθε στάθμη βλάβης (ds_i).

Στην περίπτωση των τεσσάρων σταθμών βλάβης με $i=0,1,2,3$, έχουμε:

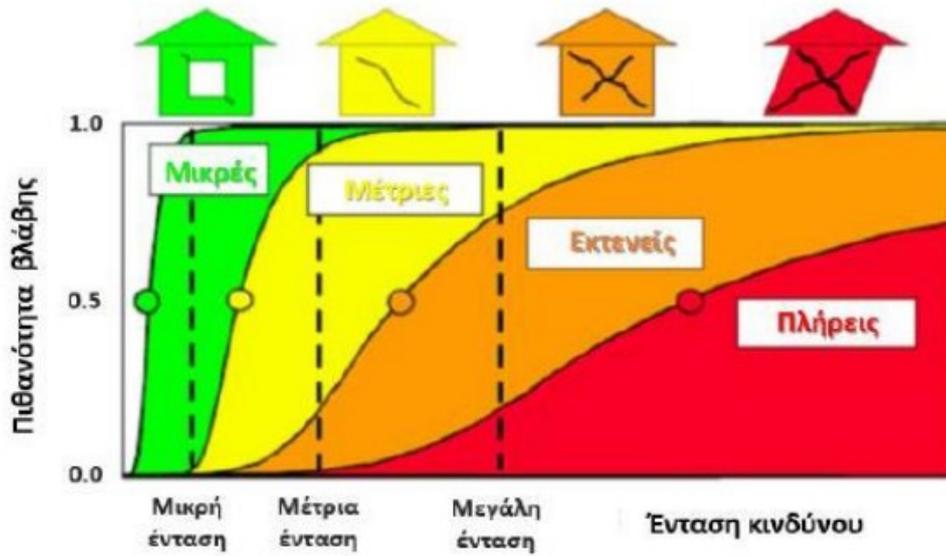
- P_0 (καθόλου) = $1,0 - P(ds \geq \text{μικρές})$
- P_1 (μικρές) = $P(ds \geq \text{μικρές}) - P(ds \geq \text{μέτριες})$
- P_2 (μέτριες) = $P(ds \geq \text{μέτριες}) - P(ds \geq \text{εκτενείς/πλήρεις})$
- P_3 (εκτενείς/πλήρεις) = $P(ds \geq \text{εκτενείς/πλήρεις})$

Το άθροισμα τους είναι ίσο με 1,00.

Στο παρακάτω σχήμα εικόνα 3.1.1 παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση των ενδεικτικών καμπυλών τρωτότητας για κτίρια.



Πίνακας 12: Παράδειγμα καμπύλων Τρωτότητας κτιρίων Ο/Σ



Πίνακας 13: Σχηματική απεικόνιση καμπύλων τρωτότητας για διάφορα επίπεδα βλάβης, (K.Pitilakis et.al,2018)

Συχνά οι καμπύλες τρωτότητας παρουσιάζονται ως λογαριθμοκανονικές συναρτήσεις σωρευτικής κατανομής δύο παραμέτρων, της διασπορά και της μέσης τιμής, για κάθε επίπεδο βλάβης. Η τρωτότητα στην υπόθεση των αγωγών καθορίζεται βάσει σχέσεων που συνδέουν το σεισμικό φορτίο με τον αριθμό επιδιορθώσεων ανά χιλιόμετρο (R.R/km): Repair Rate ανά km.

Για τις εδαφικές ταλαντώσεις, ο αριθμός επιδιορθώσεων ανά χιλιόμετρο (R.R/km) δίνεται από την σχέση O' Rourke & Ayala(1993).

$$R.R / km = K * (0,0001 * PGV^{2.25})$$

όπου

PGV(cm/sec): η μέγιστη εδαφική ταχύτητα

K : συντελεστής που αντιστοιχεί με το υλικό του αγωγού ,εύκαμπτος ή άκαμπτος

- K=0.3 , για εύκαμπτους αγωγούς (όπως PVC σωλήνες, χαλύβδινους σωλήνες κ.λπ.)
- K=1, για άκαμπτους αγωγούς που παρουσιάζουν ψαθυρή συμπεριφορά (όπως σωλήνες σκυροδέματος κ.λπ.)

Για τις μόνιμες μετακινήσεις, ο αριθμός επιδιορθώσεων ανά χιλιόμετρο δίνεται από την σχέση των Honnegger & Eguchi (1992).

$$R.R / km = K * (7,821 * PGD^{0.56})$$

όπου

PGD(m): η μέγιστη εδαφική μετακίνηση

K : συντελεστής που αντιστοιχεί με το υλικό του αγωγού

- K=0.3 , για αγωγούς με ελατή συμπεριφορά (όπως PVC σωλήνες, χαλύβδινους σωλήνες κ.λπ.)
- K=1, για αγωγούς με ψαθυρή συμπεριφορά (όπως σωλήνες σκυροδέματος κ.λπ.)

Το είδος των μόνιμων μετακινήσεων, οι οποίες υπάρχει περίπτωση να προέρχονται είτε από πλευρικές εξαπλώσεις είτε από καθιζήσεις, στην παραπάνω σχέση δεν διαχωρίζονται (Φωτοπούλου,2007).

Επίσης αναφέρονται δύο υποθέσεις επιπέδων αστοχίας στην περίπτωση των αγωγών, οι οποίες είναι η θραύση και η διαρροή. Η προσέγγιση των δύο καταστάσεων αστοχίας, εκτιμώντας εμμέσως με βάση την τυπολογία αγωγών σε ζώνες μόνιμων εδαφικών ταλαντώσεων ή εδαφικών παραμορφώσεων, χρησιμοποιείται και από το HAZUS 2004, τα συμπεράσμα ότι σε περιοχές με εδαφική ταλάντωση, στις θραύσεις οφείλεται το 20% των αστοχιών και στις διαρροές το 80%. Για τις μόνιμες εδαφικές παραμορφώσεις ισχύει το αντίθετο (Αλεξούδη Μ., Ρήγα κ Πιπιάκης, 2008).

3.2. Μέθοδοι Εκτίμησης Σεισμικής Τρωτότητας

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της τρωτότητας και την κατάρτιση καμπυλών τρωτότητας εμπίπτουν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες, οι οποίες είναι:

- Εμπειρικές (Empirical)
- Αναλυτικές (Analytical)
- Υβριδικές (Hybrid)
- Κρίσης των Ειδικών (Judgmental)

3.2.1. Εμπειρικές Προσεγγίσεις

Εφόσον υπάρχουν αξιόπιστα στατιστικά στοιχεία ζημιών σε κατασκευές που προκαλούνται από σεισμούς, αυτές οι μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα και γρήγορα, ώστε να εκτιμηθεί η αναμενόμενη έκταση της ζημιάς σε παρόμοιες

κατασκευές. Δεν χρησιμοποιούνται λεπτομερείς υπολογισμοί σε αυτές τις μεθόδους, επομένως είναι κατάλληλες για μεγάλα έργα ή κτίρια, όπου μια άλλη μέθοδος θα είχε ως αποτέλεσμα μια χρονοβόρα διαδικασία (Αποστόλου, 2012). Οι πιο κοινές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία καμπύλων ευθραυστότητας (τρωτότητας) για ηλεκτρονικά, μηχανικά και ηλεκτρικά εξαρτήματα, είναι οι εμπειρικές μέθοδοι, επειδή είναι σχετικά εύκολο να χρησιμοποιηθούν.

3.2.2. Αναλυτικές Προσεγγίσεις

Με βάση την βοήθεια των αναλυτικών προσομοιωμάτων είναι εφικτό να εκτιμηθεί η τρωτότητα και η σεισμική συμπεριφορά μιας κατασκευής, όπου χρειάζεται η συσχέτιση μεταξύ του υπολογισμένου μεγέθους απόκρισης και του βαθμού βλάβης για να μπορεί να εμφανίσει καμπύλες τρωτότητας. Οι αναλυτικές καμπύλες τρωτότητας βασίζονται σε δομικά μοντέλα που χαρακτηρίζουν τις ακραίες συμπεριφορικές καταστάσεις της κατασκευής. Συνάρτηση βασικών μεταβλητών είναι η συμπεριφορά κατασκευής. Αυτές οι μεταβλητές καθορίζουν τόσο την ικανότητα μιας κατασκευής να αντέχει φορτία όσο και τις απαιτήσεις αντοχής που πρέπει να έχει η κατασκευή.

Η αξιοπιστία της προσομοίωσης των κατασκευών, των εργαλείων της αριθμητικής ανάλυσης και οι αβεβαιότητες σε διάφορα στάδια, είναι οι βασικότερες αδυναμίες των συγκεκριμένων μεθόδων.

Η διαδικασία ανάλυσης περιλαμβάνει τα ακόλουθα βασικά βήματα:

- α) Προσδιορισμός της εισαγόμενης σεισμικής κίνησης,
- β) Προσομοίωση της κατασκευής,
- γ) Προσδιορισμός του δείκτη και της θέσης αστοχίας.

δ) Εκτίμηση της υπάρχουσας αβεβαιότητας (πχ για τις σεισμικές απαιτήσεις και την αντοχή της κατασκευής) και ορίζονται οι δείκτες και τον αριθμό των ελαττωματικών σταθμών βλάβης,

ε) Υπολογισμός της καμπύλης τρωτότητας, ο οποίος βασίζεται στα αποτελέσματα σεισμικής απόκρισης (είτε στη κατανομή δεικτών υλικές ζημιές στην κατασκευή-μοντέλο).

Η εργασία που μελετάμε, στην συγκεκριμένη διπλωματική, με το πρόγραμμα SAP ανήκει ουσιαστικά σε εφαρμογή Αναλυτικής μεθόδου, καθώς σε αυτήν εφαρμόζεται ένα μοντέλο δεξαμενής καθίζησης.

3.2.3. Προσεγγίσεις Κρίσης Ειδικών

Οι καμπύλες τρωτότητας που βασίζονται στην έμπειρη γνώμη των μηχανικών ή εμπειρογνομόνων αναφέρονται ως η μέθοδος της «κρίσης των Ειδικών». Η σεισμική συμπεριφορά κατασκευών διαφορετικής τυπολογίας για την εξαγωγή συμπερασμάτων βασίζονται στην έμπειρη κρίση των μηχανικών. Το αποτέλεσμα της δημιουργίας μητρώων πιθανότητας βλάβης και ο προσδιορισμός καμπυλών τρωτότητας για κάθε τυπολογική κατηγορία, περιλαμβάνει την στατιστική επεξεργασία της «κρίσης» έμπειρων μηχανικών για την συμπεριφορά της δομής. Επιπλέον, σε συνδυασμό με τις εμπειρικές μεθόδους, μπορούν να χρησιμεύσουν για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των αναλυτικών μεθόδων.

3.2.4. Υβριδικές Προσεγγίσεις

Αποτελούν συνδυασμό των παραπάνω ,δηλαδή δύο ή περισσότερων από τις τρεις προσεγγίσεις για την ανάπτυξη καμπυλών τρωτότητας, καθώς χρησιμοποιούνται εμπειρικά δεδομένα ή πειραματικά αποτελέσματα από προηγούμενους σεισμούς για

την βελτίωση των σχέσεων που προέκυψαν βασισμένα στην κρίση ή σε μεθόδους αναλυτικές. Αποτέλεσμα της μεθόδου είναι η αντιστάθμιση των αδυναμιών των αναλυτικών προσομοιωμάτων, της υποκειμενικότητας των μεθόδων βασιζόμενη στην έμπειρη κρίση και της έλλειψης εμπειρικών δεδομένων. Μία προσέγγιση από τους πολλούς τρόπους εφαρμογής μιας υβριδικής προσέγγισης, είναι η κατασκευή καμπύλης τρωτότητας χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση για ένα τμήμα φορτίου και διαφορετική προσέγγιση στο υπόλοιπο τμήμα του φορτίου. Επίσης άλλη μια δυνατότητα χρησιμοποιεί αναλυτικές προσεγγίσεις ή προσεγγίσεις κρίσης, με παρατηρησιακά δεδομένα, έχοντας δημιουργηθεί ο συνδυασμός των καμπυλών τρωτότητας.

3.3. ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

3.3.1. Ερευνητικές Μέθοδοι για την Εκτίμηση σεισμικών Απωλειών

Στο παρελθόν έχει διεξαχθεί μεγάλο εύρος των ερευνητικών εργασιών, οι οποίες πραγματεύονται τα ζητήματα ευπάθειας με τεκμηριωμένες αναλύσεις, και με απώτερο στόχο τις αξιόπιστες εκτιμήσεις μελλοντικών σεισμικών ζημιών σε κατασκευές. Αναλύουν και μελετούν πολλούς παράγοντες, οι οποίοι λαμβάνονται κατά περίπτωση ως αιτία ευθραυστότητας και βλάβης, με τελικό στόχο να καταγραφεί μελλοντική απώλεια κτιριακού αποθέματος και ανθρώπινου δυναμικού.

Οι μέθοδοι εκτίμησης των σεισμικών απωλειών και της τρωτότητας εμπίπτουν σε δύο σημαντικές κατηγορίες (τις κτιριακές και τις χωρικές), ανάλογα με το αντικείμενο που χειρίζονται (πχ το κτίριο προς μελέτη) ή την έκταση της προς ανάλυση περιοχής. Οι κτιριακές προσπαθούν να προσδιορίσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις εκτιμώμενες αναμενόμενες απώλειες σε μια συγκεκριμένη κατασκευή που βρίσκεται σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, όπως πχ σε μια συγκεκριμένη πόλη, ενώ οι χωρικές προσπαθούν να προσδιορίσουν τις αναμενόμενες σεισμικές απώλειες για

έναν επαρκή αριθμό κατασκευών εντός μιας συγκεκριμένης περιοχής, όπως πχ εντός των ορίων της πόλης ή μιας περιφέρειας κλπ.

Κατόπιν του προσδιορισμού της σεισμικής επικινδυνότητας του αντικείμενου του οποίου μελετάμε, η τρωτότητα εκτιμάται από τις καμπύλες τρωτότητας ή από Μητρώα πιθανοτήτων βλάβης. Δίνεται έμφαση ότι αν γίνει αποδεκτή η γραμμικότητα της μακροσκοπικής σεισμικής έντασης, αυτές οι δύο μέθοδοι πρακτικώς μπορούν να ταυτιστούν. Όμως μια τέτοια παραδοχή δεν μπορεί να τεκμηριωθεί θεωρητικά.

3.3.2. Εκτιμήσεις σεισμικών απωλειών σε ομάδες κτιρίων με παρόμοια χαρακτηριστικά

Οι εκτιμήσεις των σεισμικών απωλειών σε κτίρια έχουν ως επίκεντρο μελέτης συγκεκριμένες περιοχές ή συγκεκριμένους τύπους κτιρίων. Με την εκτίμηση αυτή αναδεικνύεται η τρωτότητα του αντικείμενου της μελέτης (πχ του συγκεκριμένου κτιρίου ή περισσότερων κτιρίων) και προκύπτει ο βαθμός των πιθανών απωλειών από ενδεχόμενο σεισμό. Περιλαμβάνουν συνήθως την ανάλυση των κτιρίων, την αξιολόγηση των δομικών χαρακτηριστικών της υπό μελέτη κατασκευής, έχοντας ως δεδομένο συγκεκριμένη εδαφική επιτάχυνση. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μεθόδου δεν είναι ευρέως επεκτάσιμα, λόγω των παραδοχών και των ιδιομορφιών της μεθοδολογίας, ακόμη και για κτίρια με παρόμοια χαρακτηριστικά. Το κοινό ζητούμενο της μελέτης για την συγκεκριμένη κατηγορία κτιρίων, για τα οποία θα υποστούν έναν αναμενόμενο σεισμό, είναι η εκτίμηση των οικονομικών απωλειών.

Η προσέγγιση που εφαρμόζεται στις μελέτες αυτές ως τυπικό παράδειγμα είναι η ανάλυση ψηλών κτιρίων σε μια ντετερμινιστική προσπάθεια αξιολόγησης, εντοπισμού και συσχέτισης των παραμέτρων κίνησης του εδάφους με τα δομικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, με αποτέλεσμα ένα μοντέλο εκτιμώμενης οικονομικής απώλειας (Scholl, 1979). Ως αφετηρία είναι οι βάσεις δεδομένων προηγούμενων συμβάντων, και καταγραφών της κίνησης του εδάφους (οι οποίες έχουν διατυπωθεί για κτίρια

ποικίλων τυπολογιών και υψών), και δημιουργούνται σχέσεις κίνησης εδάφους-βλαβών για συγκεκριμένους τύπους κτιρίων. Αυτές οι σχέσεις στη συνέχεια προσαρμόζονται και επεκτείνονται σε ψηλά κτίρια που υπολογίζουν την μέγιστη απόκριση του κτιρίου υπό τις συνθήκες σεισμικής διέγερσης. Στη συνέχεια, καθορίζεται το ποσοστό κόστους αντικατάστασης για όλες τις κατηγορίες βλαβών, συμπεριλαμβανομένων των μη δομικών και δομικών αστοχιών και αποδίδεται μια οικονομική αξιολόγηση των σχέσεων σεισμικής διέγερσης και βλαβών κτιρίου-. Τελικά η συνολική επίπτωση του σεισμού στο κτίριο υπολογίζεται ως το οικονομικό άθροισμα των επιμέρους ζημιών.

Ο Gunturi (1993) κινήθηκε σε μια παρόμοια προσέγγιση για να προσπαθήσει να υπολογίσει με ακρίβεια την αναμενόμενη οικονομική ζημιά ενός κτιρίου, το οποίο υπόκειται σε σεισμικές φορτίσεις (δονήσεις), συγκεκριμένων χαρακτηριστικών μεγεθών. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει σε αρχικό στάδιο την καταγραφή και την ανάλυση των μη δομικών και δομικών μελών του φορέα, όπως επίσης και του περιεχόμενου φέροντος εξοπλισμού του κτιρίου, προκειμένου να καθοριστούν οι ανάγκες σε επίπεδο ζημίας, ανά κτηριακές στάθμες κατά την διεξαγωγή των επόμενων βημάτων της μεθοδολογίας του. Συγκεκριμένα, για να προσδιοριστεί ο δείκτης αστοχίας των μη δομικών στοιχείων του κτιρίου πραγματοποιείται η λήψη δεικτών βλάβης, τόσο η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, όσο και η σχετική μετατόπιση ορόφων. Ως δείκτης βλάβης χρησιμοποιείται και ο κινητός εξοπλισμός, σύμφωνα με τους Park & Ang,(1985) ,ενώ αντίστοιχα για τον προσδιορισμό των δεικτών των δομικών στοιχείων του κτιρίου χρησιμοποιείται η μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας του φορέα. Έπειτα, στο τελικό στάδιο, η συνολική οικονομική απώλεια του κτιρίου προσδιορίζεται με τη λειτουργική του απώλεια η οποία προκύπτει, και το αποτέλεσμα είναι το άθροισμα των ποσοστών που αντιστοιχούν στη λειτουργική απώλεια σε κάθε επιμέρους επίπεδο, το οποίο υπολογίζεται με βάση τους προαναφερθέντες δείκτες αστοχίας.

Το σημαντικότερο μειονέκτημα της εκτίμησης της σεισμικής τρωτότητας στα κτίρια είναι ότι παραβλέπεται η αβεβαιότητα που διέπει την επιτάχυνση του εδάφους κατά τη

διάρκεια του σεισμού, για την εκτίμηση των πιθανών απωλειών (Singhal & Kiremidjian, 1996).

Ξεκινώντας από προσομοιώσεις Monte Carlo, αναπτύσσονται σχέσεις που συνδέουν την κίνηση του εδάφους με τρεις αναμενόμενες ζημίες πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος, οι οποίες χωρίζονται ως εξής: η πρώτη αντιπροσωπεύει κτίρια χαμηλού ύψους (1-3 ορόφους) , η δεύτερη κτίρια μεσαίου μεγέθους (4-7 ορόφους) και η τρίτη πολυώροφα κτίρια (με περισσότερους από 8 ορόφους). Σύμφωνα με τους Park and Ang (1985), σε αυτήν την περίπτωση προσδιορίστηκε ο δείκτης αστοχίας και η ανάλυση τελικά δημιούργησε πίνακες πιθανοτήτων βλάβης (DPM) και καμπύλες τρωτότητας για κάθε τύπο κτιρίου.

Η διερεύνηση επιρροής των αβεβαιοτήτων κατά την εκτίμηση σεισμικών απωλειών, συνεχίστηκε από τους Porter and Kiremidjian (2001), με την χρήση μιας μεθοδολογίας αθροιστικής εκτίμησης σεισμικών απωλειών, η οποία προσέφερε έρευνα μεγαλύτερου εύρους για τις πηγές των αβεβαιοτήτων σε σύγκριση με προηγούμενες ερευνητικές εργασίες. Η διαφορά είναι ότι στο μοντέλο που αναλύθηκε, εξετάστηκε η μεταβλητότητα των εδαφικών κινήσεων κατά την διάρκεια σεισμών, με την ενσωμάτωση πολλών θεμάτων αβεβαιότητας και επιταχυνσιογραφημάτων. Επιπλέον, για την διατύπωση πιθανοτικών συναρτήσεων τρωτότητας, μέσω των οποίων εκτιμήθηκαν οι στατιστικοί παράμετροι του κόστους αποκατάστασης του κτιρίου συναρτήσει της κίνησης του εδάφους, έγινε και εδώ χρήση προσομοίωσης Monte Carlo. Σημειώνεται ότι οι εν λόγω παράμετροι υποβλήθηκαν σε απλοποιημένη ανάλυση ευαισθησίας , έτσι ώστε να εξακριβωθεί το μέγεθος επιρροής τους επί του συνολικού κόστους αποκατάστασης του μελετώμενου κτιρίου.

3.3.3. Εκτιμήσεις σεισμικών απωλειών χωρικά

Το συγκεκριμένο είδος έρευνας έχοντας ως αφετηρία την προηγούμενη κατηγορία ερευνητικών εργασιών, το πεδίο εφαρμογής τους επεκτείνεται έτσι ώστε να

περιλαμβάνουν την εκτίμηση σεισμικών απωλειών, όχι όμως για μεμονωμένα κτίρια αλλά για μια ομάδα κτιρίων που καταλαμβάνουν ευρύτερο χώρο. Τις πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα η εν λόγω μεθοδολογία είχε ως έναυσμα κάποιες ερευνητικές εργασίες οι οποίες όφειλαν την ύπαρξη τους στην ικανοποίηση των αναγκών ασφαλιστικών εταιρειών να λαμβάνουν διαρκώς αξιόπιστες αξιολογήσεις των αναμενόμενων οικονομικών απωλειών, συνεπώς και των οφειλόμενων οικονομικών αποζημιώσεων προς τους δικαιούχους σε περίπτωση σεισμού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας τέτοιας εργασίας είναι οι πρόχειρες εκτιμήσεις των πιθανών μέσων σεισμικών απωλειών για διαφορετικές περιοχές και τύπους κτιρίων, με βάση σεισμικά δεδομένα (Freeman, 1932).

Το κύριο μεθοδολογικό χαρακτηριστικό της πλειοψηφίας των μεταγενέστερων εργασιών αποτέλεσε η Πιθανοτική φύση αυτών των εκτιμήσεων, όπως είναι των Steinbrugge et al. (1969) και Whitman et al (1973). Οι δύο αυτές περιπτώσεις τελικά οδηγήθηκαν στην ανάπτυξη Πινάκων Πιθανότητας Βλάβης (DPM) μελετώντας το θέμα των απωλειών. Στην πρώτη εργασία των Steinbrugge et al. (1969) ως αρχικά δεδομένα, για την ανάπτυξη του μοντέλου, χρησιμοποιήθηκαν διάφορα στατιστικά κτηριολογικά δεδομένα, όπως το είδος των τοιχοπληρώσεων, ο τύπος θεμελίωσης, το κόστος κατασκευής, η χρονολογία κατασκευής καθώς επίσης και η περιοχή. Για την απεικόνιση των δεδομένων αυτών, απεικονίστηκαν με την μορφή πίνακα, ο οποίος συσχέτισε 24 τυπολογίες κτιρίων με τιμές έντασης της Τροποποιημένης Κλίμακας Mercalli (MMI), με αυτόν τον τρόπο παρέχονταν για κάθε ζεύγος στοιχείων ένας δείκτης ζημίας και ένα αντίστοιχο ποσοστό βλάβης, με βάση τα οποία καθιστούσε δυνατό να εκτιμηθεί το ποσό της ασφαλιστικής αποζημίωσης ανάλογα με το αντίστοιχο ποσοστό ζημίας, κάθε τύπου κτιρίου. Ομοίως, στην δεύτερη εργασία των Whitman et al (1973) οι ερευνητές ανέλυσαν πενταώροφα κτίρια πλαισιακών φορέων με υλικό από μέταλλο, οπλισμένο σκυρόδεμα είτε με την ύπαρξη τοιχωμάτων, προς συσχέτισμό των ποσοστών ζημίας με τις τιμές της κίνησης του εδάφους, σύμφωνα με την Τροποποιημένη Κλίμακα Mercalli (MMI).

Τα χρόνια που ακολούθησαν, σταδιακά οδήγησε η ανάγκη τεκμηρίωσης της προβλεπόμενης απώλειας σε χωρικό επίπεδο, στην ομαδοποίηση μεθόδων και στην συστηματική επεξεργασία των προγενέστερων μεμονωμένων εργασιών. Οι περισσότερες προσπάθειες επικεντρώθηκαν στη συσχέτιση ποικίλων τύπων κτιρίων (ως αρχικό δεδομένο του προβλήματος) με το αντίστοιχο κόστος αντικατάστασης κάθε ομαδοποιημένης περίπτωσης κτιρίων (σύμφωνα με τη τυπολογία τους) και αποτέλεσαν τα τελικά παραγόμενα. Αναπτύσσονται τα κατάλληλα γραφήματα, όπου εμπεριέχουν τιμές έντασης στην κατασκευή (αξονικές, τέμνουσες και ροπές), λόγω της κίνησης του εδάφους. Η μέθοδος αναλύθηκε και τεκμηριώθηκε περαιτέρω με τη μεθοδολογία της κρίσης των ειδικών, σε κάποιες περιπτώσεις (ATC-13, 1985). Εκτός από τα κτίρια που χρησιμοποιούνται συνήθως για κατοικίες, η μέθοδος επεκτείνεται ώστε να συμπεριλάβει κτίρια για εμπορικούς, βιομηχανικούς και άλλους σκοπούς, καθώς και διάφορες υποδομές. Έτσι στην περιοχή Καλιφόρνια, αναπτύχθηκε μια βάση δεδομένων από Πίνακες Πιθανότητας Βλάβης από 78 τύπους κτιρίων, μέσω των οποίων υπολογίζονται ο απαιτούμενος χρόνος αποκατάστασης και οι αντίστοιχες οικονομικές απώλειες κάθε υποδομής σε χωρικό επίπεδο (προσεισμικά, και ως εκτίμηση για την μετασεισμική περίοδο).

Αρχικά οι προσπάθειες που έγιναν με τον Κανονισμό FEMA-177 (1989) και ακολούθως με τον Κανονισμό FEMA-249 (1994) ήταν ως επέκταση της παραπάνω φιλοσοφίας, οι οποίες αποσκοπούσαν να τυποποιήσουν την διαδικασία εκτίμησης σεισμικών ζημιών σε χωρικό (συγκεκριμένα εθνικό) επίπεδο στο μέγιστο βαθμό. Ως αποτέλεσμα, βελτιστοποιείται η αξιοπιστία και η συνέπεια των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας. Η συνεκτίμηση των ποικίλων αβεβαιοτήτων που συνδέονται με το σεισμικό κίνδυνο, αποτελούν νέο στοιχείο των δύο κανονισμών, οι οποίες και αγνοούνται από τις άλλες, μέχρι τότε αναπτυχθείσες μεθοδολογίες.

3.3.4. Οι Περιορισμοί κατά την Εκτίμηση Σεισμικών Απωλειών

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των προαναφερθεισών εμπειρικών μεθόδων είναι η θέσπιση επαρκούς αριθμού υποθέσεων και απλοποιήσεων οι οποίες έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων σε σχέση με τις αναλυτικές μεθόδους, περιορίζοντας έτσι το εύρος τους. Αυτές οι παραδοχές ορίζονται κυρίως λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την κατασκευή του μοντέλου και της περιορισμένης υπολογιστικής ισχύος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την ανάλυση των εκτιμήσεων ζημιών χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο επιλεγμένο ειδικό λογισμικό για κάθε περίπτωση.

Οι κύριες παραδοχές και απλοποιήσεις της διαδικασίας ανάλυσης περιλαμβάνουν:

- Την σοβαρότητα της δομικής βλάβης των στοιχείων, που συνήθως χαρακτηρίζεται από μια ταξινόμηση κάποιου συγκεκριμένου πλήθους επίπεδων ζημίας, με ένα εύρος τιμών και μεταξύ τους διακριτά όρια.
- Την ύπαρξη και την διαθεσιμότητα των εκτιμήσεων της εδαφικής κίνησης και των σεισμικών μετρήσεων, καθώς πολλές φορές δεν παίρνουν υπόψη τους άλλους παράγοντες όπως πχ τις γεωλογικές συνθήκες του υπεδάφους ή την μεταβλητότητα της κίνησης του εδάφους λόγω της απόστασης.
- Την ύπαρξη της διαθεσιμότητας των πληροφοριών για την τρωτότητα του αναλυόμενου αντικειμένου (πχ της κατασκευής), λαμβάνοντας υπόψη ότι μέχρι τώρα, για τους περισσότερους τύπους κτιρίων, δεν υπάρχουν καμπύλες τρωτότητας και διαθέσιμες αναλυτικές συναρτήσεις.
- Το επίπεδο ανάλυσης των διαφόρων βάσεων δεδομένων, για κτίρια μιας περιοχής, η οποία καθορίζει γεωγραφικές ενότητες με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά κτιρίων είτε της περιοχής. Την ταξινόμηση των κτιρίων που αναλύονται στην ίδια κατηγορία (έχοντας την ίδια τυπολογία), η οποία πραγματοποιείται με βάση την παραδοχή ότι όλα αυτά τα κτίρια ικανοποιούν τα ίδια κριτήρια ένταξης τους στην συγκεκριμένη κατηγορία και η ζημία που αναμένεται να εμφανιστεί σε ένα σεισμικό συμβάν θα ταυτίζεται με τη ζημία που θα υποστεί όλη η κατηγορία, στην οποία ανήκουν.

3.4. Λογισμικά Σεισμικής Τρωτότητας (Εκτίμησης Απωλειών)

Ο υπολογισμός των απωλειών κάθε είδους και σοβαρότητας επιπτώσεων, εκτός από την επιλεγμένη μέθοδο, σε σχέση με τις σεισμικές δονήσεις, προϋποθέτει τη διαθεσιμότητα ειδικού τύπου λογισμικού, για την κάθε περίπτωση επίλυσης με δεδομένα τα σεισμικά χαρακτηριστικά, τη κίνηση του εδάφους, τον τύπο της κατασκευής (ή της ομάδας κατασκευών) και την τρωτότητα της που ήδη αναλύθηκαν από προηγούμενες μελέτες. Τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται ανεξάρτητα είτε εφόσον αφορούν χωρική ανάλυση, μπορούν να ενσωματωθούν σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), στις περισσότερες από τις περιπτώσεις.

Τα «Λογισμικά Ανοικτού Κώδικα» (OSS- Open Source Software), είναι λογισμικά που χρησιμοποιούνται αρκετά σήμερα, για διάφορα προβλήματα (πχ της εκτίμησης ζημιών), η χρήση των οποίων είναι απεριόριστη είτε με κάποιου είδους άδεια ή περιορισμό. Χάρη στους κωδικούς πρόσβασης και έρευνας, οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται, έχουν σχεδιαστεί για να κάνουν δυνατές τις αλλαγές στα δεδομένα ώστε να βρίσκονται ταχέως τα αποτελέσματα της επίλυσης. Συνήθως δε παρέχεται στον χρήστη, η δυνατότητα συνεχούς βελτίωσης της αξιοπιστίας του λογισμικού και διευκολύνεται η διάδοσή του από ενδιαφερόμενους χρήστες.

Τα «Λογισμικά Κλειστού Κώδικα» είναι λογισμικά ελεύθερα στη χρήση, σε αντίθεση με τα λογισμικά ανοιχτού κώδικα. Τα λογισμικά αυτά στις περισσότερες περιπτώσεις διατίθενται δωρεάν, αλλά συνήθως δεν δίνεται η δυνατότητα αλλαγής αλγορίθμου τους. Επομένως, τα λογισμικά μπορούν να ταξινομηθούν σε εμπορικά(με χρήση δηλαδή επί πληρωμή), δωρεάν χρήσης (κατόπιν σχετικού αιτήματος), ελεύθερης διανομής (αλλά κλειστού κώδικα) και τέλος ανοιχτού κώδικα, ανάλογα με την δέσμευση που διέπει τη διάθεση και την χρήση τους.

Τα πιο διαδεδομένα σήμερα θεωρούνται τα ελεύθερα διανομής λογισμικά από τις παραπάνω κατηγορίες. Στο πανεπιστημιακό περιβάλλον δημιουργούνται και εξελίσσονται τέτοιου είδους λογισμικά, τα περισσότερα εκ των οποίων συχνά υπόκεινται σε νομικούς κανόνες. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη επίσης ο μικρός

αριθμός των χρηστών που χειρίζεται το λογισμικό. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση η απόκτηση τους και τη χρήση τους καθίσταται απαγορευτικά ακριβή.. Ανεξάρτητα από την τιμή, κάποιοι παράγοντες που επηρεάζουν την ευρύτητα της διάδοσης και χρήσης του λογισμικού εκτίμησης ζημιών σχετίζεται με την ευκολία στην διαθεσιμότητα του, ειδικά αν μπορεί να γίνει λήψη διαδικτυακά, σε αντίθεση με άλλα λογισμικά καθώς και το φάσμα της διαθέσιμης τεκμηρίωσης αυτών.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΕΣΤΙΑΣΗ

ΧΩΡΙΚΑ

3.4.1. Μεθοδολογία HAZUS

Τα παραπάνω δύο κανονιστικά κείμενα FEMA-177 (1989) και FEMA-249 (1994) είναι η βάση για την ανάπτυξη της μέχρι σήμερα τυποποιημένης μεθόδου, για την εκτίμηση των σεισμικών απωλειών στο χωρικό επίπεδο, καθιερωμένο με το όνομα HAZUS (Whitman et al, 1973; Kircher et al, 1997). Η καινοτομία της μεθόδου είναι η μέτρηση της έντασης της εδαφικής μετακίνησης που δεν χρησιμοποιείται πλέον με τιμές ποιοτικές όπως η κλίμακα Mercalli (MMI), αλλά με ποσοτικοποιημένες τιμές (κυρίως μέσω της ελαστικής φασματικής επιτάχυνσης ή ταχύτητας). Αυτή η αλλαγή πηγάζει από τις προσπάθειες μείωσης της εμπειρικής κρίσης ως αντίκτυπο στη μέθοδο ATC-13 (1985), η οποία με τις παραδοχές της επηρεάζει σε αυξημένο βαθμό τα παραγόμενα αποτελέσματα. Επιπλέον, πραγματοποιούνται προσπάθειες για την πιο ρεαλιστική εξέταση και των δυο κανονισμών με διάφορες συνεκτιμήσεις των αβεβαιοτήτων, ειδικά αυτών που σχετίζονται με την σεισμική επικινδυνότητα.

Στο παρακάτω Πίνακα του σχήματος 3.3.1 δίνονται οι τύποι κτιρίων κατά τη μέθοδο HAZUS (HAZUS MH, 2003).

No.	Label	Description	Height			
			Range		Typical	
			Name	Stories	Stories	Feet
1	W1	Wood, Light Frame ($\leq 5,000$ sq. ft.)		1 - 2	1	14
2	W2			All	2	24
		Wood, Commercial and Industrial ($> 5,000$ sq. ft.)				
3	S1L	Steel Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
4	S1M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
5	S1H		High-Rise	8+	13	156
6	S2L	Steel Braced Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
7	S2M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
8	S2H		High-Rise	8+	13	156
9	S3	Steel Light Frame		All	1	15
10	S4L	Steel Frame with Cast-in-Place Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
11	S4M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
12	S4H		High-Rise	8+	13	156
13	S5L	Steel Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
14	S5M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
15	S5H		High-Rise	8+	13	156
16	C1L	Concrete Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	20
17	C1M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
18	C1H		High-Rise	8+	12	120
19	C2L	Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
20	C2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
21	C2H		High-Rise	8+	12	120
22	C3L	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
23	C3M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
24	C3H		High-Rise	8+	12	120
25	PC1	Precast Concrete Tilt-Up Walls		All	1	15
26	PC2L	Precast Concrete Frames with Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
27	PC2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
28	PC2H		High-Rise	8+	12	120
29	RM1L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Wood or Metal Deck Diaphragms	Low-Rise	1-3	2	20
30	RM1M		Mid-Rise	4+	5	50
31	RM2L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Precast Concrete Diaphragms	Low-Rise	1 - 3	2	20
32	RM2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
33	RM2H		High-Rise	8+	12	120
34	URML	Unreinforced Masonry Bearing Walls	Low-Rise	1 - 2	1	15
35	URMM		Mid-Rise	3+	3	35
36	MH	Mobile Homes		All	1	10

Πίνακας 14: Τυπολογίες κτιρίων βάση της μεθοδολογίας HAZUS

Οι βασικές αρχές της μεθόδου στοχεύουν στην εκτίμηση των βλαβών με τον υπολογισμό των απωλειών στις κατασκευές, χρησιμοποιώντας δεδομένα, αποτελέσματα ανάλυσης και συμπεράσματα σεισμικής συμπεριφοράς από συνολικά 36 κατηγορίες πρότυπων κτιρίων και 33 αντίστοιχες κατηγορίες χρήσης. Ο τύπος της ανάλυσης (στο πλαίσιο της ανάπτυξης και της τελειοποίησης της μεθόδου) καθορίζεται από το ύψος του κτιρίου και από τον δομικό τύπο του φέροντα οργανισμού (συμπεριλαμβανομένων ξύλινων κατασκευών, κατασκευών από σκυρόδεμα, ήμέταλλο είτε φέρουσες τοιχοποιίες). Το αποτέλεσμα είναι η εκτίμηση των

ζημιών στη κατασκευή και η συνακόλουθη απώλειας λειτουργίας. Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζεται οι διάφορες κατηγορίες χρήσεων βάση της μεθοδολογίας HAZUS (HAZUS MR4, 2003).

Label	Occupancy Class	Example Descriptions
	Residential	
RES1	Single Family Dwelling	House
RES2	Mobile Home	Mobile Home
RES3	Multi Family Dwelling RES3A Duplex RES3B 3-4 Units RES3C 5-9 Units RES3D 10-19 Units RES3E 20-49 Units RES3F 50+ Units	Apartment/Condominium
RES4	Temporary Lodging	Hotel/Motel
RES5	Institutional Dormitory	Group Housing (military, college), Jails
RES6	Nursing Home	
	Commercial	
COM1	Retail Trade	Store
COM2	Wholesale Trade	Warehouse
COM3	Personal and Repair Services	Service Station/Shop
COM4	Professional/Technical Services	Offices
COM5	Banks	
COM6	Hospital	
COM7	Medical Office/Clinic	
COM8	Entertainment & Recreation	Restaurants/Bars
COM9	Theaters	Theaters
COM10	Parking	Garages
	Industrial	
IND1	Heavy	Factory
IND2	Light	Factory
IND3	Food/Drugs/Chemicals	Factory
IND4	Metals/Minerals Processing	Factory
IND5	High Technology	Factory
IND6	Construction	Office
	Agriculture	
AGR1	Agriculture	
	Religion/Non/Profit	
REL1	Church/Non-Profit	
	Government	
GOV1	General Services	Office
GOV2	Emergency Response	Police/Fire Station/EOC
	Education	
EDU1	Grade Schools	
EDU2	Colleges/Universities	Does not include group housing

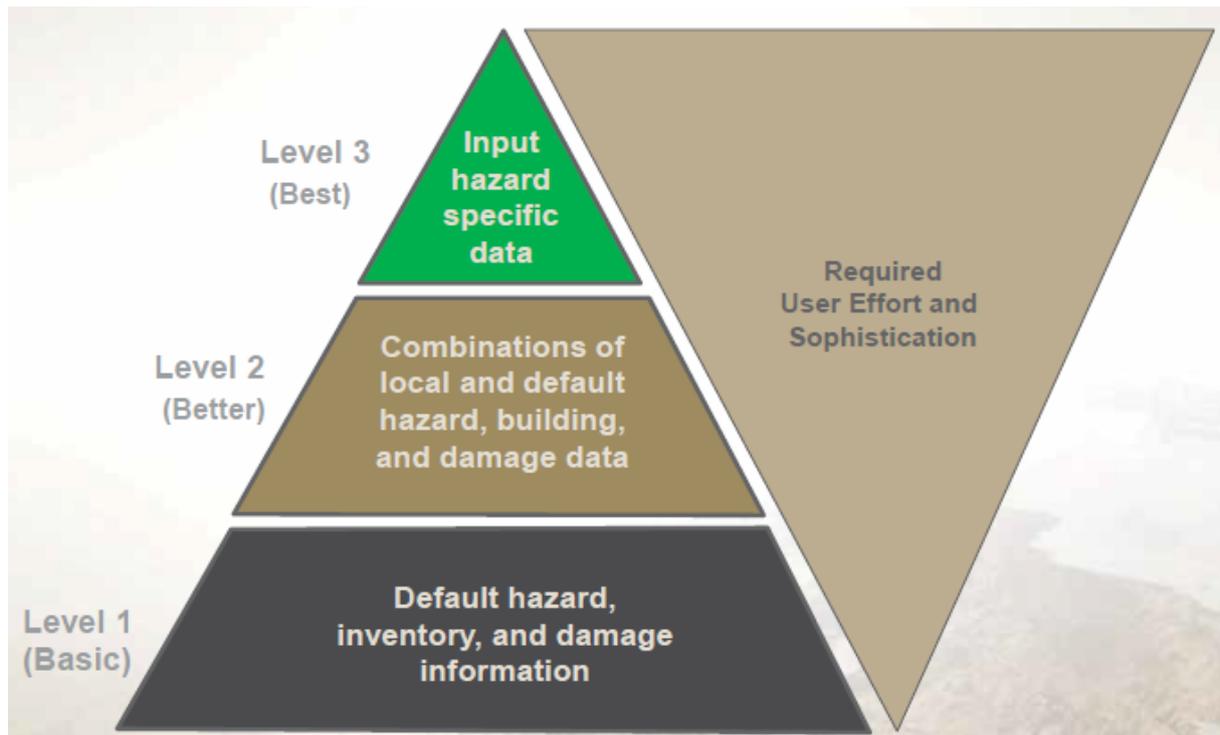
Πίνακας 15: Διάφορες κατηγορίες χρήσεων βάση της μεθοδολογίας HAZUS

Επιπλέον, στην τυπολογία των κατασκευών συμπεριλαμβάνονται διάφορες κατηγορίες χρήσης (όπως βιομηχανικά κτίρια, κτίρια κατοικίας, εμπορικά κτίρια, κτίρια επαγγελματικής στέγης κ.λπ.). Η τυπολογία τους με βάση τη χρήση σχετίζεται με την εκτίμηση των οικονομικών απωλειών, με βάση τη σημασία του κτιρίου και τις προδιαγραφές ποιότητας του εξοπλισμού που εμπεριέχεται σε αυτά.

3.4.2. HAZUS-MH

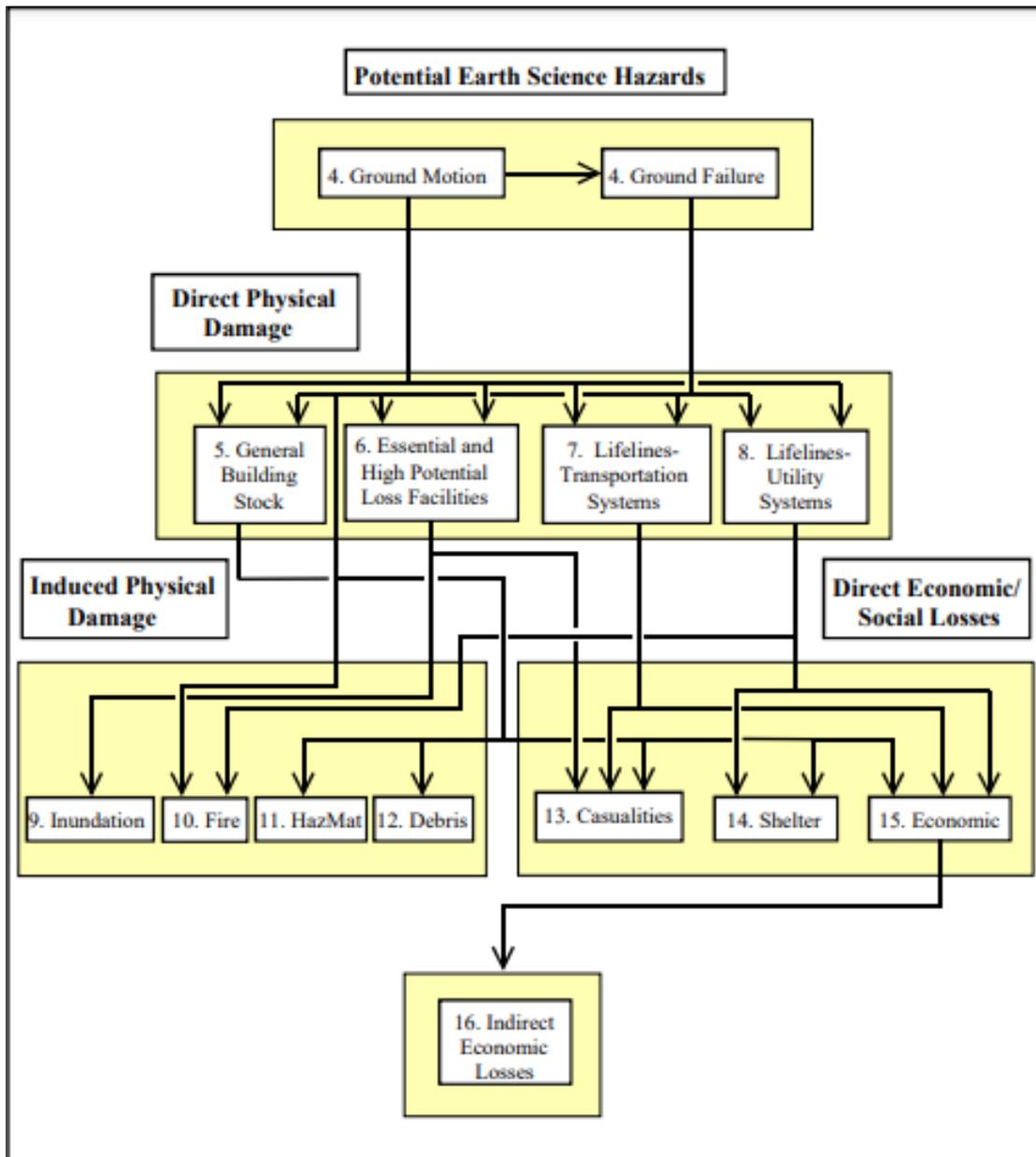
Το μοντέλο σεισμού HAZUS-MH, είναι μια σύγχρονη προσέγγιση λογισμικού αξιολόγησης φυσικών καταστροφών, για χρήση από τοπικές, κρατικές και περιφερειακές κυβερνήσεις στο σχεδιασμό για τον μετριασμό του σεισμικού κινδύνου ως προς την έκτακτη ανάγκη που δημιουργείται (πρόληψη, ετοιμότητα, αντιμετώπιση και ανασυγκρότηση). Αυτή η μεθοδολογία έχει ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών τύπων απωλειών και ασχολείται με όλες σχεδόν τις πτυχές της κατασκευής που την περιβάλλουν. Το HAZUS-MH βασίζεται σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών το οποίο αναπτύχθηκε και διανέμεται ελεύθερα από την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Διαχείρισης Έκτακτης Ανάγκης (FEMA), με τη συνεργασία του Εθνικού Ινστιτούτου Οικοδομικών Επιστημών (National Institute of Building Sciences-NIBS). Έτσι, μπορεί να εφαρμοσθεί με τις ίδιες τυποποιημένες παραμέτρους, στο σύνολο των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής.

Εμπίπτει στην κατηγορία του λογισμικού κλειστού κώδικα και απευθύνεται κυρίως σε κρατικούς ή τοπικούς φορείς, καθώς επίσης και σε ιδιώτες χρήστες. Δημιουργεί χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας και ζημιών με την δυνατότητα να μπορούν να αναλυθούν σε τρία επίπεδα πολυπλοκότητας, χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα GIS (HAZUS-MH, 2003). Το επίπεδο 1 χρησιμοποιεί υπάρχοντα δεδομένα εθνικής βάσης που είναι διαθέσιμα στο λογισμικό. Το επίπεδο 2 αποδέχεται την τροποποίηση των δεδομένων ή την εισαγωγή νέων, τοπικών ιδιαίτερων δεδομένων, ώστε ο κάθε χρήστης να μπορεί να εισάγει περισσότερα γεωγραφικά και εξειδικευμένα δεδομένα (εφόσον υπάρχουν). Επιπλέον το τελικό επίπεδο 3, δηλ. το επίπεδο ανάλυσης, όπου παρέχει στο χρήστη μεγάλο βαθμό ανεξαρτησίας, επιτρέποντάς του να αξιοποιήσει ειδικές γνώσεις και τεχνικές για την ανάλυση και μελέτη ειδικών φαινομένων, όπως για παράδειγμα τη θραύση ενός φράγματος.



Πίνακας 16: Επίπεδα Χρήστη, (HAZUS-MH, 2014).

Το HAZUS-MH ενσωματώνει εκτεταμένες εθνικές βάσεις δεδομένων της Αμερικής, οι οποίες περιλαμβάνουν πληροφορίες όπως τετραγωνικά μέτρα για διαφορετικές περιοχές κτιρίων και αριθμητικά δεδομένα, τις θέσεις των γεφυρών, καθώς και δημογραφικές πτυχές του πληθυσμού. Οι ενσωματωμένες παράμετροι οι οποίες συμπεριλήφθηκαν στο πρόγραμμα, είναι πολύτιμες για την περίπτωση εισαγωγής δεδομένων (πέραν των Αμερικανικών). Οι χρήστες πραγματοποιούν γενικές εκτιμήσεις βλαβών σε μια περιοχή, χάρη στα δεδομένα που εισάγονται στο πρόγραμμα.



Σφάλμα!

Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο.

Πίνακας 17: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας εκτίμησης σεισμικών απωλειών

Το παραπάνω σχήμα της μεθοδολογίας εκτίμησης σεισμικών απωλειών δείχνει καθεμία από τις ενότητες και τη ροή των πληροφοριών μεταξύ τους (HAZUS-MH, 2003). Το μοντέλο φαίνεται πολύπλοκο, λόγω της πολυπαραμετρικότητας και της αλληλοεξάρτησης των εμπλεκόμενων παραγόντων οι οποίες συμβάλουν στην εκτίμηση των σεισμικών ζημιών και απωλειών. Το πρόγραμμα διαπνέεται από ένα σύστημα ταξινόμησης των κτηρίων, το οποίο περιέχει 36 τύπους κτιρίων, που

αναπτύσσονται κατά περίπτωση με βάση τα πλαίσια και δομικά κτηριακά χαρακτηριστικά, και σε συνδυασμό με 33 χρήσεις αυτών (HAZUS-MH, 2003). Παρακάτω στην εικόνα 3.3.5 παρουσιάζονται οι τύποι πληρότητας (ως προς το πλήθος ατόμων) των κτιρίων αυτών.

Specific Occupancy	General Occupancy	Description
AGR1	Agriculture	Agriculture
COM1	Commercial	Retail Trade
COM10	Commercial	Parking
COM2	Commercial	Wholesale Trade
COM3	Commercial	Personal and Repair Services
COM4	Commercial	Professional/Technical Services
COM5	Commercial	Banks
COM6	Commercial	Hospital
COM7	Commercial	Medical Office/Clinic
COM8	Commercial	Entertainment & Recreation
COM9	Commercial	Theaters
EDU1	Education	Grade Schools
EDU2	Education	Colleges/Universities
GOV1	Government	General Services
GOV2	Government	Emergency Response

Πίνακας 18: 33 Συγκεκριμένοι Τύποι Πληρότητας, (HAZUS-MH, 2014).

Χάρη σε αυτά τα εργαλεία και με αυτές τις δυνατότητες, το HAZUS, υπολογίζει τις ζημιές σε κτίρια που χρησιμοποιούνται σε κατοικίες, δίκτυα κοινής ωφέλειας ή δίκτυα μεταφορών, βιομηχανικά ή εμπορικά κτίρια και υποδομές, συναρτήσει της έντασης της εδαφικής κίνησης, η οποία συναρτάται με το ελαστικό φάσμα των κατασκευών αυτών. Επίσης η μεθοδολογία HAZUS-MH (FEMA, 2003) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των επιπτώσεων σε αγωγούς.

Οι αβεβαιότητες σε οποιαδήποτε μεθοδολογία εκτίμησης βλαβών, είναι εγγενείς, καθώς προκύπτουν από τις μη επαρκείς επιστημονικές γνώσεις μας για τις εγκαταστάσεις και τα κτίρια καθώς και τις εκάστοτε συνθήκες και σεισμικές παραμέτρους. Επίσης οι αβεβαιότητες προκύπτουν από τις απλουστεύσεις και τις

προσεγγίσεις, οι οποίες είναι σημαντικές για ολοκληρωμένες αναλύσεις. Πέραν τούτων, τα κυριότερα μειονεκτήματα της εφαρμογής του συγκεκριμένου λογισμικού είναι τα ακόλουθα:

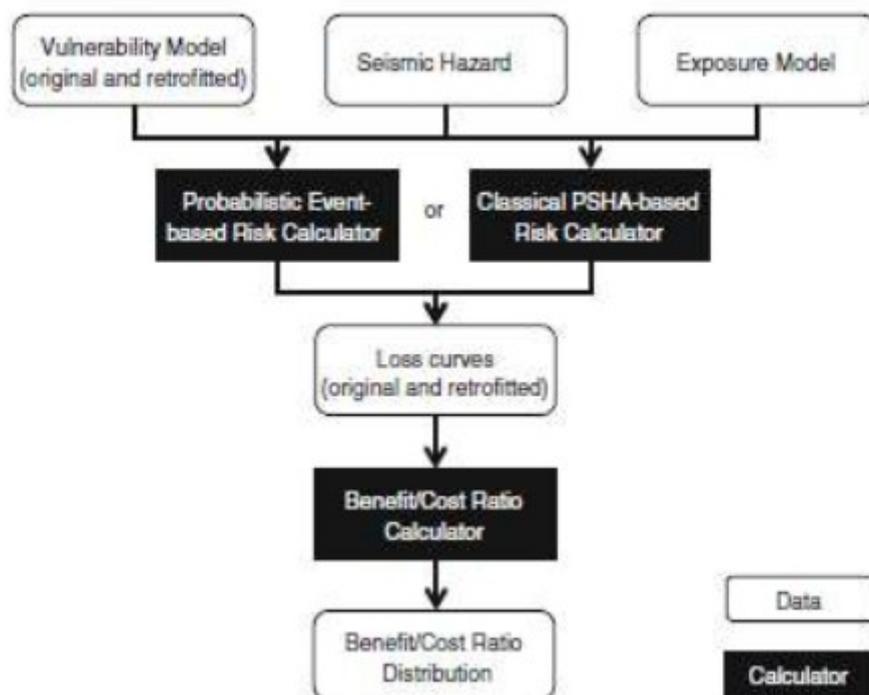
- Ο υπολογισμός χωρικών απωλειών που περιλαμβάνει μια ομάδα κτιρίων κρίνονται ως μέτρια από τους ερευνητές, σε σύγκριση με τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα που θεωρούν ανάλυση μεμονωμένου κτιρίου.
- Η ανάλυση που χρησιμοποιεί τα ενσωματωμένα δεδομένα φαίνεται να παράγει λιγότερο ακριβή αποτελέσματα για τα δίκτυα κοινής ωφέλειας, σε σύγκριση με αντίστοιχα αποτελέσματα των κτιριακών αναλύσεων.
- Ο υπολογισμός χωρικών απωλειών σε εκτεταμένο αστικό πεδίο, είναι υπερεκτιμημένος για σεισμικές δονήσεις μικρότερες από $M=6.0$ Richter.
- Ο μεγάλος απαιτούμενος χρόνος, για την εισαγωγή δεδομένων, που ίσως απαιτήσει η μελέτη της ταχείας εκτίμησης για μεγάλες περιοχές (πχ για περιοχές μελέτης με 1000-2000 απογραφικά κτίρια).
- Οι ανακριβείς ή ελλιπείς απογραφές του δομημένου περιβάλλοντος, οι οικονομικές και οι δημογραφικές παράμετροι, εντείνουν την αβεβαιότητα.

Σε αντίθεση όμως με τα ανωτέρω μειονεκτήματα, το HAZUS-MH θεωρείται αρκετά ευέλικτο στη μεθοδολογία και το λογισμικό του. Υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασης των δεδομένων που αντικατοπτρίζουν το τοπικό περιβάλλον (με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια) και των τοπικών αναπτυγμένων κτιριακών αποθεμάτων, με συνέπεια να προκύψουν ακριβέστερα αποτελέσματα. Το μοντέλο εκτίμησης σεισμικής τρωτότητας HAZUS-MH παρέχει αξιόπιστη εκτίμηση συνολικών απωλειών, όπως οι αριθμοί των θυμάτων και το συνολικό κόστος των ζημιών. Η δυναμική της μεθοδολογίας, έγκειται στην ευκολία εισαγωγής δεδομένων και εξαγωγής αποτελεσμάτων σε χάρτες με βάση τα GIS. Ένα από τα πλεονεκτήματα του λογισμικού όμως είναι η σπονδυλωτή δομή της μεθοδολογίας, η οποία επιτρέπει στους χρήστες να επικεντρωθούν σε συγκεκριμένες απώλειες.

Το πρόγραμμα HAZUS-MH θεωρείται ως έργο υπό εξέλιξη. Μελλοντικές εκδόσεις του με επιπρόσθετα δεδομένα ζημιών και απωλειών από πραγματικούς σεισμούς καθώς και η περαιτέρω εμπειρία των χρηστών θα συμβάλλουν στη βελτίωση του λογισμικού (HAZUS-MH, 2003).

3.4.3. Open Quake

Πρόκειται για ένα πρόγραμμα, το οποίο δημιουργήθηκε από τον Ιταλικό μη κερδοσκοπικό Οργανισμό Global Earthquake Model (GEM), που ιδρύθηκε το 2009 ως σύμπραξη του Ιδιωτικού και του Δημοσίου τομέα (Silva et al, 2014). Είναι μια εξελισσόμενη πλατφόρμα, αποτέλεσμα μιας παγκόσμιας ομαδικής προσπάθειας περισσότερων από 300 ερευνητών και επιστημόνων, η οποία αποσκοπεί να διαμορφώσει ένα υψηλό και εύχρηστο εργαλείο εκτίμησης σεισμικού κινδύνου και ανάλυσης της επικινδυνότητας, έτσι ώστε να παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα σε Παγκόσμια Κλίμακα.



Πίνακας 19: Απεικόνιση διαγράμματος ροής σχεδιασμού εκτίμησης σεισμικού κινδύνου, των υφιστάμενων υποδομών (ανάλυσης κόστους - οφέλους),(Silva et al, 2014).

Η ανάπτυξη του λογισμικού αυτού, ξεκίνησε το 2009 ως αποτέλεσμα της αναθεώρησης υπάρχοντος μη εμπορικού λογισμικού ανάλυσης κινδύνου σεισμού ανοιχτού κώδικα, προκειμένου να εντοπιστούν οι περιορισμοί και τα χαρακτηριστικά του σεισμικού κινδύνου και να οριστούν οι αντίστοιχες προδιαγραφές ως βάση για το OpenQuake (Silva et al, 2014).

Το OpenQuake, όσον αφορά τα κύρια χαρακτηριστικά του, είναι λογισμικό με κώδικα γραμμένο στη γλώσσα προγραμματισμού Python, το οποίο μπορεί να προσπελαστεί και να χρησιμοποιηθεί μέσω του διαδικτύου και έχοντας δημόσια αποθετήρια ως βάσεις δεδομένων (<http://github.com/gem/oq-engine>). Εισάγονται δε δεδομένα σεισμικών γεγονότων ή η πιθανότητα εκδήλωσης αυτών εντός μίας μελετώμενης περιοχής, και εντός ενός προκαθορισμένου χρονικού πλαισίου.

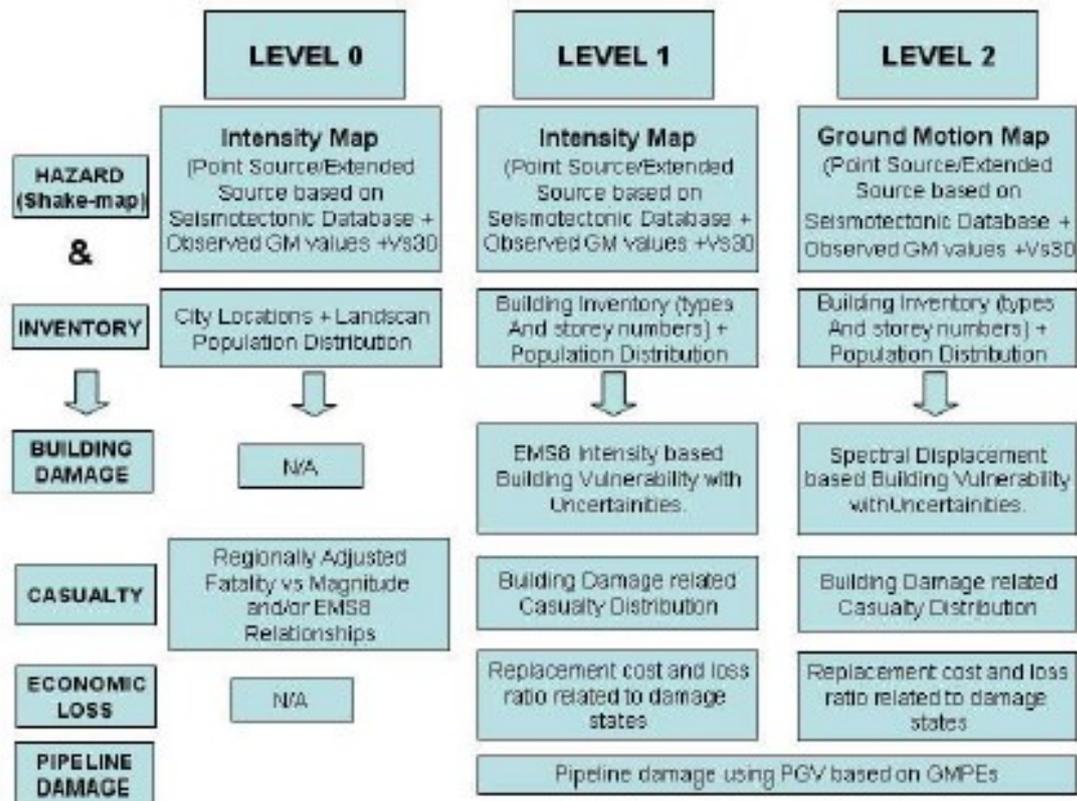
Τα κύρια τμήματα που περιλαμβάνονται στην υπολογιστική πλατφόρμα είναι πέντε (5), το καθένα από τα οποία συνεισφέρει με τη δική του προσέγγιση στην εκτίμησης των ζημιών (οικονομικών κ). Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η ροή σχεδιασμού της εκτίμησης σεισμικού κινδύνου των υφιστάμενων υποδομών, καθώς αναλύεται το κόστος και το όφελος. Η εκτίμηση σεισμικού κινδύνου και η ανάλυση επικινδυνότητας πραγματοποιούνται με το ίδιο λογισμικό, ενώ επιτρέπεται στον χρήστη να εκτελέσει μεμονωμένους υπολογισμούς για κάθε ένα από τα παραπάνω, καθώς καθένας μπορεί να χρησιμοποιήσει το δικό του μοντέλο κινδύνου, έκθεσης και τρωτότητας, ανεξάρτητα από την γεωγραφική θέση. Η ευελιξία του λογισμικού, αποτελεί ένα ακόμα συγκριτικό πλεονέκτημα, καθώς αυτό λειτουργεί τόσο σε φορητούς υπολογιστές όσο και σε μεγαλύτερα ομαδοποιημένα συστήματα υπολογιστών. Τέλος, η δυνατότητα μοντελοποίησης πόρων, είναι το κυριότερο πλεονέκτημα του λογισμικού (π.χ. υποδομές ή πληθυσμός) αφενός, καθώς και η παροχή δεδομένων με την υποστήριξη αποφάσεων για τη βελτίωση ή τον

επανασχεδιασμό της υπάρχουσας υποδομής, μετά από την ανάλυση κόστους – οφέλους.

3.4.4. ELER (Earthquake Loss Estimation Routine)

Το ELER πρόκειται για ένα λογισμικό, το οποίο είναι επιστέγασμα της κοινής προσπάθειας ερευνητών από το NORSAR, του Imperial College και του Ευρωπαϊκού Μεσογειακού Σεισμολογικού Κέντρου EMSC, με σκοπό την δημιουργία ενός λογισμικού γρήγορης μετασεισμικής εκτίμησης απωλειών (ELER v3.0, 2010). Είναι δομημένο με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού MATLAB και κατά την αρχική του μορφή επικεντρωνόταν κυρίως στην ευρύτερη Ευρώ-Μεσογειακή περιοχή. Επίσης, το περιβάλλον προγραμματισμού MATLAB χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό και την εμφάνιση του αποτελέσματος. Επιπρόσθετα, τα δεδομένα μπορούν να εξαχθούν σε δημοφιλή προγράμματα GIS για περαιτέρω επεξεργασία και κατασκευή διαγραμμάτων.

Το ELER μπορεί να εκτελεσθεί σε λειτουργικά συστήματα ΗΥ, χωρίς καμία τροποποίηση κώδικα, καθώς το MATLAB είναι μια γλώσσα προγραμματισμού πολλαπλών πλατφορμών. Σταδιακά, το λογισμικό υπέστη τροποποιήσεις, έτσι ώστε οι παράμετροί του να μπορούν να προσαρμόζονται, με σκοπό να είναι εφικτή η χρήση του σε κάθε περιοχή ενδιαφέροντος, αναλύοντας όμως αποκλειστικά και μόνο σεισμικά φαινόμενα. Ωστόσο, οι σημερινές δυνατότητες του λογισμικού ELER, περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων την πρόβλεψη αναμενόμενων απωλειών σε μελλοντικά σεισμικά γεγονότα και την εκτίμηση με βάση πραγματικά περιστατικά.



Πίνακας 20: Προβολή των τριών (3) επιπέδων ανάλυσης του ELER, (ELER v3.0, 2010).

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα και το εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος, τα επίπεδα της μεθόδου ανάλυσης του λογισμικού συνοψίζονται παρακάτω.

- Εκτίμηση απώλειας ανθρώπινων ζωών και δομικών ζημιών με βάση ένα ή περισσότερα επίπεδα τρωτότητας, με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες για κτίρια στην περιοχή μελέτης.
- Υπολογισμός της χωρικής κατανομής συγκεκριμένων παραμέτρων της κίνησης του εδάφους, όπου απαιτούνται πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος και το επίκεντρο της σεισμικής δόνησης του σεισμού.
- Υπολογισμός της αστοχίας του δικτύου σωληνώσεων (αγωγών)
- Υπολογισμός της οικονομικής απώλειας της ζημιάς (με προαπαιτούμενο τον εντοπισμό της πιθανής ζημιάς)

Η αξιοπιστία των θεωρητικών εκτιμήσεων ενισχύεται με την ενσωμάτωση των διαθέσιμων δεδομένων για τις εδαφικές μετακινήσεις (προαιρετικό βήμα).

Το ELER αποτελείται από τέσσερις ενότητες για την εκτίμηση σεισμικού κινδύνου και απωλειών, και συγκεκριμένα (ELER v3.0, 2010):

- 1) Επικινδυνότητα
- 2) Επίπεδο 0
- 3) Επίπεδο 1
- 4) Επίπεδο 2

Τα επίπεδα αυτά έχουν ως στόχο να βοηθήσουν τον χρήστη στην εγκατάσταση και τη λειτουργία του ELER. Έτσι ο οδηγός αυτός περιλαμβάνει κεφάλαια σχετικά με τη μονάδα κινδύνου, τη μονάδα «επιπέδου 0», τη μονάδα «επιπέδου 1», τη μονάδα «επιπέδου 2» και τα Εργαλεία για την ενσωμάτωση εξωτερικών δεδομένων και προτιμήσεις χρήστη (ELER v3.0, 2010).

Σημειώνεται ότι τα δυο πρώτα επίπεδα 0 και 1 του λογισμικού προσφέρουν αναλυτικές κατανομές της έντασης και της εκτίμησης απωλειών με βάση χωρικές πληροφορίες μη αστικών περιοχών. Αντίστοιχα στο τρίτο επίπεδο, «επιπέδου 2» , αποσκοπεί αξιολογήσεις για τις υλικές και τις έμψυχες απώλειες αστικών περιοχών, κάνοντας επίσης την χρήση μεθοδολογίας παρόμοιας με αυτή του λογισμικού HAZUS.

Συνοπτικά, η μέθοδος ELER αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

- 1) Στην ενότητα «Επικινδυνότητα» , για πληροφορίες και δεδομένα σεισμού (μέγεθος επίκεντρο, χωρικά κατανομημένα ένταση) καθώς και παραμέτρους εδαφικής κίνησης (PGV, PGA, Sa, Sd) εκτιμάται ο σεισμικός κίνδυνος. Τα σεισμικά κύματα μεταφράζονται σε εδαφικές κινήσεις μέσω των εξισώσεων πρόβλεψης της εδαφικής κίνησης ανά περιοχή.

2) Στην ενότητα, «επίπεδο 0», με την χρήση χωρικών προσαρμοσμένων εντάσεων-απωλειών, γίνεται η εκτίμηση των απωλειών ή η συσχέτιση μεγέθους- βλαβών με βάση την κατανομή του πληθυσμού και την απογραφή Landscan (Landscan, 2023).

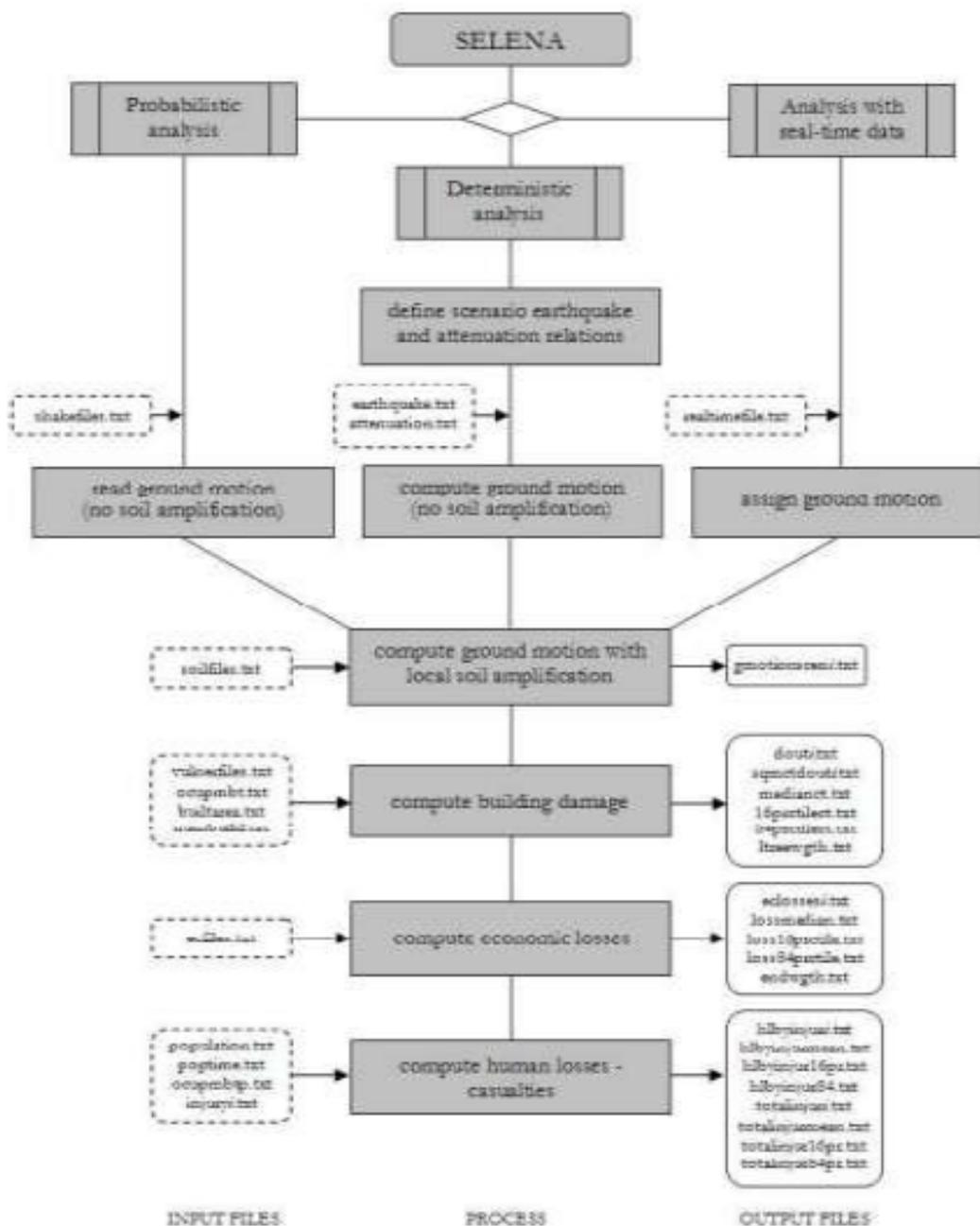
3) Στην ενότητα, «επίπεδο 1», υπολογίζεται ο αριθμός των κατεστραμμένων κτιρίων και οι σχετικές απώλειες. Για την εύρεση του αριθμού των κατεστραμμένων κτιρίων χρησιμοποιείται η εμπειρική σχέση τρωτότητας με βάση την ένταση. Μέσω του αριθμού των κατεστραμμένων κτιρίων γίνεται η εκτίμηση των απωλειών.

4) Στην ενότητα, «επίπεδο 2», υπολογίζεται επίσης ο αριθμός των κατεστραμμένων κτιρίων και οι σχετικές απώλειες. Με βάση τη φασματική επιτάχυνση-μετατόπιση, η μεθοδολογία εκτίμησης τρωτότητας, χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των ζημιών των κτιρίων, μέσω του αριθμού των κατεστραμμένων κτιρίων με τη χρήση των μεθοδολογιών HAZUS99 (FEMA, 1999) και HAZUS-MH (FEMA, 2003).

[3.4.5. SELENA \(Seismic Loss Estimation using a Logic Tree Approach\)](#)

Το λογισμικό SELENA προκύπτει ως αποτέλεσμα της συνεργασίας μεταξύ του NORSAR (Γεωεπιστημονικός Σεισμολογικός Οργανισμός στην Νορβηγία), του Διεθνούς Κέντρου Γεωλογικών Κινδύνων (ICG - International Centre for Geohazards) και του Ισπανικού Πανεπιστημίου Alicante, όπου η εμφάνιση του τοποθετείται χρονολογικά το 2004 (SELENA, 2010). Ο κύριος στόχος αυτής της συνεργασίας, είναι η ανάπτυξη ενός λογισμικού εκτίμησης απωλειών που θα μπορεί να εισάγει οποιαδήποτε μορφή δεδομένων, που επιθυμεί ο χρήστης. Για να επιτευχθεί αυτό, το λογισμικό μορφοποιήθηκε αρχικά στη γλώσσα προγραμματισμού MATLAB και ο κώδικας που επανααναδιαμορφώθηκε στην γλώσσα προγραμματισμού C, το 2009, ούτως ώστε να είναι πλήρως ανοικτός, καθώς και η λειτουργία του λογισμικού είναι ανεξάρτητη οποιασδήποτε εμπορικής άδειας χρήσης. Ταυτόχρονα, το SELENA δεν ενσωματώνει συγκεκριμένη πλατφόρμα ΓΣΠ (GIS), για εύκολη προσαρμογή σε οποιαδήποτε λειτουργικό, αντίθετα με άλλα σχετικά λογισμικά. Το γεγονός αυτό, σε

συνδυασμό με το γεγονός ότι τόσο τα δεδομένα εισόδου όσο και τα αντίστοιχα αποτελέσματα ανάλυσης μπορούν να είναι σε μορφή κωδικοποίησης ASCII (.txt) και να εμφανιστούν σε οποιαδήποτε ΓΣΠ (GIS) της επιλογής του χρήστη, καθιστά τη χρήση του SELENA ευέλικτη και απλή.



Πίνακας 21: Προβλή διαγράμματος ροής του SELENA, (SELENA, 2010)

Το βοηθητικό λογισμικό πρόγραμμα Risk Illustrator for SELENA -Εικονογράφος Κινδύνου σε περιβάλλον GIS, το οποίο ονομάζεται (RISe) βοηθά στην εμφάνιση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης του λογισμικού με τη μορφή χαρτών, παράλληλα με το κύριο λογισμικό εκτίμησης απωλειών. Το SELENA καθώς και το RISe είναι ανοιχτού κώδικα, και λειτουργούν ως ενδιάμεσο στάδιο στη διαδικασία ανάλυσης, όπου τα δεδομένα εισόδου και εξόδου, επεξεργάζονται από το πρόγραμμα. Την ευκολότερη δημιουργία αρχείων εισόδου για το SELENA διευκολύνει η έκδοση 2004 του RISe .Τα εξαγόμενα μετατρέπονται σε αρχεία KML τα οποία μπορούν να εισαχθούν και παρουσιασθούν στο Google Earth, ως δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης.

Για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί, ωστόσο, μία από αυτές τις λειτουργίες, πρέπει να πραγματοποιηθούν κάποιες προετοιμασίες στο Google Earth, οι οποίες είναι:

- Η κατανομή κεντρικών σημείων για κάθε μικρότερη γεωγραφική ενότητα
- Η οριοθέτηση ολόκληρης της περιοχής μελέτης, δηλαδή περιφέρειας, αστικής περιοχής ή πόλης
- Ευρετηρίαση/Αναγνώριση κάθε κέντρου και κάθε μικρότερη γεωγραφική ενότητα
- Υποδιαίρεση της περιοχής μελέτης σε διακριτές μικρότερες γεωγραφικές ενότητες (γεωμονάδες)

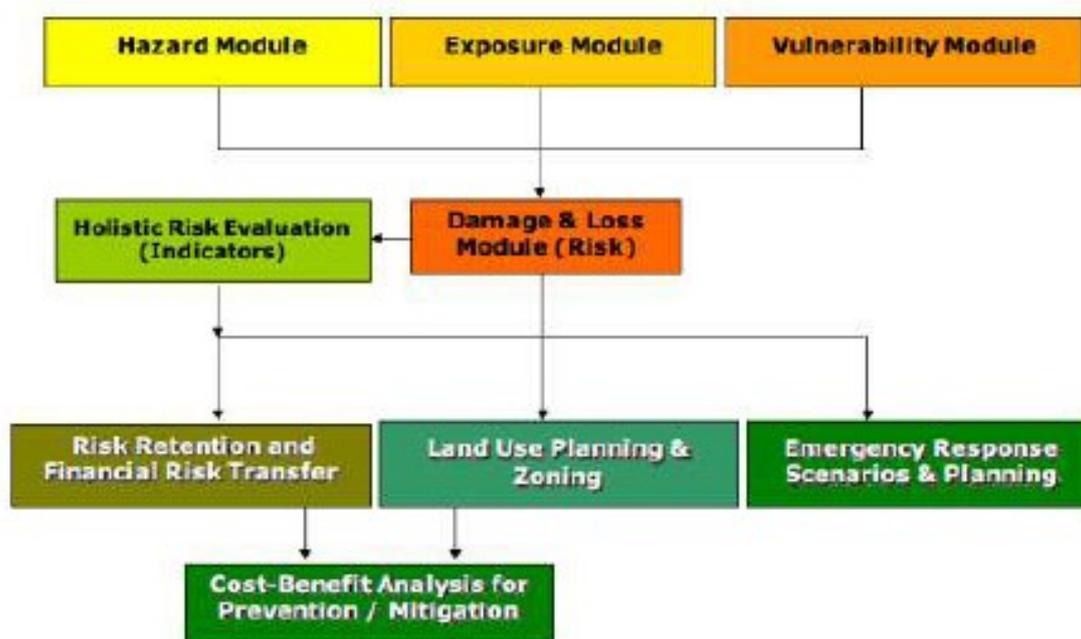
Στην ιστοσελίδα του προγράμματος SELENA δίνονται οδηγίες σε σχέση με την εγκατάσταση και την χρήση του.

[3.4.6. CAPRA \(Comprehensive Approach to Probabilistic Risk Assessment\)](#)

Το Capra (Λογισμικό Κεντρικής Αμερικανικής Πιθανοτικής Εκτίμησης Τρωτότητας) πρόκειται για ένα λογισμικό, το οποίο δημιουργήθηκε για την ανάλυση κινδύνου και τις απαιτήσεις εκτίμησης απωλειών λόγω φυσικών φαινομένων που συμβαίνουν στην ευρύτερη περιοχή Κεντρική Αμερική (Cardona et al, 2012).Το λογισμικό υλοποιήθηκε χάρη στη σύμπραξη με το UNISDR, της Παγκόσμιας Τράπεζας (World Bank) και του CEPREDENAC σε συνεργασία με τους τοπικούς φορείς και με τις κυβερνητικές

αρχές. Η εγκυρότητα της προσπάθειας ήταν τέτοια, που αν και αρχικά το λογισμικό δημιουργήθηκε ώστε να ανταπεξέλθει στις ειδικές συνθήκες των χωρών της ανωτέρω περιοχής, στη συνέχεια έγινε ευρύτερα γνωστό και η χρήση του να επεκτείνεται και σε άλλες χώρες, εκτός Κεντρικής Αμερικής.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του λογισμικού CAPRA είναι οι επιμέρους ενότητες εκτίμησης κινδύνου (τρωτότητας και επικινδυνότητας).



Πίνακας 22: Προβολή Μοντέλου πιθανοτικής ανάλυσης και εφαρμογής διαχείρισης κινδύνου, (Cardona et al, 2012).

Στο παραπάνω σχήμα 3.3.9 απεικονίζεται το σχήμα πιθανοτικού μοντέλου κινδύνου που στηρίζεται σε μια ακολουθία ενοτήτων (Woo, 1999, 2011; Grossi και Kunreuther, 2005; Cardona et al., 2008a), για να ποσοτικοποιήσει τις πιθανές σεισμικές απώλειες. Το λογισμικό CAPRA εμπίπτει στην κατηγορία «ανοικτού κώδικα» λογισμικών και είναι δομημένο σε πλατφόρμα GIS, μέσω της οποίας μπορεί να χαρτογραφηθεί ο κίνδυνος, η τρωτότητα, η έκθεση και η επικινδυνότητα που ενδέχεται να αντιμετωπίσει η αναλυόμενη υποδομή. Έχει σχεδιαστεί δε για διαφορετικές πτυχές στη διαχείριση του κινδύνου των καταστροφών και όχι μόνο με στόχο τη χρηματοδότηση μείωσης

του κινδύνου (Cardona et al., 2010; www.ecapra.org). Όσον αφορά την ποικιλομορφία των φυσικών κινδύνων που αναλύει, χαρακτηρίζεται από ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων, παρέχοντας τη δυνατότητα διεξαγωγής πιθανοτικής ανάλυσης κινδύνου (όπως η καμπύλη υπέρβασης ζημιών, η αναμενόμενη ετήσια απώλεια και η πιθανή μέγιστη απώλεια, χρήσιμη για αναλύσεις κινδύνου πολλαπλών κινδύνων). Παράλληλα με το παραπάνω βασικό λογισμικό, στη διαδικασία εκτίμησης της ζημίας που δίνεται ως διαφορετικές τυπικές μορφές αναφοράς στοιχείων της υποδομής ανάλυσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα πρόσθετα εργαλεία με την μορφή διαφορετικών ενοτήτων του λογισμικού. Κάθε ενότητα παρέχει την δυνατότητα ανάλυσης διαφορετικών τύπων κινδύνων και αξιολογήσεων πιθανών ζημιών (Marulanda et al, 2013).

Το λογισμικό εργαλειοποιεί τόσο ιστορικές προσεγγίσεις, όσο και στοχαστικές προσεγγίσεις, χρησιμοποιεί την πιθανοτική μέθοδο ανάλυσης κινδύνου, η οποία προσομοιώνει την ένταση, τον κίνδυνο και τη συχνότητα των υπό ανάλυση αντικειμένων. Οι πληροφορίες που προκύπτουν μπορούν στην συνέχεια να συνδυαστούν με διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με την τρωτότητα και την έκθεση της υποδομής που αναλύθηκαν σε χωρικό επίπεδο, για τον υπολογισμό των πιθανών απωλειών. Τα προκύπτοντα αποτελέσματα παρουσιάζονται με την μορφή παραγόντων κινδύνου, όπως η αναμενόμενη ζημία ανά έτος, η πιθανή μέγιστη απώλεια και η πιθανότητα υπέρβασης της περιόδου ανάκαμψης. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά καθιστούν το λογισμικό πιο κατάλληλο για ανάλυση κινδύνου πολλαπλών κινδύνων.

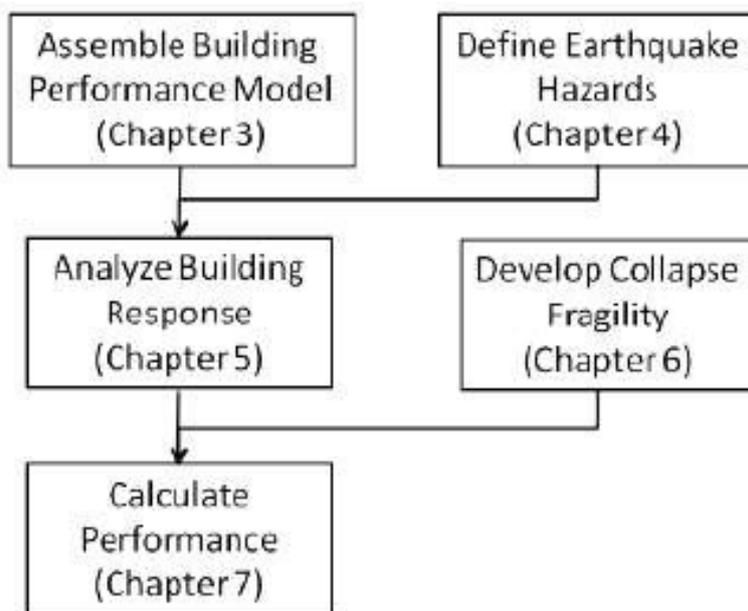
3.5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΕΣΤΙΑΣΗ

ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ

[3.5.1. Μεθοδολογία FEMA P-58 \(Seismic Performance Assessment of Buildings\)](#)

Η συνεχής ανάγκη βελτίωσης του αντισεισμικού σχεδιασμού των νέων κτιρίων και της καλύτερης σεισμικής απόκρισης των υφιστάμενων κτιρίων ώθησε τη FEMA να μελετήσει τον αντισεισμικό σχεδιασμό αναλόγως με προκαθορισμένα επίπεδα αποτίμησης της συμπεριφοράς τους (επιτελεστικότητα). Ο βασικός στόχος είναι η ανάπτυξη μιας πρακτικής και εύχρηστης μεθόδου, βάσει της οποίας μπορεί να εκτιμηθεί η σεισμική συμπεριφορά ενός κτιρίου υπό την επίδραση ενός δεδομένου σεισμού, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες αβεβαιότητες. Επίσης, απαιτείται οι εν λόγω μέθοδοι να είναι όσο το δυνατόν γενικότερες σε χαρακτήρα, ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν σε κτίρια οποιασδήποτε ηλικίας, τύπου κατασκευής ή χρήσης.

Η μελέτη ξεκίνησε το 2001 με τη συνεργασία μιας πολυμελούς ομάδας περισσότερων από 200 ατόμων επιστημόνων μεταξύ του Συμβουλίου Εφαρμοσμένης Τεχνολογίας (ATC- Applied Technology Council) και της FEMA, η ανάπτυξη του βασίστηκε σε προγενέστερα κανονιστικά κείμενα και απέδωσε με την διαμόρφωση της ATC-58 (FEMA, 2018).



Πίνακας 23: Προβολή διαγράμματος ροής της μεθοδολογίας FEMA P-58, (FEMA, 2018)

Κύριος άξονας τους είναι ο αντισεισμικός σχεδιασμός κτιρίου με βάση τις επιδόσεις, μέσω του οποίου αξιολογείται η δυνατότητα καταγραφής διαφόρων απωλειών από διάφορα σεισμικά συμβάντα που ενδέχεται να επηρεάσουν το σχετικό κτίριο. Οι διαδικασίες που καθορίζονται είναι πιθανολογικής φύσης, καθώς προσδιορίζουν τους σεισμούς για τις κατασκευές που αναλύονται με βάση πιθανές ανθρώπινες απώλειες (όπως σοβαρούς έως και θανατηφόρους τραυματισμούς), άμεσες οικονομικές απώλειες (όπως το κόστος επισκευής ή ανακατασκευής) και έμμεσες οικονομικές απώλειες (οι οποίες αφορούν τον απαιτούμενο χρόνο επισκευής), καθώς και τις γενικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Τα ιδιαίτερα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη κτιρίου, από τα οποία κρίνεται η τρωτότητα των δομικών και των μη δομικών στοιχείων του, αποτελούν τα βασικά δεδομένα για την εφαρμογή της μεθόδου, καθώς επίσης παρέχει τη δυνατότητα της εισαγωγής επιπλέον παραμέτρων, εκτός των παρακάτω πινάκων που παρατίθενται εν συνεχεία. Οι ταξινομήσεις σχετίζονται με τις ακόλουθες πληροφορίες:

Table 1-1 Structural Systems and Components for which Fragility and Consequence Data have been Provided

Material	System	Comments
Concrete	Beam-column frames	Conventionally reinforced, with or without modern seismic-resistant detailing
	Shear walls	Shear- or flexurally-controlled, with or without seismic-resistant detailing
	Concrete link beams	Conventionally or diagonal reinforced with modern seismic-resistant detailing
	Slab-column systems	Post-tensioned or conventionally reinforced, with or without slab shear reinforcement
Masonry	Walls	Special or ordinary reinforced masonry walls, controlled by shear or flexure
Steel	Moment frames	Fully restrained, pre- or post-Northridge, Special, Intermediate, and Ordinary detailing
	Centrally braced frames	"X"-braced, chevron-braced, single diagonals, special, ordinary, or nonconforming detailing
Steel (cont'd)	Buckling-restrained braced frames	"X"-braced, chevron-braced and single diagonals
	Eccentrically braced frames	Flexure or shear links at mid-span of link beam
	Light-framed walls	Structural panel sheathing, steel panel sheathing or diagonal strap bracing
	Conventional floor framing	Concrete-filled metal deck, untopped steel deck, or wood sheathing
Timber	Light-framed walls	Structural panel sheathing, gypsum board sheathing, cement plaster sheathing, let-in bracing, and with or without hold downs

Πίνακας 24: Προβολή πίνακα δομικών στοιχείων κατά μεθοδολογία FEMA P-58, (FEMA,2018)

- Το δομικό σύστημα των κατασκευών, τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται και τα επιμέρους στοιχεία που το συνθέτουν.
- Την χρήση του κτιρίου που μελετάτε και του αντίστοιχου πληθυσμιακού μοντέλου με την εισαγωγή ποσοτικών πληροφοριών (ακόμα και των μη δομικών στοιχείων).

Table 1-2 Building Occupancies for which Nonstructural Component Data and Population Models have been Provided

Occupancy	Comment
Commercial Office	None
Education (K-12)	Typical elementary, middle school, high school classrooms
Healthcare	General in-patient hospitals, medical equipment excluded
Hospitality	Hotels and motels
Multi-Unit Residential	Apartments; also applicable to single-family detached housing
Research Laboratories	Special purpose laboratory equipment excluded
Retail	Shopping malls and department stores
Warehouse	Inventory excluded

Πίνακας 25: Προβολή κτιριακών χρήσεων κατά μεθοδολογία FEMA P-58, (FEMA,2018)

Μετά την συλλογή όλων των παραπάνω διαθέσιμων πληροφοριών (για τις υπόλοιπες γίνονται σχετικές προσαρμογές ή παραδοχές), συγκροτείται το μοντέλο ενός κτιρίου και στην συνέχεια αναλύεται για να εκτιμηθεί η πιθανότητα σεισμικής ζημίας από σεισμό στα μη δομικά και δομικά του στοιχεία. Υπολογίζονται ο χρόνος και το κόστος της αποκατάστασης, η αναμενόμενη απώλεια θυμάτων και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

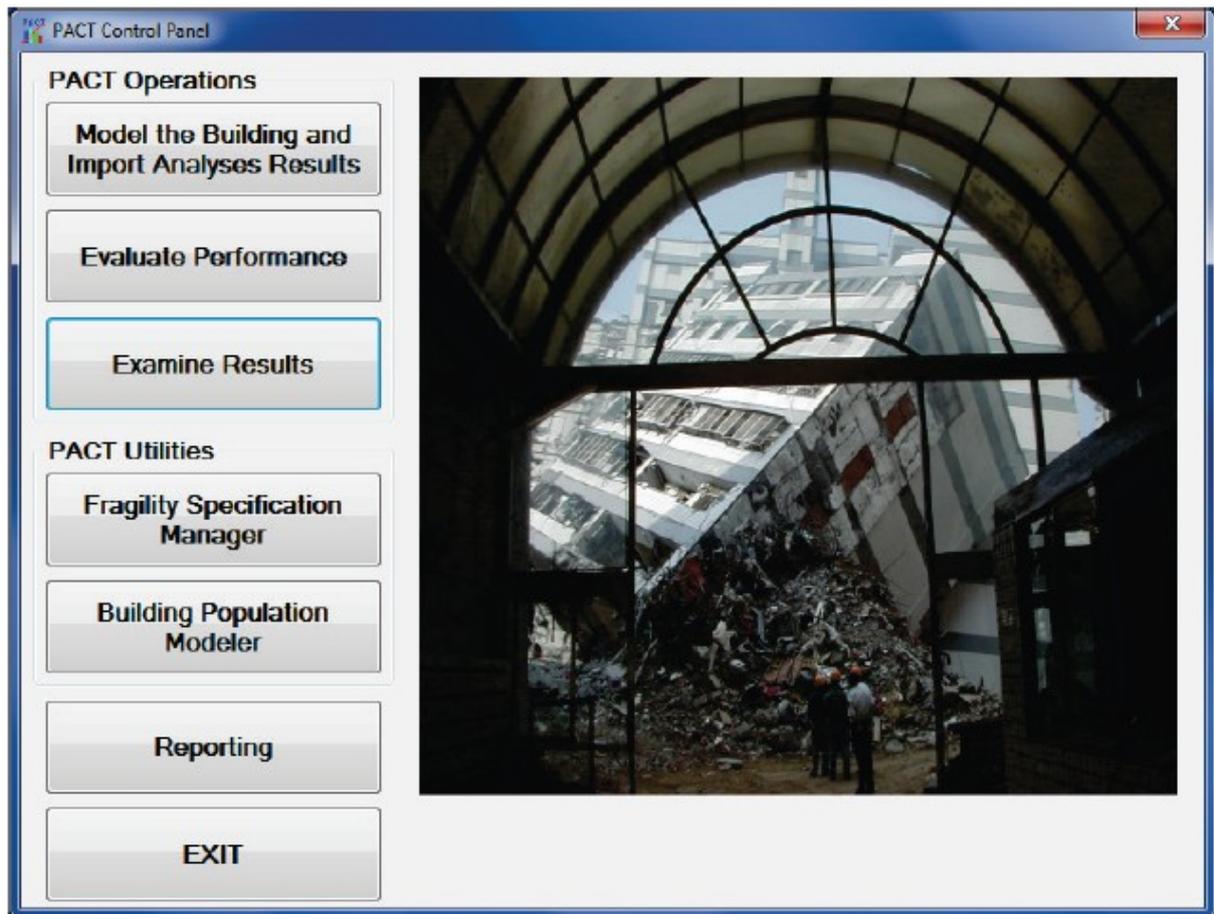
Για τη φάση της αναλυτικής αξιολόγησης του κτιρίου, η μέθοδος χρησιμοποιεί τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις, με βάση τον χρόνο, τα πιθανά σενάρια και την ένταση. Η πρώτη προσέγγιση εξετάζει την παράμετρο του χρόνου. Εφαρμόζεται σε κτίρια, τα οποία θεωρείται ότι πλήττονται από σεισμική δόνηση δεδομένης εντάσεως, η οποία προσδιορίζεται από το ελαστικό φάσμα απόκρισης με συντελεστή απόσβεσης 5% και σχεδιαστικά τα κτίρια πληρούν τις ανάλογες κανονιστικές προδιαγραφές. Η δεύτερη προσέγγιση εφαρμόζεται σε σενάρια εκτίμησης απωλειών, εξαιτίας της επανάληψης ιστορικών σεισμικών γεγονότων, όπου πραγματοποιείται ανάλυση σε μια συγκεκριμένη ένταση σεισμικής διέγερσης, και η οποία λαμβάνει χώρο σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή πλησίον του μελετώμενου κτιρίου, και η

προέλευση του σεισμικού κύματος να προκύπτει από την ενεργοποίηση γνωστού ρήγματος. Αυτή η μέθοδος λαμβάνει υπόψη την εμφάνιση ενός συγκεκριμένου σεισμού, παρά μιας συγκεκριμένης εντάσεως. Τέλος, η τρίτη και τελευταία προσέγγιση, εξετάζει την ένταση που δέχεται μεμονωμένο κτίριο. Εφαρμόζεται ανάλυση της σεισμικής συμπεριφοράς ενός συγκεκριμένου κτιρίου σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Πιθανοτικά συνεκτιμάται το ενδεχόμενο της εκδήλωσης του συνόλου των πιθανών σεισμών, κατά την εφαρμογή της προσέγγισης αυτής. Θεωρείται δηλαδή ότι υπάρχει το ενδεχόμενο να εκδηλωθεί το σύνολο των πιθανών σεισμών, κατά το μελετώμενο χρονικό πλαίσιο. Λαμβάνεται υπόψη σε αυτήν την περίπτωση ο βαθμός αβεβαιότητας, που προκύπτει από το μέγεθος του επίκεντρου και των σεισμικών δονήσεων, καθώς και από την αβεβαιότητα που σχετίζεται με την ένταση της κίνησης του εδάφους.

Επομένως και οι τρεις προσεγγίσεις επιχειρούν να εκτιμήσουν συγκεκριμένα τις πιθανές αναμενόμενες απώλειες εντός του εσωτερικού των υπό μελέτη κτιρίων, καθώς η εκτίμηση των ενδεχόμενων απωλειών στον ευρύτερο περιβάλλοντα χώρο ή στους εξωτερικούς χώρους δεν αποτελεί αντικείμενο της μεθοδολογίας.

3.5.2. Πρόγραμμα PACT (Performance Assessment Calculation Tool)

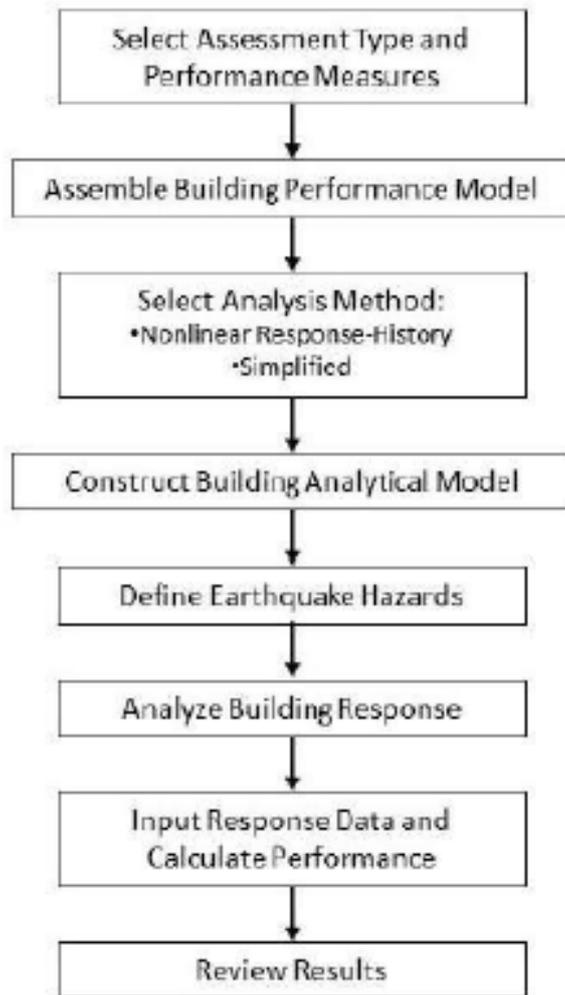
Το λογισμικό PACT πρόκειται για ένα εργαλείο για τον υπολογισμό της σεισμικής απόκρισης μεμονωμένων κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα, το PACT είναι ένα πρόγραμμα αξιολόγησης της σεισμικής τρωτότητας και των απωλειών (τραυματισμοί και θύματα), έχοντας ως στόχο την πρόληψη ζημιών στις κατασκευές και τις συνέπειες αυτών στις ίδιες τις κατασκευές, στον άνθρωπο και στο περιβάλλον.



Πίνακας 26: Πίνακας ελέγχου του λογισμικού PACT, (PACT user manual,)

Το πρόγραμμα προσομοιώνει μόνο κτίρια.

Τα βήματα δημιουργίας και ανάλυσης ενός προσομοιώματος διακρίνονται παρακάτω στην Εικόνα 2.2.14



Πίνακας 27: Προβολή διαδικασίας αποτίμησης των κτιρίων με το πρόγραμμα PACT, (FEMA, 2018)

Η Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Διαχείρισης Έκτακτης Ανάγκης (FEMA) των Ηνωμένων Πολιτειών (ΗΠΑ), δημιούργησε το Πρόγραμμα PACT καθώς προέκυψε η ανάγκη μείωσης του αυξανόμενου κόστους των σεισμών. Συνεργάστηκε με την Επιτροπή Εφαρμοσμένης Τεχνολογίας (ATC), το 2001, για την ανάπτυξη μεθόδων και την αξιολόγηση της σεισμικής απόκρισης των κτιρίων. Η μεθοδολογία εκτίμησης της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων και νέων κτιρίων, δημοσιεύθηκε 10 χρόνια αργότερα με την συμμετοχή περισσότερων από 130 συμβούλων που συμμετείχαν στη συλλογή δεδομένων, την ανάλυση και την έρευνα, την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών εργαλείων, τις δοκιμές για τη διασφάλιση της ποιότητας των αποτελεσμάτων και την εκτίμηση των επιπτώσεων. Αυτή η προσέγγιση της μεθοδολογίας(FEMA P-58-1,

2012), μαζί με τις δημοσιευμένες πρακτικές εφαρμογές της (FEMA P-58-2,2012), μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε τύπο κτιρίου, ανεξάρτητα από την ηλικία, το είδος της κατασκευής, την μορφή του κτιρίου και τον σκοπό του.

Το υπολογιστικό πρόγραμμα PACT, συγκεκριμένα δημιουργήθηκε για να αξιολογήσει την σεισμική απόκριση μεμονωμένων κτιρίων και να παράγει αποτελέσματα σχετικά με πιθανό τραυματισμό, πιθανές απώλειες ανθρώπινων ζωών, τον χρόνο και το κόστος επισκευής του κτιρίου. Εξάγεται δηλαδή η σεισμική τρωτότητα των αναλυόμενων κτιρίων και δίνεται η δυνατότητα επιλογών ανάλογα με τις πιθανές αναμενόμενες απώλειες.

Επίσης το λογισμικό PACT παρέχει τρεις βασικές αλλά πλήρεις λειτουργίες, οι οποίες είναι:

- α) Η Συλλογή και οργάνωση των πληροφοριών του κτιρίου, των συναρτήσεων τρωτότητας και των παραμέτρων προς διερεύνηση.
- β) Η Εκτέλεση των υπολογισμών ζημιών, συμπεριλαμβανομένων των δαπανών επισκευής, των εκτιμήσεων των ατυχημάτων και του χρόνου διακοπής λειτουργίας
- γ) Η Παροχή των πληροφοριών για τη συνολική ζημιά και τη συμπεριφορά συγκεκριμένης ομάδας κτιρίου, που πηγάζει από τους παραπάνω υπολογισμούς.

Οι κύριες λειτουργίες του λογισμικού ομαδοποιούνται και είναι οι εξής:

- Η μοντελοποίηση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων κατασκευής και εισαγωγής
- Η αξιολόγηση της απόδοσης και
- Η Εξέταση των αποτελεσμάτων

Τα δύο βοηθητικά προγράμματα PACT που μπορούν να εκτελεστούν εντός του PACT ή ως εντελώς ξεχωριστές λειτουργίες είναι τα εξής:

- α) Ο Διαχειριστής προδιαγραφών τρωτότητας (Vulnerability Specification Manager)
- β) Η δημιουργία μοντέλων πληθυσμού κτιρίων

3.6. Πρόγραμμα SAP (SAP2000 v23)

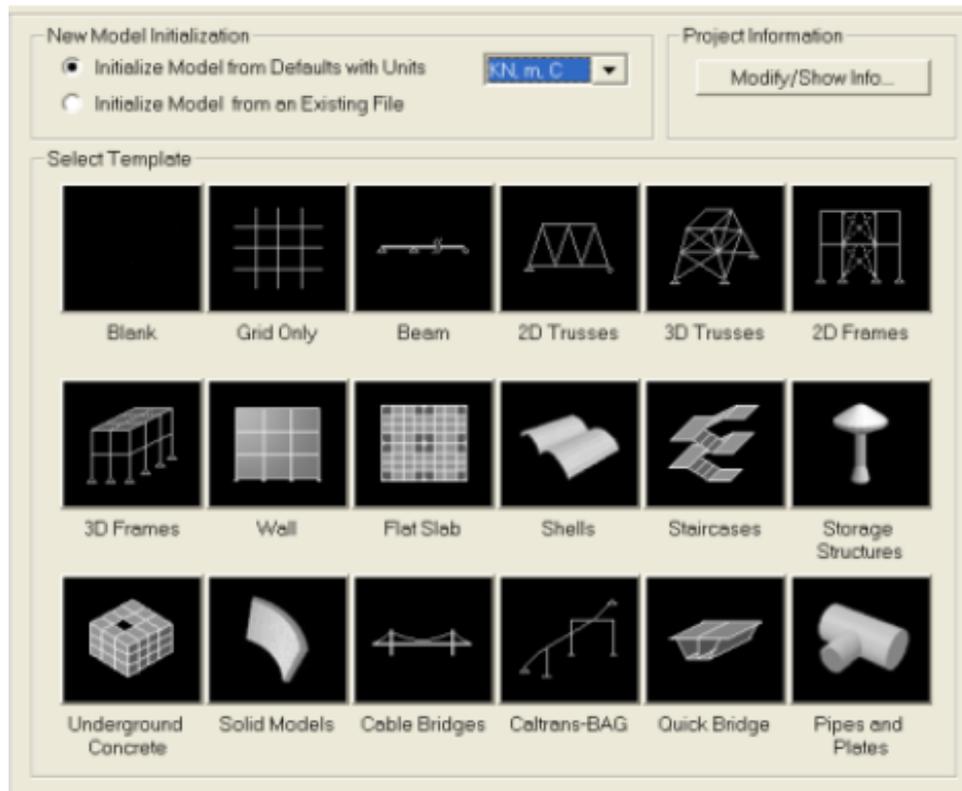
Το SAP 2000, αποτελεί ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιείται ευρέως διεθνώς και αναγνωρίζεται για τις δυνατότητες παραμετροποίησης που προσφέρει, καθώς είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης και ανάλυσης. Οι εκτενείς δυνατότητες παρέμβασης που παρέχονται στον χρήστη, ώστε να ικανοποιήσουν απαιτήσεις για λεπτομερή προσδιορισμό των παραμέτρων της προσομοίωσης, είναι βασικό χαρακτηριστικό του. Η χρήση του προγράμματος αυτού επιλέχθηκε λόγω των δυνατοτήτων παρέμβασης, ώστε να είναι εφικτή η παρουσίαση βήμα προς βήμα των λεπτομερειών της προσομοίωσης και των απαιτήσεων των κανονισμών, καθώς σε άλλα προγράμματα είναι δυσχερής η προσέγγιση αυτή. Ενδέχεται οι επιλογές αυτές να αποτελούν προεπιλογές, «κρυμμένες» πίσω από την γενική επιλογή του εφαρμοζόμενου κανονισμού της μελέτης (Κίρτας Ε. και Παναγόπουλος Γ., 2015)

Συστήματα μεμονωμένα ή από κοινού συστήματα χρησιμοποιούνται για την διαστασιολόγηση των μετατοπίσεων, των φορτίων, των τάσεων και των εσωτερικών δυνάμεων, όπως επίσης και για τον εντοπισμό τους σε διαφορετικά τμήματα ενός δομικού μοντέλου. Με αναφορά σε ένα παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων ορίζονται όλα τα συστήματα συντεταγμένων στο μοντέλο. Το δικό του τοπικό σύστημα συντεταγμένων έχει κάθε μέρος του μοντέλου (άρθρωση, πάκτωση ή κύλιση), καθώς επίσης μπορούν να δημιουργηθούν εναλλακτικά συστήματα συντεταγμένων. Όλα τα συστήματα συντεταγμένων είναι δεξιόστροφα, τρισδιάστατα και ορθογώνια (καρτεσιανά) συστήματα. Για να καθορίσουν τα εναλλακτικά συστήματα συντεταγμένων και τα τοπικά συστήματα συντεταγμένων, χρησιμοποιούνται τα διανυσματικά διασταυρούμενα γινόμενα σε σχέση με το παγκόσμιο σύστημα.

Οι κατευθύνσεις σε ένα σύστημα συντεταγμένων μπορούν να προσδιοριστούν με σφαιρικές ή κυλινδρικές και ορθογώνιες κατευθύνσεις συντεταγμένων σε ένα σημείο, ομοίως οι θέσεις των σημείων σε ένα σύστημα συντεταγμένων μπορούν να προσδιοριστούν χρησιμοποιώντας ορθές καρτεσιανές ή γωνιακές συντεταγμένες.

Τα χαρακτηριστικά της μηχανικής ανάλυσης SAPfire παρέχει τις ακόλουθες δυνατότητες (SAP2000, 2016):

- Γραμμική και μη γραμμική ανάλυση
- Επιδράσεις ερπυσμού, γήρανσης και συρρίκνωσης της γήρανσης
- Στατική και δυναμική ανάλυση
- Στατική ανάλυση pushover και δυναμική σεισμική ανάλυση
- Δυναμική ανάλυση φασματικής πυκνότητας ισχύος και ανάλυση στατικής κατάστασης
- Γεωμετρική μη γραμμικότητα, συμπεριλαμβανομένου των φαινομένων P-δέλτα και μεγάλης μετατόπισης
- Αλφαριθμητικές ετικέτες
- Πολλοί τύποι περιορισμών
- Στοιχεία δομικά κελύφους και πλαισίου, συμπεριλαμβανομένου υποστυλωμάτων-δοκών, μεμβρανών, δικτυωμάτων και συμπεριφοράς πλάκας
- Σύστημα πολλαπλού συντονισμού (συστήματα συνεργασίας)
- Διάφορες επιλογές φόρτισης
- Δισδιάστατα επίπεδα (2D) και αξονομετρικά στερεά στοιχεία
- Τρισδιάστατα (3D) συμπαγή στοιχεία
- Υψηλή (μεγάλη) δυναμικότητα-χωρητικότητα
- Μη γραμμικά στοιχεία σύνδεσης και στήριξης
- Αλγόριθμοι σταθερής λύσης και υψηλής απόδοσης
- Ιδιότητες σύνδεσης και στήριξης που εξαρτώνται από τη συχνότητα
- Ανάλυση λυγισμού
- Στοιχεία τένοντα και καλωδίου
- Ανάλυση ενεργού φορτίου οχημάτων για γέφυρες
- Σταδιακή (βαθμιαία) κατασκευή



Πίνακας 28: Προβολή Εισαγωγής Νέου Μοντέλου στο πρόγραμμα SAP, (SAP2000,2010).

Όλοι οι υπολογισμοί βασίζονται στην επιλογή «Μονάδα Μέτρησης» πχ mm, cm, m . Για μεγέθη με διαφορετικές μονάδες μέτρησης, εισάγεται ο αριθμός και μετά η μονάδα μέτρησης. Η μετατροπή πραγματοποιείται αυτόματα στις μονάδες default μέτρησης (οι οποίες ορίστηκαν αρχικώς).

Η Ευθύνη του Μηχανικού

Με το πρόγραμμα SAP2000 όπως και με οποιαδήποτε άλλο πρόγραμμα ανάλυσης, ο μηχανικός χρήστης είναι αποκλειστικά υπεύθυνος για τυχόν σφάλματα που θα κάνει το πρόγραμμα στα αποτελέσματα, καθώς πρέπει να γνωρίζει ακριβώς τι εισήγαγε. Για το λόγο αυτό, δεν πρέπει να παρασύρετε από την ευκολία χρήσης του προγράμματος και τα όμορφα γραφικά.

- Εννοείται ότι η χρήση τέτοιων προγραμμάτων απαιτεί άριστη γνώση δυναμικής και στατικής ανάλυσης.

- Συνίσταται καλύτερα να δοκιμαστεί ένα απλό παράδειγμα με το πρόγραμμα, ώστε τα αποτελέσματα να μπορούν να επιβεβαιωθούν.
- Κάθε μηχανικός θα πρέπει να έχει διαβάσει προσεκτικά όλα τα εγχειρίδια χρήσης.
- Πρέπει να έχει μια «αίσθηση» του σωστού αποτελέσματος.
- Θα πρέπει να γνωρίζει τους περιορισμούς και τις δυνατότητες του προγράμματος.

Το ίδιο το πρόγραμμα δεν φέρει καμία ευθύνη και υποχρεώνει τον χρήστη να επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα του. Βασικό του πλεονέκτημα όμως αποτελεί η δυνατότητα παρέμβασης που προσφέρει το πρόγραμμα στον χρήστη, επιτρέποντας δηλαδή το λεπτομερή προσδιορισμό των διάφορων παραμέτρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- Εφαρμογή Λογισμικών Σεισμικής Τρωτότητας σε ΕΕΛ

4.1. Μελέτη Περίπτωσης

Η υπό μελέτη ΕΕΛ Ηγουμενίσσας, στην Περιφερειακή Ενότητα Θεσπρωτίας (τέως Νομός Θεσπρωτίας), χωροθετείται στον Καλλικρατικό Δήμο Ηγουμενίσσας ο οποίος ανήκει στην Περιφέρεια Ηπείρου. Οι εξυπηρετούμενοι από την Ε.Ε.Λ. οικισμοί είναι οι εξής :

- Σύβοτα
- Αρίλλας
- Πλαταριά
- Πέρδικα

Το έργο προβλέπεται να εξυπηρετεί επίσης και ορισμένους απομονωμένους ορεινούς οικισμούς από τους οποίους θα παραλαμβάνει βοθρολύματα μέσω βυτιοφόρων.

Η ευρύτερη περιοχή της ΕΕΛ γεωλογικά ανήκει στην Ιόνια ζώνη, η οποία χαρακτηρίζεται σαν μια ηπειρωτική λεκάνη με πελαγική και ημιπελαγική ιζηματογένεση. Η ζώνη του Ιονίου ωθήθηκε δυτικά πάνω στην ζώνη Παξών, ενώ προς τα ανατολικά πάνω στη ζώνη αυτή βρίσκεται επωθημένη η ζώνη της Πίνδου.

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την τοποθεσία της ΕΕΛ.



Πίνακας 29: Τοποθεσία ΕΕΛ Ηγουμενίτσας

Υποδομές

Τα κτίρια και οι δεξαμενές που περιλαμβάνονται στην μελέτη της ΕΕΛ στην περιοχή της Ηγουμενίτσας είναι αναλυτικότερα τα εξής:

1. Μονάδα Προεπεξεργασίας Λυμάτων
2. Διατάξεις Καθίζησης
3. Διατάξεις Απονιτροποίησης – Μονάδα Βιολογικής Επεξεργασίας
4. Διατάξεις Απολύμανσης (Δεξαμενή Χλωρίωσης)
5. Μεριστής Παροχής

Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τις υποδομές της ΕΕΛ είναι:

- Σκυρόδεμα για την κατασκευή των κτιρίων C20/25
- Σκυρόδεμα για την κατασκευή των δεξαμενών C30/37

- Σκυρόδεμα για την κατασκευή των δαπέδων επί εδάφους C20/25
- Σκυρόδεμα δευτερευουσών κατασκευών, εξομαλυντικών στρώσεων & πεζοδρομίων C12/15
- Δομικά Πλέγματα B500c
- Χάλυβας κυρίων & βοηθητικών οπλισμών B500c

Ακολουθώντας την αξιολόγηση της γεωτεχνικής μελέτης, η θεμελίωση των δεξαμενών κατασκευάστηκε με γενική κοιτόστρωση. Κάτω από την θεμελίωση διαστρώνονται 10 εκ. σκυρόδεμα καθαριότητας C12/15.

Μόνιμα Φορτία

- Ίδιο Βάρος Οπλισμένου Σκυροδέματος 25.00 KN/m³
- Ίδιο Βάρος γαιών 20.00 KN/m³
- Βάρος δρομικής οπτοπλινθοδομής πάχους 10εκ. 2.10 KN/m²
- Βάρος μπατικής οπτοπλινθοδομής πάχους 20εκ. 3.60 KN/m²
- Βάρος οπτοπλινθοδομής πάχους 30εκ. 5.00 KN/m²
- Χωρίσματα γυψοσανίδας 2+2 0.50 KN/m²
- Επικάλυψη δαπέδων γενικά 2.00 KN/m²
- Μόνωση δώματος 2.50 KN/m²

Κινητά Φορτία

- Ίδιο βάρος λυμάτων και λάσπης 15.00 KN/m²
- Φορτίο δαπέδων γενικά 5.00 KN/m²
- Εξώστες 5.00 KN/m²
- Φορτίο δωματίων 2.00 KN/m²
- Φορτίο χιονιού 0.80 KN/m²

Σεισμός

Για τον υπολογισμό της σεισμικής εντάσεως εφαρμόστηκε σεισμικός συντελεστής βάσεως $\alpha=0,24$ g, η περιοχή ανήκει σε κατηγορία Σεισμικότητα II κατά τον ΕΑΚ2003 με Κατηγορία εδάφους A, η σπουδαιότητα θεωρήθηκε Σ3, $\gamma_1=1,15$ λόγω της υψηλής οικονομικής αξίας των εγκαταστάσεων, καθώς επίσης χρησιμοποιήθηκε συντελεστής μεταλαστικής συμπεριφοράς για δεξαμενές $q=1,00$, ενώ για κτίρια $q=3,50$ και για συντελεστή θεμελίωσης $q=1,00$.

4.2. Δεξαμενές Καθίζησης

Η μελέτη παρακάτω εστιάζει σε μια πρότυπη δεξαμενή καθίζησης.

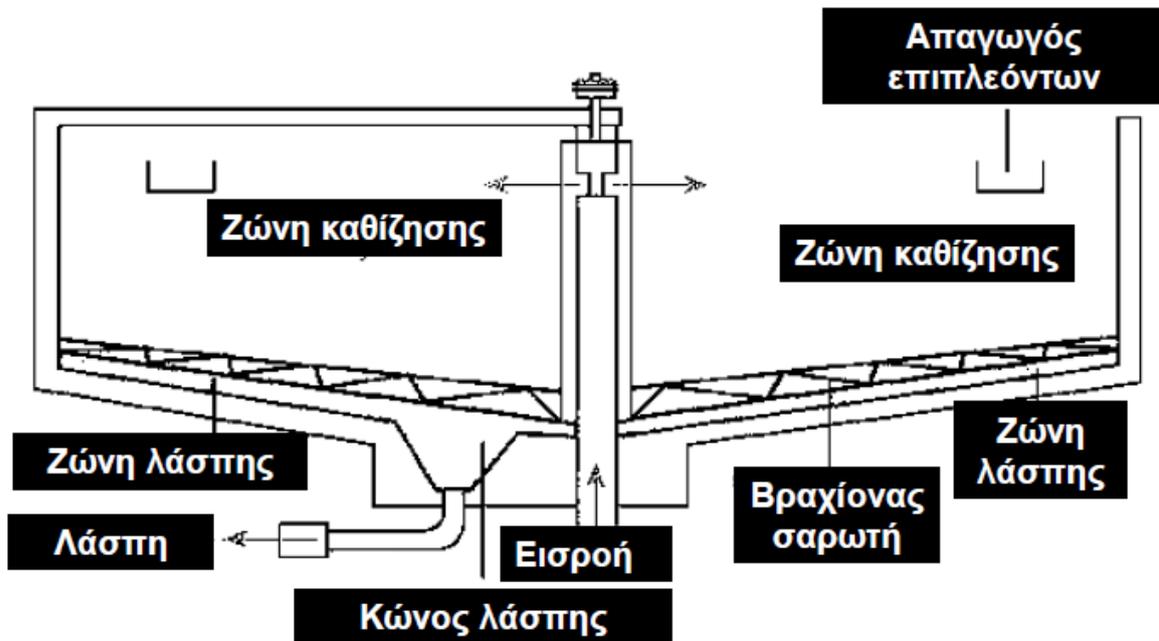
Η δεξαμενή καθίζησης διαχωρίζει από τα λύματα όλες τις ουσίες που έχουν την ιδιότητα να καθιζάνουν είτε να επιπλέουν (Ζαφειράκου Α.,2022). Είναι η βασική διεργασία που διεξάγεται στα λύματα, στα πλαίσια της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας. Στη βασική τους λειτουργία μειώνουν σημαντικά τον ρυθμό της ταχύτητας της ροής των λυμάτων, έχοντας ως αποτέλεσμα τα βαρύτερα και μεγαλύτερα αιωρούμενα σωματίδια που καθιζάνουν στον πυθμένα.

Η μορφή που συνήθως έχουν οι δεξαμενές είναι:

- **Κυκλική** όπου ρέει ακτινικά από το κέντρο προς την περίμετρο
- **Ορθογωνική** με ρευστό να ρέει κατά μήκος της μεγάλης πλευράς

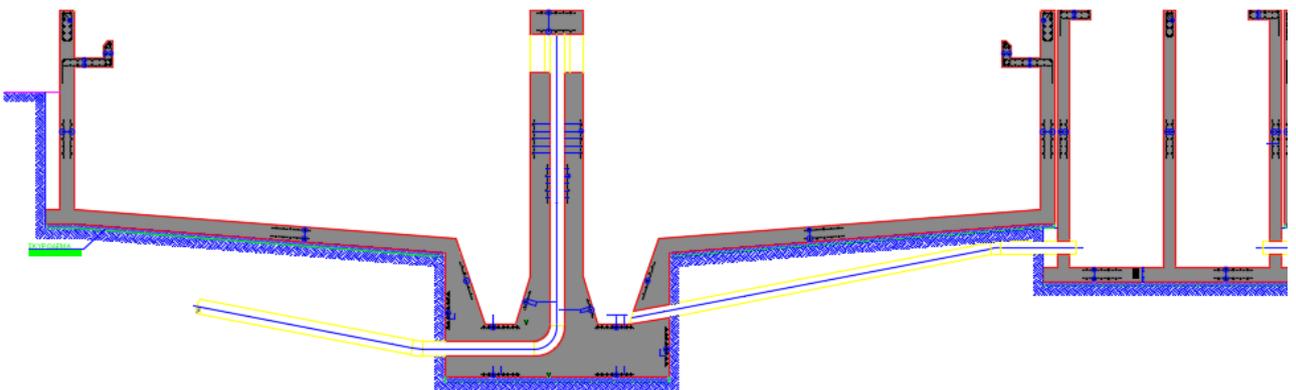
Σε μια ορθογώνια δεξαμενή, τα λύματα εισέρχονται από τη μια στενή πλευρά, όμως η εκροή υπερκείμενου πραγματοποιείται από την άλλη πλευρά. Το μήκος της ορθογώνιας κατασκευής είναι περίπου 30 m (έως 90 m) και το πλάτος έως 25 m. Ο πυθμένας είναι κατασκευασμένος με ελαφριά κλίση περίπου 1%.

Οι κυκλικές δεξαμενές έχουν διαμέτρου έως 60m (πιο σύνηθες 15-30m). Ο πυθμένας είναι κατασκευασμένος με κλίση 8-12%. Όλες οι δεξαμενές καθίζησης έχουν εύρος βάθους 2-4 m.

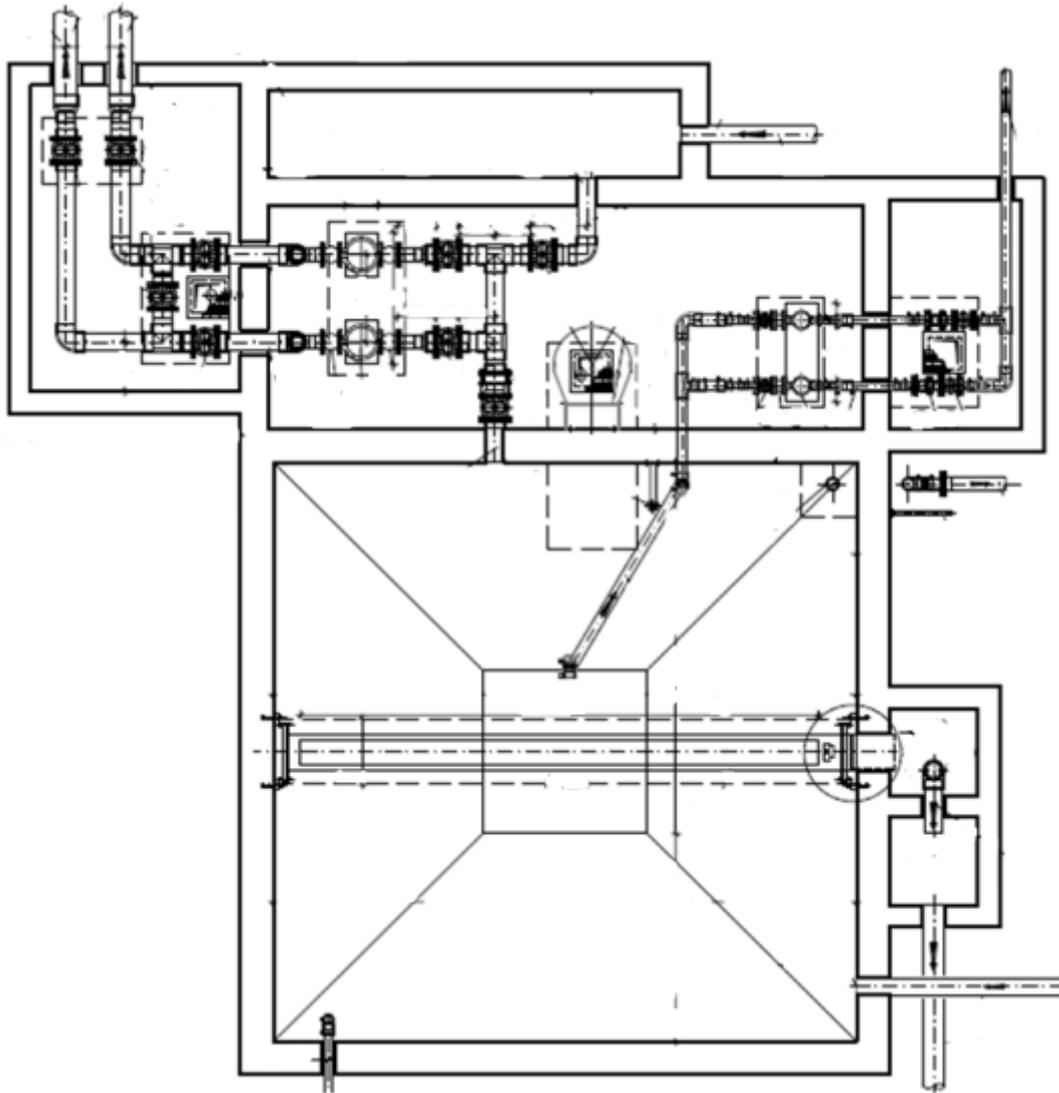


Πίνακας 30: Αναλυτικό σχέδιο κυκλικής δεξαμενής , (Τεχνολογία Επεξεργασίας Αποβλήτων, 2022)

Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται πρότυπα σχέδια από μικρές, μεσαίες και μεγάλες δεξαμενές καθίζησης, οι οποίες διαφοροποιούνται ανάλογα με τον ισοδύναμο πληθυσμό της κάθε περιοχής .



Πίνακας 31: α) Πρότυπη Τομή Δεξαμενής Καθίζησης



Πίνακας 32: Πρότυπη κάτοψη δεξαμενής

4.3. Υπολογισμός Σεισμικής Τρωτότητας της ΕΕΛ Ηγουμενίσσας

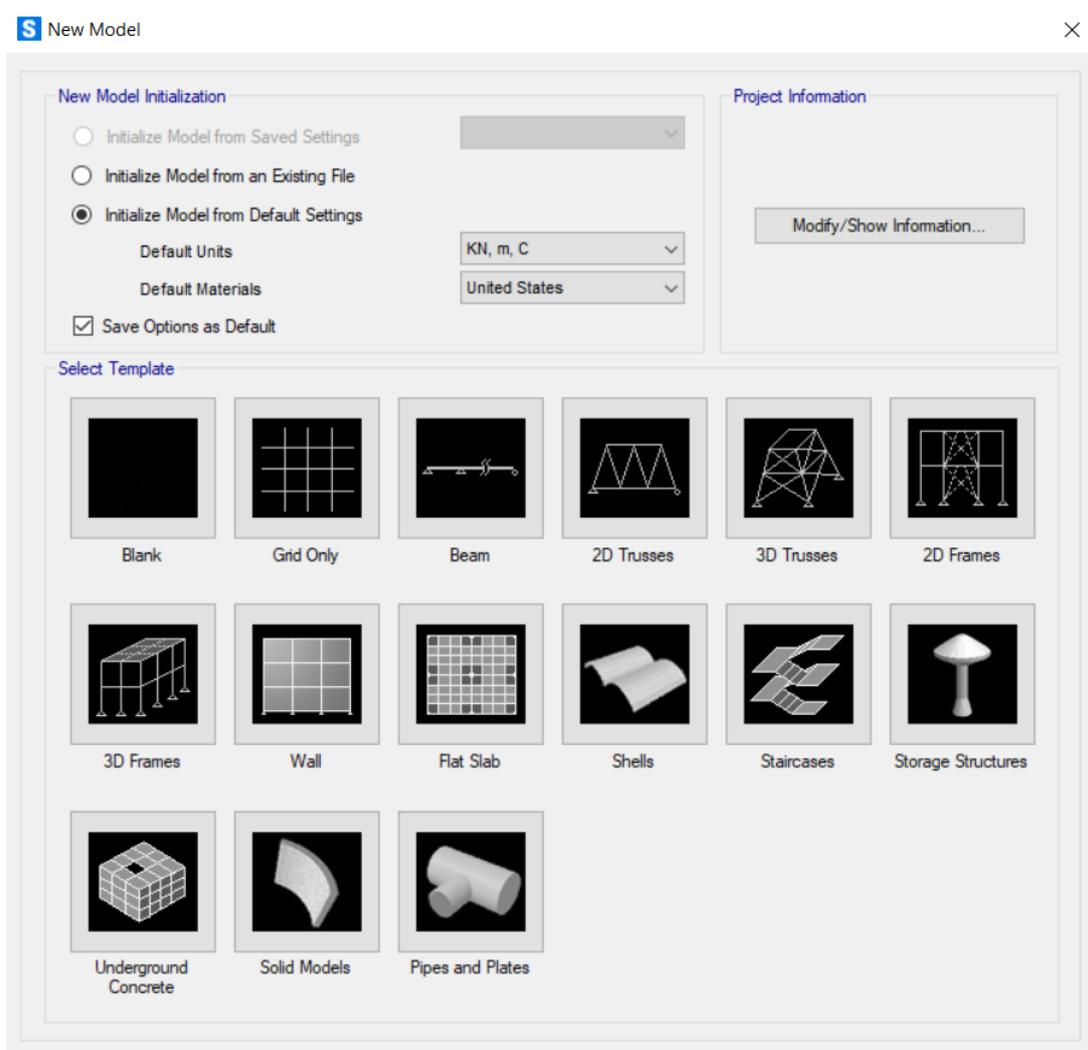
4.3.1. Υπολογισμός καμπυλών τρωτότητας μέσω του προγράμματος SAP

➤ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΦΟΡΕΑ

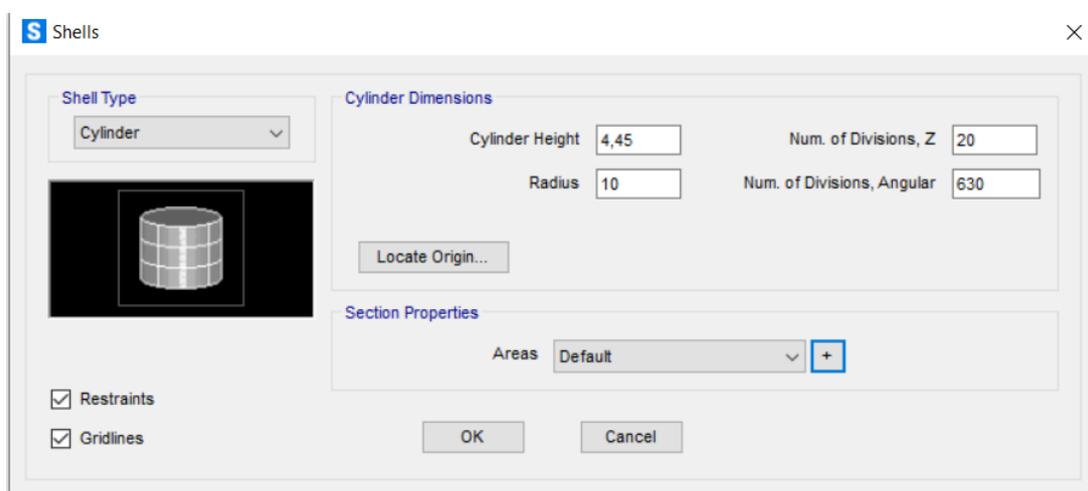
Με την είσοδο μας στο πρόγραμμα ξεκινάμε την διαδικασία δημιουργίας του αρχείου πατώντας τις εντολές: [Menu File](#) → [New Model](#). Αφού επιλέξουμε τις μονάδες S.I στις

οποίες και θα εργαστούμε, στην συνέχεια δημιουργήθηκε το προσομοίωμα με την βοήθεια του **Shells**, όπου και τροποποιήθηκε.

Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στο παράδειγμα μας είναι KN, m, C°.

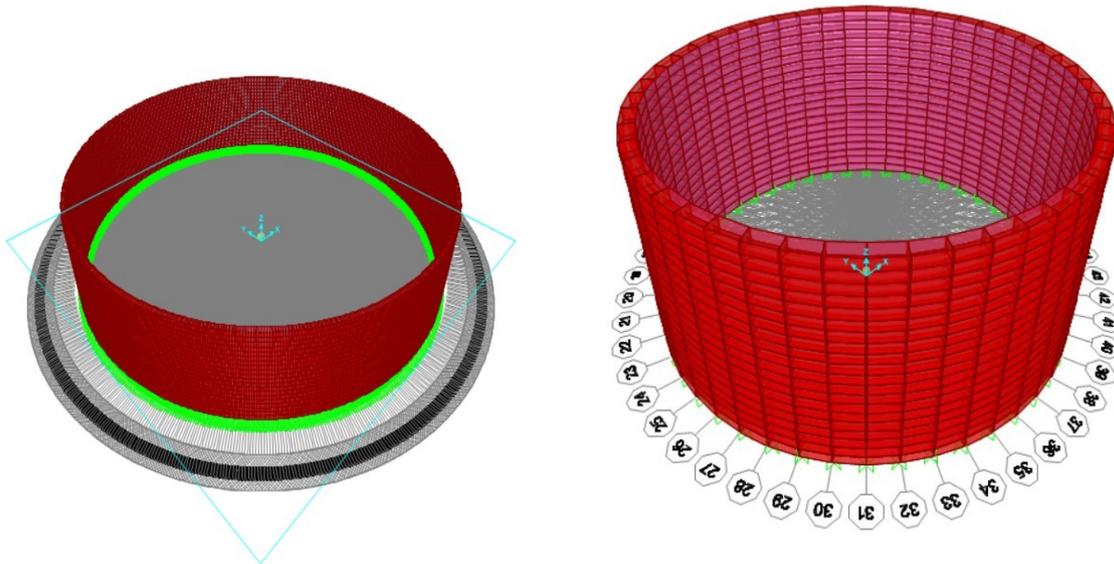


Πίνακας 33: Εισαγωγή του Νέου Μοντέλου



Πίνακας 34:Εισαγωγή Δεδομένων στο Μοντέλο

Στις παρακάτω εικόνες A και B διακρίνονται οι απεικονίσεις των πρότυπων προσομοιωμάτων δεξαμενών σε 3D.



Πίνακας 35: Πρότυπα Προσομοιωμάτων Δεξαμενών A και B

Στην συνέχεια θα ορίσουμε τα υλικά , χρησιμοποιώντας τις εντολές: **Define** →**Materials** →**Add New Material** ώστε να δημιουργηθεί το υλικό που χρησιμοποιείται. Ορίσθηκε ο τύπος και η κατηγορία του υλικού (χάλυβας, σκυρόδεμα, κ.τ.λ.). Ως δομικό υλικό στην κατασκευή χρησιμοποιήθηκε το σκυρόδεμα C30/37.

Εν συνεχεία ορίσθηκαν οι ιδιότητες του υλικού, οι οποίες είναι: το ειδικό βάρος(weight per unit volume), το μέτρο ελαστικότητας (modulus of elasticity) , ο λόγος του Poisson, η πυκνότητα (mass per unit volume), το μέτρο διάτμησης (shear modulus), και ο συντελεστής θερμικής διαστολής α (coefficient of thermal expansion).

Για το σκυρόδεμα ισχύουν:

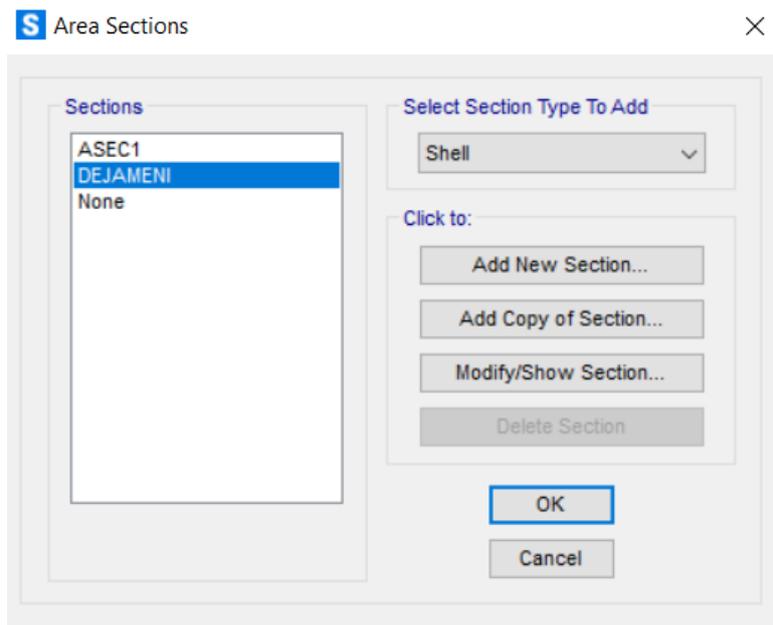
- Ίδιο βάρος $\gamma=25 \text{ kN/m}^3$
- Μέτρο ελαστικότητας $E=30 \text{ GPa}$

S Material Property Data ×

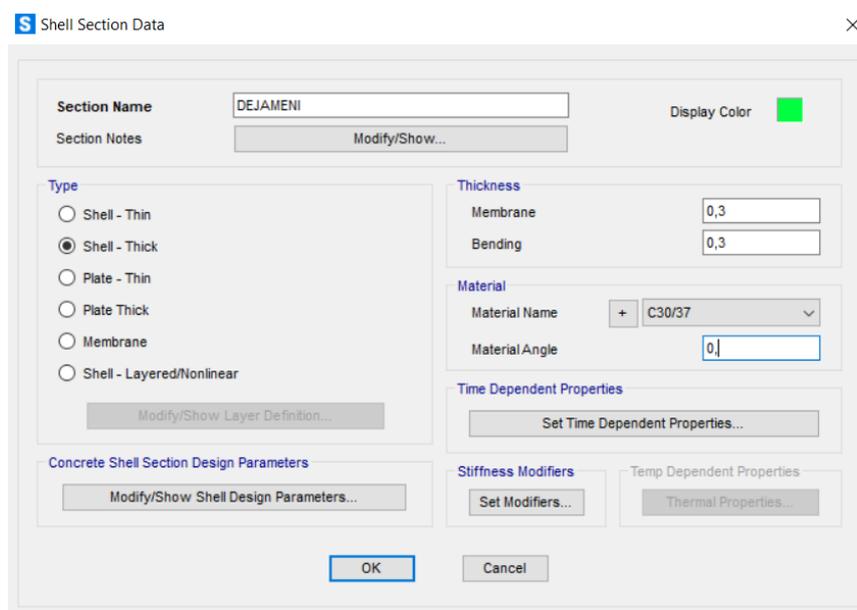
General Data	
Material Name and Display Color	C30/37
Material Type	Concrete
Material Grade	
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	24,9926
Mass per Unit Volume	2,5485
Units: KN, m, C	
Isotropic Property Data	
Modulus Of Elasticity, E	30000000,
Poisson, U	0,2
Coefficient Of Thermal Expansion, A	1,000E-05
Shear Modulus, G	12500000,
Other Properties For Concrete Materials	
Specified Concrete Compressive Strength, f _c	30000,
Expected Concrete Compressive Strength	30000,
<input type="checkbox"/> Lightweight Concrete	
Shear Strength Reduction Factor	
<input type="checkbox"/> Switch To Advanced Property Display	
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Πίνακας 36: Καθορισμός Χαρακτηριστικών του Σκυροδέματος C30/37

Μετά τις εντολές: **Define**→ **Section Properties** →**Area Sections** επιλέχθηκαν οι εξής εντολές: **Shells**→ **Add New Sections** και δόθηκαν τα πάχη της δεξαμενής, όπως εμφανίζονται στην παρακάτω εικόνα.

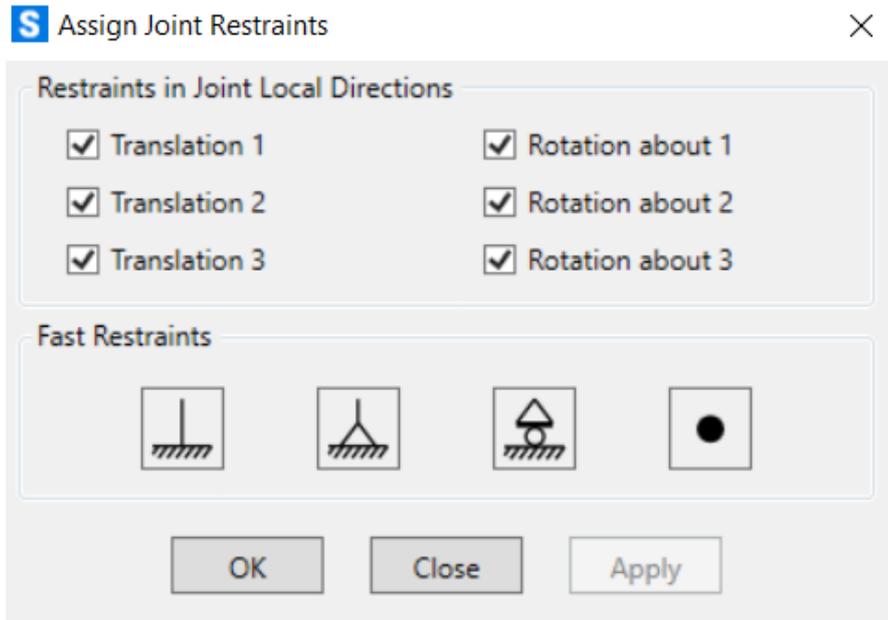


Πίνακας 37: Καθορισμός Area Sections Δεξαμενής



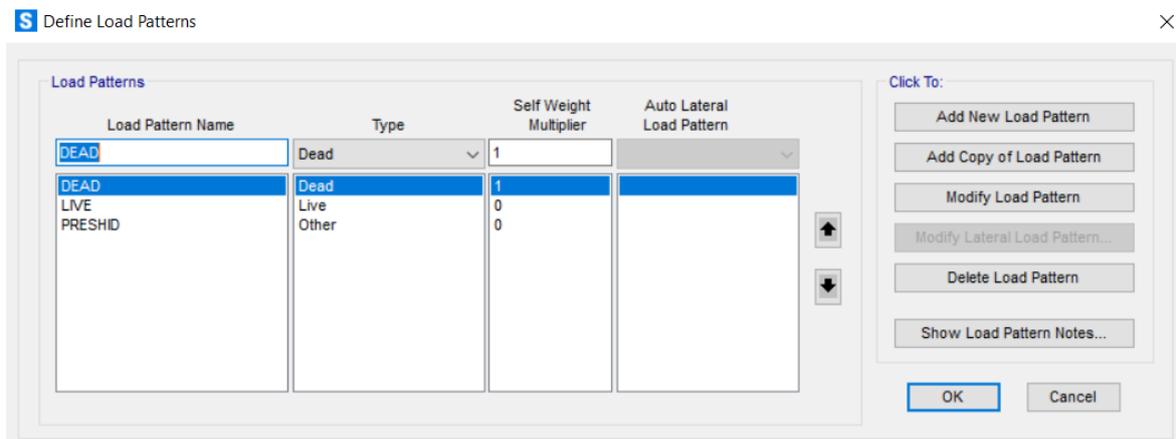
Πίνακας 38: Καθορισμός Χαρακτηριστικών Δεξαμενής (πάχη και διαστάσεις)

Έπειτα επιλέχθηκαν οι στηρίξεις του προσομοιώματος, όπου ορίζονται ως πακτώσεις από τις εντολές: [Assign](#) → [Joint](#) → [Restraints](#).



Πίνακας 39: Καθορισμός Στηρίξεων

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η εισαγωγή Load Pattern, όπου περιέχει τα κινητά φορτία και πραγματοποιήθηκαν τα παρακάτω βήματα [Define](#) → [Load Patterns](#).



Πίνακας 40: Καθορισμός Load Patterns των Κατακόρυφων Φορτίων

Για την φόρτωση PRESS, ακολουθήθηκαν τα βήματα με τις εξής εντολές: [Assign](#) → [Joint Patterns](#).

S Assign Joint Pattern Data ×

General

Joint Pattern Name:

Pattern Assignment Type

X, Y, Z Multipliers (Pattern Value = Ax + By + Cz + D)
 Z Coordinate at Zero Pressure and Weight per Unit Volume

Z Coordinate at Zero Pressure and Weight per Unit Volume

Z Coordinate m	Unit Weight kN/m ³	Restriction
2.85	15	Zero Negative Values

Added Uniform Value per Unit Area: kN/m²

Restrictions

Use All Values
 Zero Negative Values
 Zero Positive Values

Options

Add to Existing Values
 Replace Existing Values
 Delete Existing Values

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Πίνακας 41: Καθορισμός Assign joint Pattern Data με την ονομασία PRESS

Ορίσθηκε ένα νέο μοτίβο φορτίου με το όνομα PRESSHID, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.3.1.10 παρακάτω, ακολουθώντας την εξής διαδικασία εντολών: [Assign](#) → [Area Loads](#) → [Surface Pressure \(All\)](#).

S Assign Area Surface Pressure Loads ×

Load Pattern

Load Pattern: PRESHID

Loaded Face

Top
 Bottom
 Edge

Edge Face Number:

Pressure

By Element
Pressure:

By Joint Pattern
Joint Pattern: PRESS

Multiplier: kN/m²

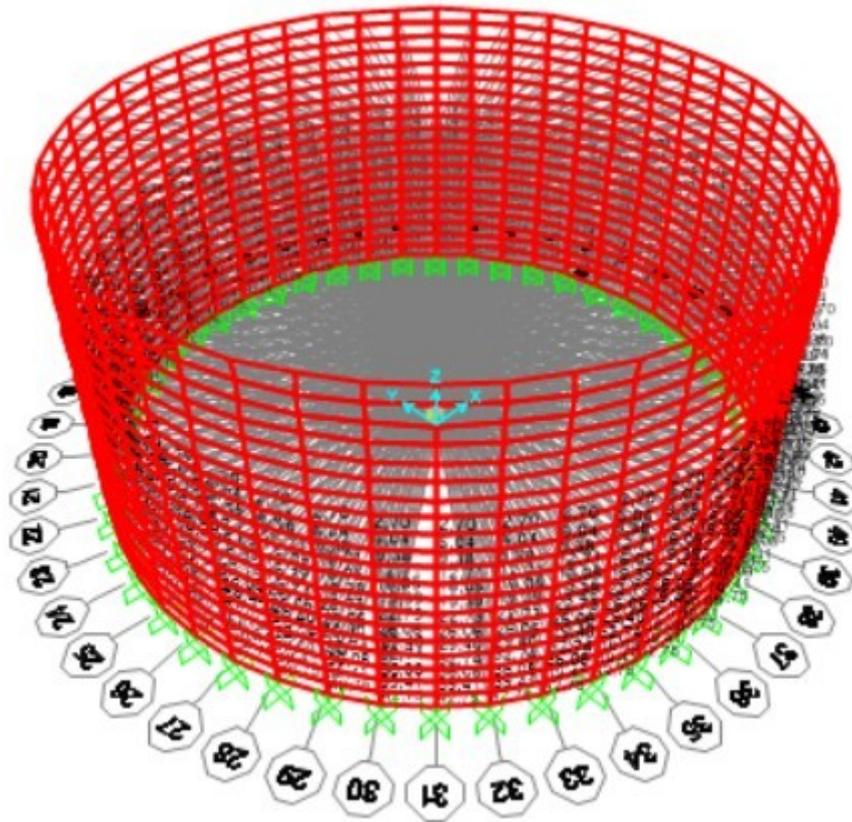
Options

Add to Existing Loads
 Replace Existing Loads
 Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

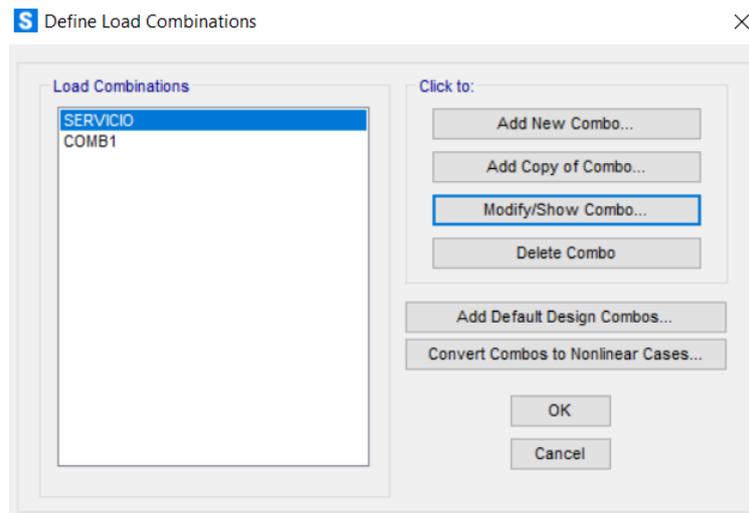
OK Close Apply

Πίνακας 42: Νέο Μοτίβο Φόρτισης με το όνομα PRESHID



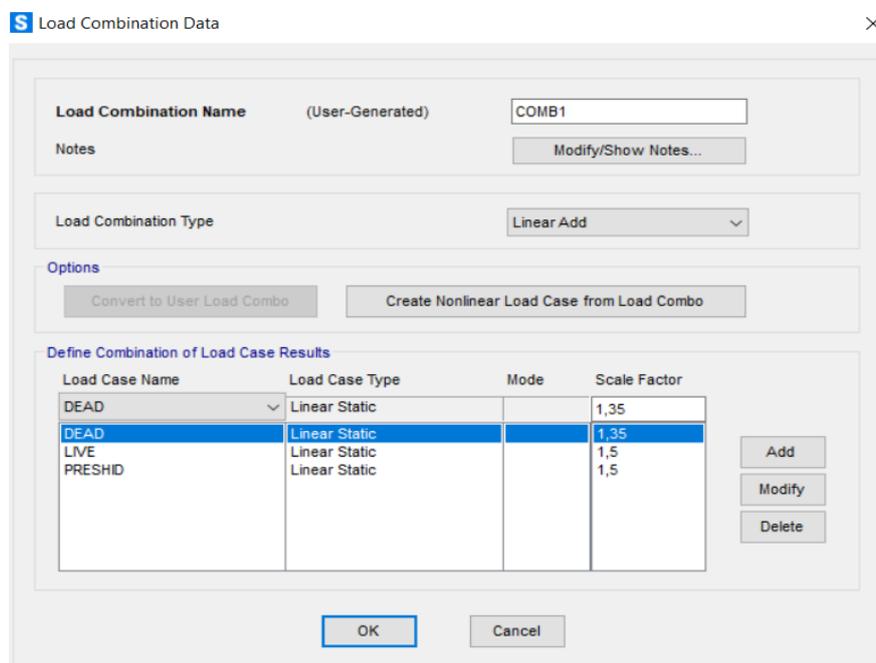
Πίνακας 43: Πρότυπο Προσομοίωμα Δεξαμενής με Φορτίσεις

Ακολουθήθηκε η εκτέλεση των εντολών: [Define](#) → [Section Properties](#) → [Area Sections](#) για τον ορισμό δεδομένων.



Πίνακας 44: Ορισμός Δεδομένων

Για τον συνδυασμό φόρτισης χρησιμοποιήθηκαν οι εντολές: **Define** → **Load Combinations** και εισήχθησαν οι εξής τιμές που αναγράφονται στο Scale Factor στην παρακάτω εικόνα.



Πίνακας 45: Καθορισμός Συνδυασμού Φόρτισης για την Γραμμική Στατική Ανάλυση υπό την Δράση Κατακόρυφων Φορτίων

S Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

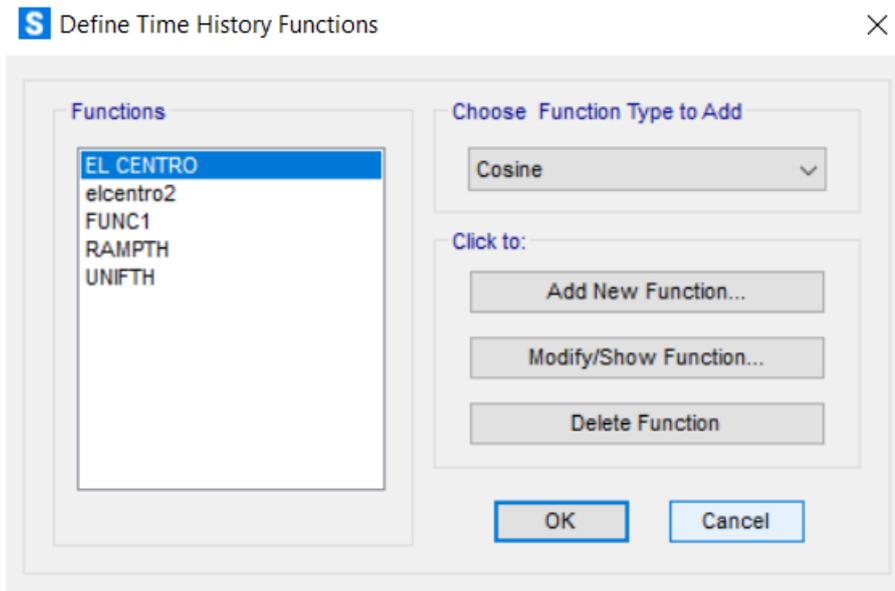
Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
DEAD	Linear Static		1,
DEAD	Linear Static		1,
LIVE	Linear Static		1,
PRESHID	Linear Static		1,

Πίνακας 46: Καθορισμός Συνδυασμού Φόρτισης για την Γραμμική Στατική Ανάλυση υπό την Δράση Κατακόρυφων Φορτίων

Ανάλυση Χρονοϊστορίας

Για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση Χρονοϊστορίας είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της διέγερσης που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε, για αυτό το SAP2000 μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε διεγέρσεις που περιγράφονται από συγκεκριμένες συναρτήσεις όπως είναι οι συνημιτονοειδής ή οι ημιτονοειδής αλλά και διεγέρσεις, όπως οι σεισμικές, που μπορούν να περιγραφούν μόνο από ένα σύνολο σημείων. Επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε διεγέρσεις από δέκα ισχυρά σεισμικά γεγονότα, ώστε να υπάρχει ένα εύρος τιμών (που εμπεριέχονται στο πρόγραμμα SAP). Συγκεκριμένα επιλέχθηκε ο σεισμός του EL_CENTRO, καθώς και 9 επιπλέον σεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν με τυχαία επιλογή.

Ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία χρήσης των εντολών: **Define** → **Functions** → **Time History** και αντί για **Cosine** επιλέγω το **From File** όπως στην εικόνα 17 του κεφαλαίου.



Πίνακας 47:Καθορισμός Συνάρτησης Χρονοϊστορίας

Η πρώτη στήλη καθορίζει τον χρόνο και η δεύτερη την επιτάχυνση που έχουμε τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ο Σεισμός αυτός έγινε στην California 18 Μαΐου το 1940 με μέγιστη επιτάχυνση 0,3495g

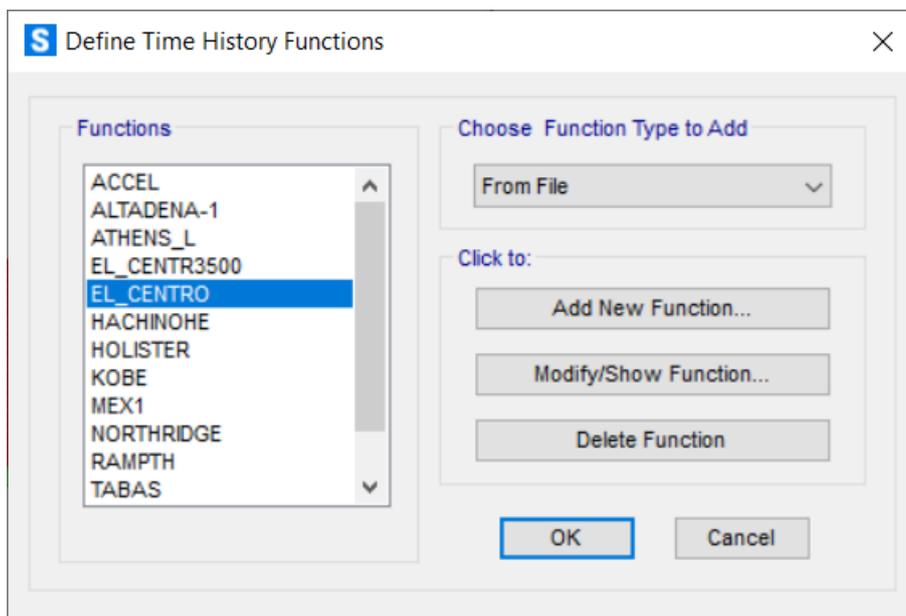
El-Centro earthquake signal:
 North-south component recorded at Imperial Valley Irrigation District substation in El Centro, California, during the Imperial Valley, California earthquake of May, 18, 1940, The magnitude is 7,1, and the maximum ground acceleration is 0,3495g

Time (sec)	Acceleration (g)
0,000000e+00	1,100000e-03
2,000000e-02	1,100000e-03
4,000000e-02	1,300000e-03
6,000000e-02	1,400000e-03
8,000000e-02	1,300000e-03
1,000000e-01	1,200000e-03
1,200000e-01	1,200000e-03
1,400000e-01	1,200000e-03
1,600000e-01	1,600000e-03
1,800000e-01	1,200000e-03
2,000000e-01	1,300000e-03
2,200000e-01	1,300000e-03
2,400000e-01	1,100000e-03
2,600000e-01	1,300000e-03
2,800000e-01	1,300000e-03
3,000000e-01	1,100000e-03
3,200000e-01	1,200000e-03
3,400000e-01	1,200000e-03
3,600000e-01	1,300000e-03
3,800000e-01	1,100000e-03
4,000000e-01	1,300000e-03
4,200000e-01	1,100000e-03
4,400000e-01	1,200000e-03
4,600000e-01	1,600000e-03
4,800000e-01	1,500000e-03
5,000000e-01	1,300000e-03
5,200000e-01	1,200000e-03
5,400000e-01	1,100000e-03
5,600000e-01	1,300000e-03
5,800000e-01	1,000000e-03
6,000000e-01	1,100000e-03
6,200000e-01	1,300000e-03
6,400000e-01	1,200000e-03

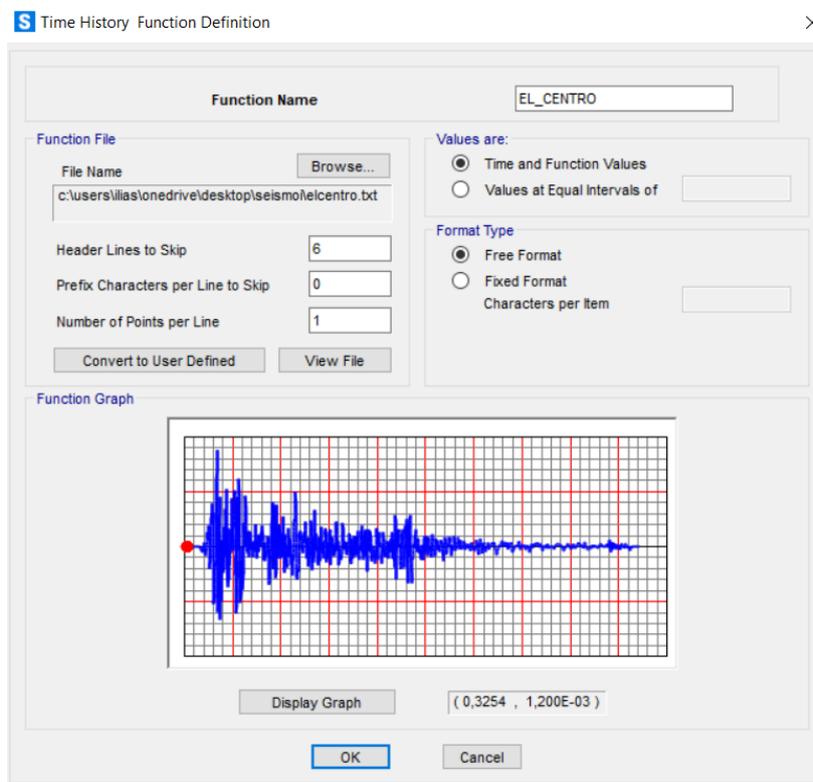
Πίνακας 48:Αρχείο Επιταχυνσιογραφήματος σε Δύο Στήλες

Πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία για ακόμα 9 σεισμούς. Οι σεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής: ACCEL με μέγιστη επιτάχυνση 0,3391g,

ALTADENA-1 με μέγιστη επιτάχυνση 2,8g, ATHENS_L με μέγιστη επιτάχυνση 4,8g, HACHINOHE με μέγιστη επιτάχυνση 0,229g, HOLISTER με μέγιστη επιτάχυνση 3,2, KOBE με μέγιστη επιτάχυνση 0,8337g, MEX1 με μέγιστη επιτάχυνση 0,8726g, NORTHRIDE με μέγιστη επιτάχυνση 0,8428g ,TABAS με μέγιστη επιτάχυνση 0,6884g.



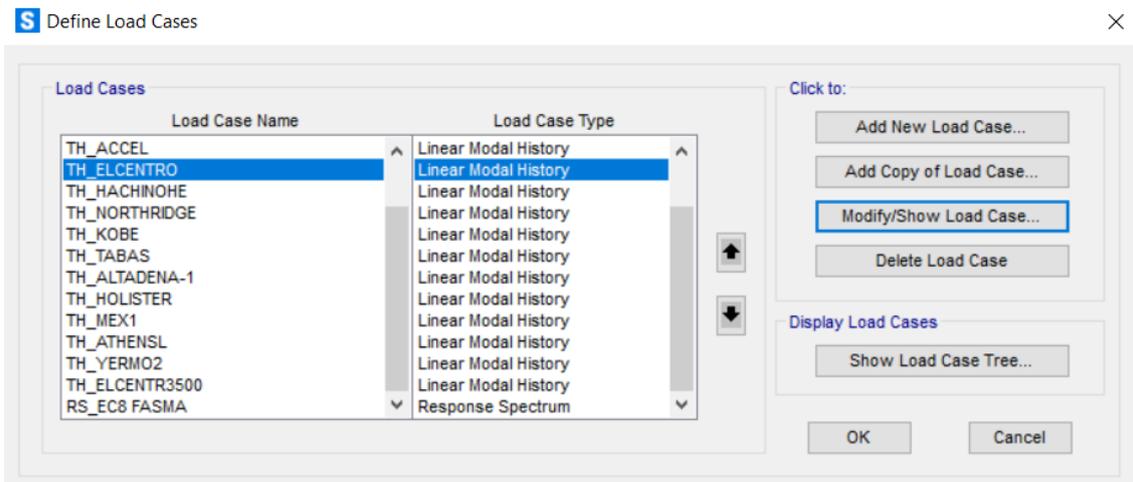
Πίνακας 49: Επιλογή τύπου Συνάρτησης που θέλουμε να προσθέσουμε στο αρχείο



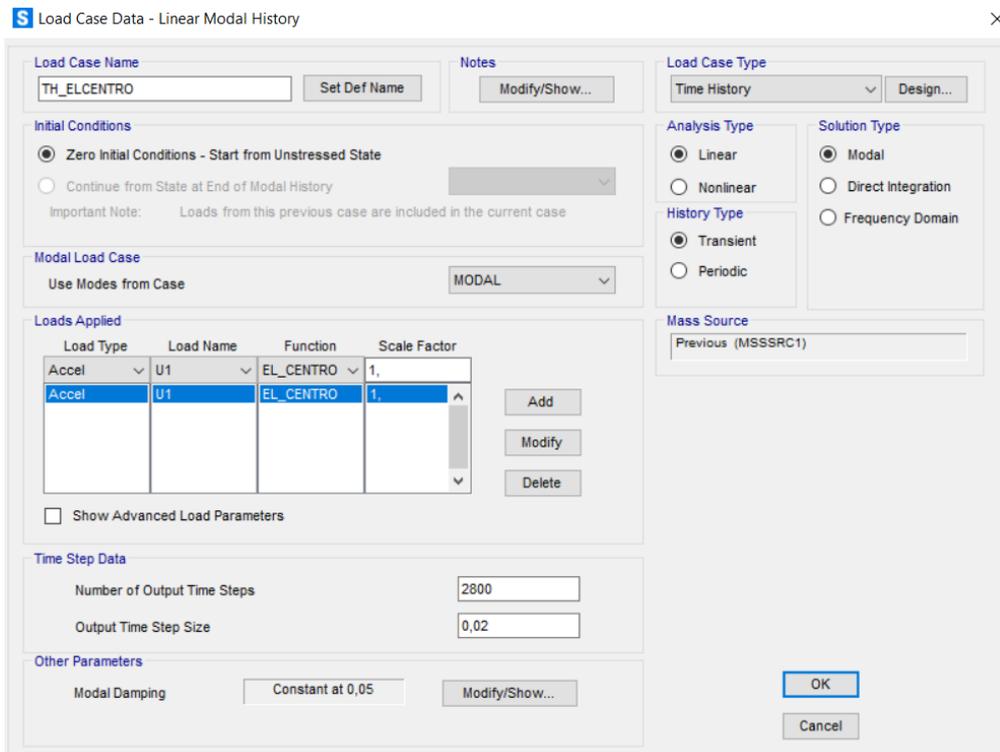
Πίνακας 50: Εισαγωγή του Επιταχυνσιογραφήματος έχοντας δύο στήλες Δεδομένων του χρόνου και των επιταχύνσεων

Στην συνέχεια, καθορίστηκε ο συνολικός αριθμός των χρονικών βημάτων που επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε από το αρχείο που έχουμε εισάγει, καθώς επίσης και το μέγεθος του χρονικού βήματος.

Χρησιμοποιήθηκαν οι εντολές: **Define** → **Load Case** → **Add New Load Case**

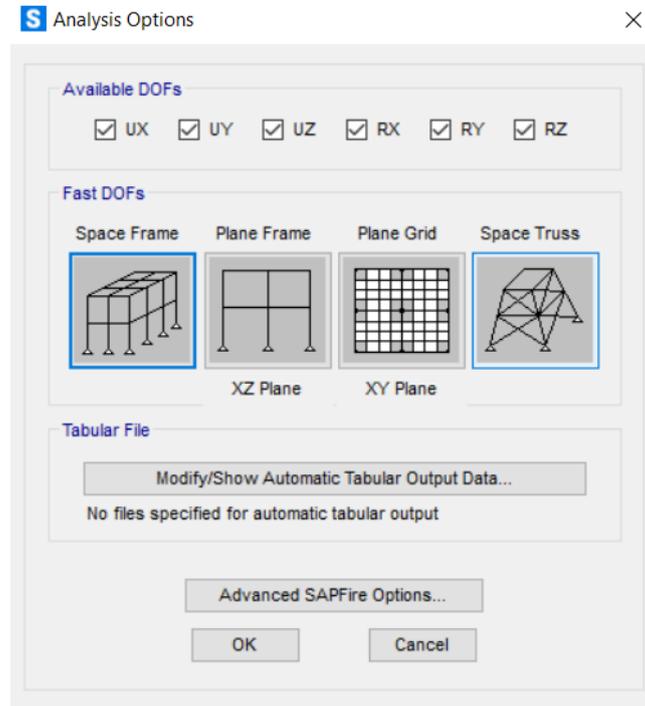


Πίνακας 51: Δημιουργία των Define Load Cases για Time History

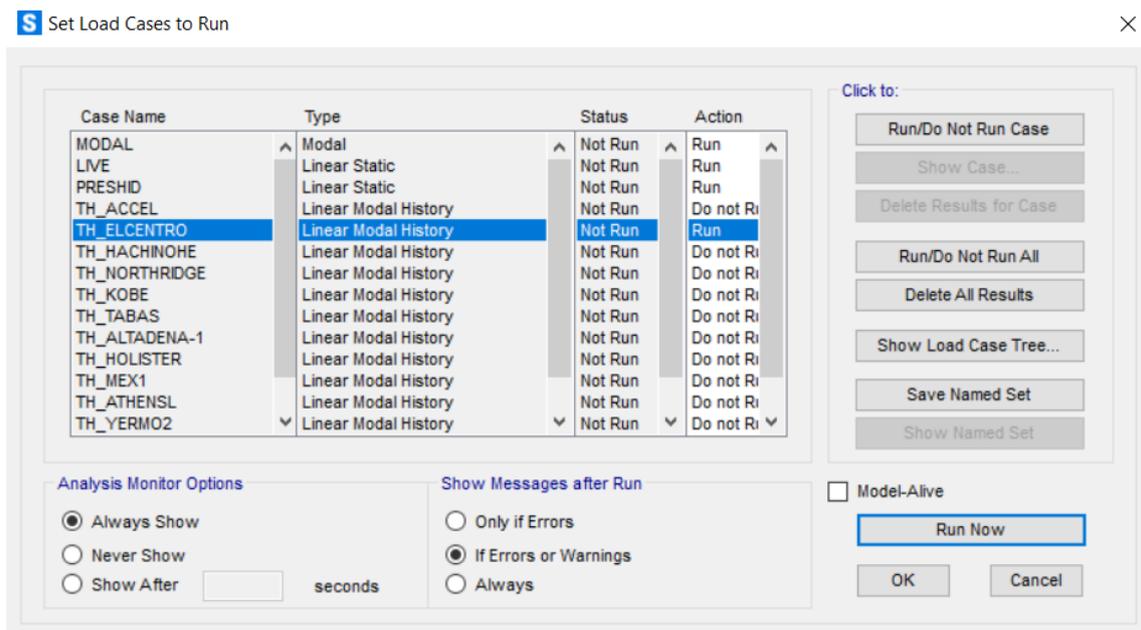


Πίνακας 52: Καθορισμός Load Case που Περιέχει την Δύναμη λόγω Σεισμικής Διέγερσης

Ξεκίνησε η διαδικασία της ανάλυσης με την χρήση των εντολών: **Analyze → Set analysis options → Space Frame** και **Analyze → Run Analysis**.

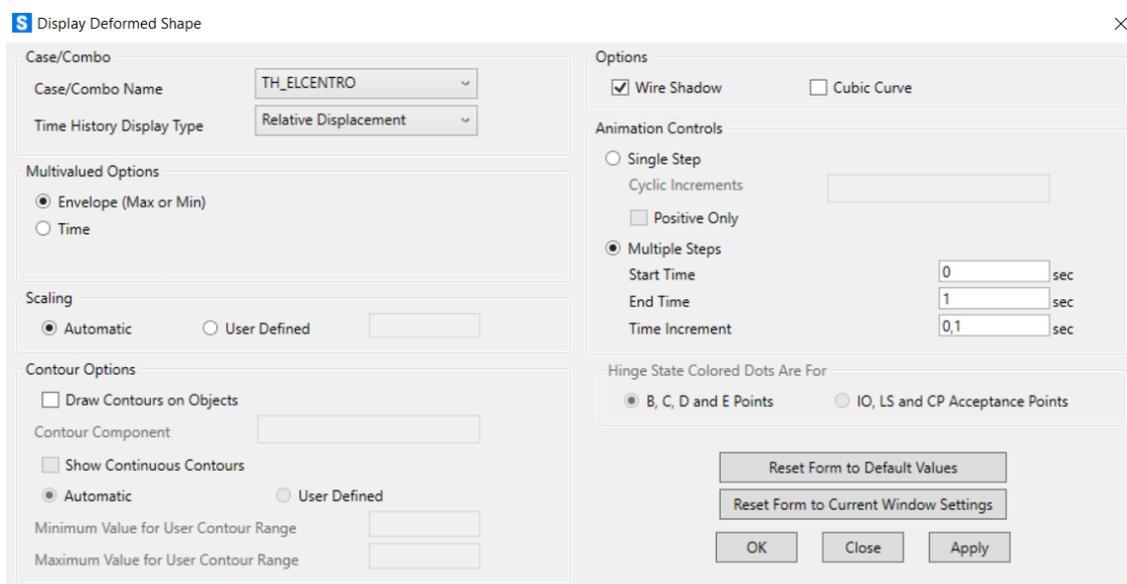


Πίνακας 53: Επιλογή Ανάλυσης του Φορέα- Καθορισμός των Βαθμών Ελευθερίας/Κόμβου



Πίνακας 54: Εκκίνηση Διαδικασίας για την Ανάλυση του φορέα.

Με την παρακάτω διαδικασία εμφανίσθηκε η μετατόπιση του προσομοιώματος, επιλέγοντας το σωστό Time History κάθε φορά.



Πίνακας 55: Παραμόρφωση Σχήματος για την εύρεση της μετατόπισης του προσομοιώματος

Επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για τους δέκα συνολικά σεισμούς που πρωτοαναφέρθηκαν. Μετά την κατάληξη της επιθυμητής μετατόπισης του προσομοιώματος για κάθε σεισμό που έχει εισαχθεί, ρυθμίζεται το Scale Factor, όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.3.1.20 του κεφαλαίου. Τα αποτελέσματα εξάγονται σε excel, όπου γίνεται η παραμετροποίηση και με τους κατάλληλους τύπους δημιουργούνται οι καμπύλες τρωτότητας (ως ζητούμενο της Διπλωματικής εργασίας). Σε αυτό το σημείο δεν προέκυψαν καμπύλες τρωτότητας, καθώς το προσομοίωμα της δεξαμενής που δημιουργήθηκε βασισμένο σε πραγματικές διαστάσεις (για όλους τους τύπους μεγέθους) ήταν αρκετά δύσκαμπτο χωρίς να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυτό μας οδηγεί στην εύρεση καμπυλών τρωτότητας μέσω του προγράμματος HAZUS.

Στο επόμενο κεφάλαιο επιλέγουμε τις τιμές του HAZUS και δημιουργούμε τις καμπύλες τρωτότητας στο excel με παραμετρική δουλειά (Πνευματικός, 2022), όπως ακριβώς θα κάναμε και στην περίπτωση του excel από τα στοιχεία του SAP.

4.3.2. Καμπύλες τρωτότητας ΕΕΛ Ηγουμένησας, μέσω του HAZUS

Παραμετροποιούνται τα αποτελέσματα που εξήχθησαν προηγουμένως στο excel, με βάση τις καμπύλες ευθραυστότητας του HAZUS.

Οι παρακάτω γραφικές παραστάσεις των καμπυλών ευθραυστότητας έχουν σχηματιστεί με την βοήθεια πινάκων από το HAZUS, οι οποίες περιέχουν δύο κατηγορίες. Τις εγκαταστάσεις με αγκυρωμένα στοιχεία (anchored components) και τις εγκαταστάσεις με μη αγκυρωμένα στοιχεία (unanchored components).

Τα αγκυρωμένα στοιχεία, αναφέρονται γενικά σε δομικά στοιχεία σχεδιασμένα με ειδικές σεισμικές δεσμεύσεις ή συνδέσεις, ενώ τα μη αγκυρωμένα στοιχεία αναφέρονται γενικά σε δομικά στοιχεία που έχουν σχεδιαστεί χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις ως προς την αγκύρωση τους (εκτός από τις συνήθεις κατασκευαστικές απαιτήσεις).

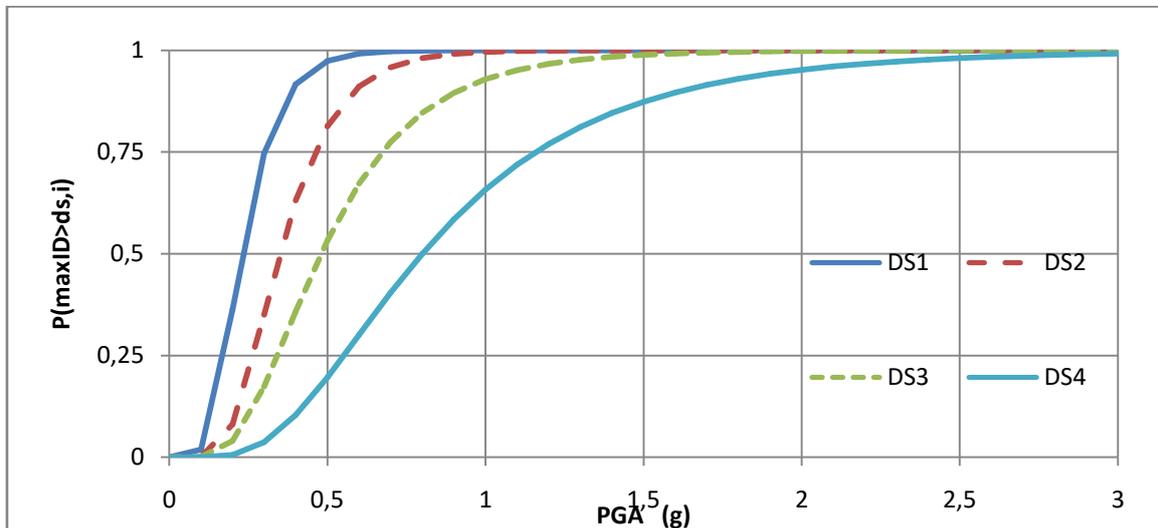
Παρακάτω αναδεικνύονται οι πίνακες του HAZUS που παρουσιάζουν συναρτήσεις βλάβης για μικρές, μεσαίες και μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. (Hazard-MH 2.1, nd ,pp. 423-424).

Επίσης όπως θα παρατηρήσουμε στην συνέχεια, στον παρακάτω πίνακα προέκυψαν, η διάμεσος των επιταχύνσεων και των τυπικών αποκλίσεων β σημαντικών σεισμών που έλαβε υπόψη του το HAZUS για καταστάσεις αγκυρωμένων και μη αγκυρωμένων στοιχείων για διάφορες εγκαταστάσεις βλάβης.

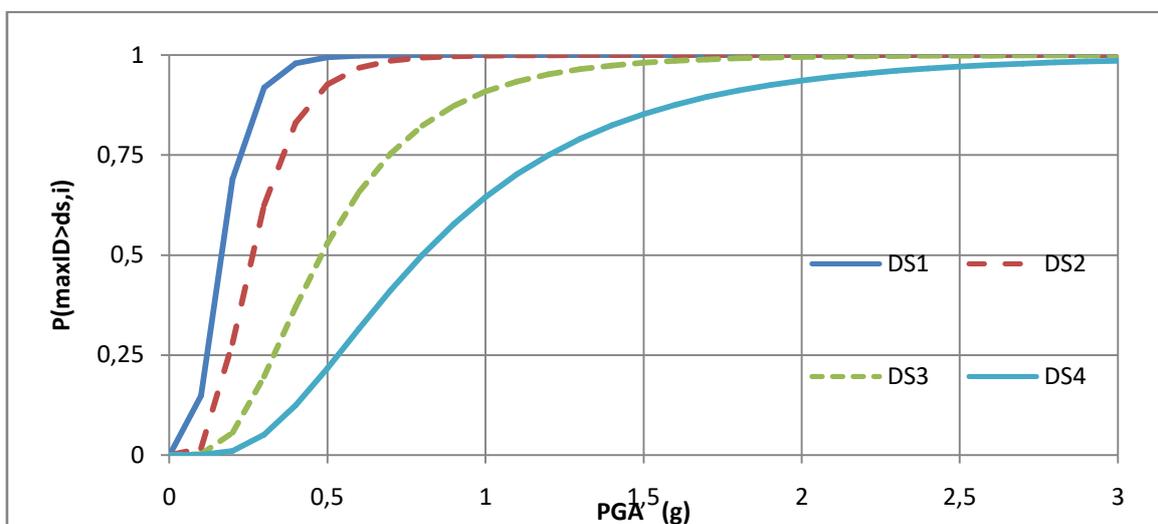
Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση			
Ταξινόμηση	Κατάσταση Βλάβης	Διάμεσος(g)	β
Εγκαταστάσεις με αγκυρωμένα στοιχεία (WWT1)	Ελαφρά/ Μικρή	0,23	0,40
	Μέτρια	0,35	0,40
	Εκτεταμένη	0,48	0,50
	Πλήρης	0,80	0,55
Εγκαταστάσεις με μη αγκυρωμένα στοιχεία (WWT2)	Ελαφρά/ Μικρή	0,16	0,40
	Μέτρια	0,26	0,40
	Εκτεταμένη	0,48	0,50

	Πλήρης	0,80	0,55
--	--------	------	------

Πίνακας 56: Πίνακας Αλγόριθμων Ζημιών για Μικρές Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων



Πίνακας 57: Καμπύλες Ευθραυστότητας με Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μικρές Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

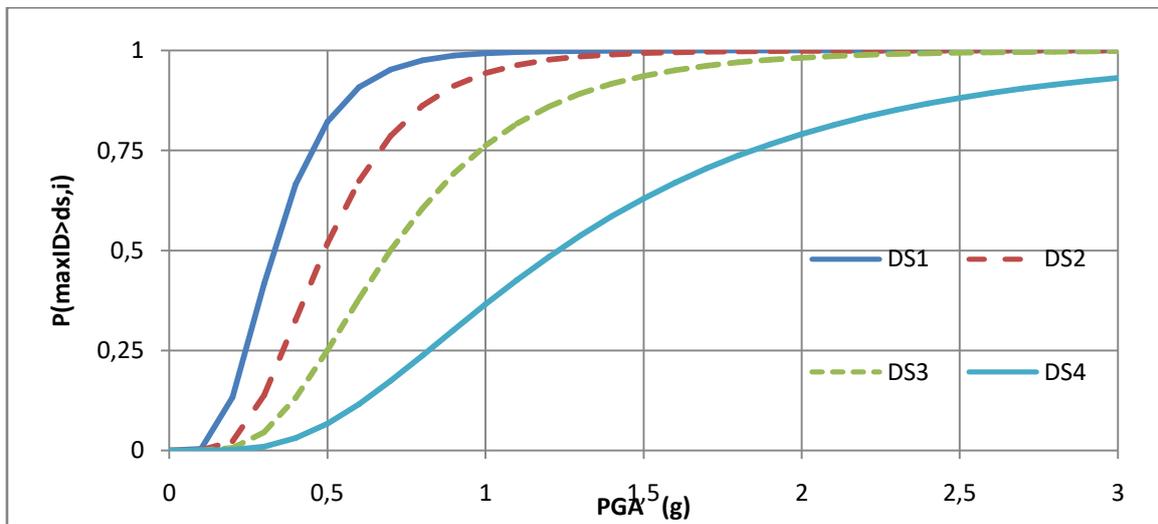


Πίνακας 58: Καμπύλες Ευθραυστότητας με μη Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μικρές Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

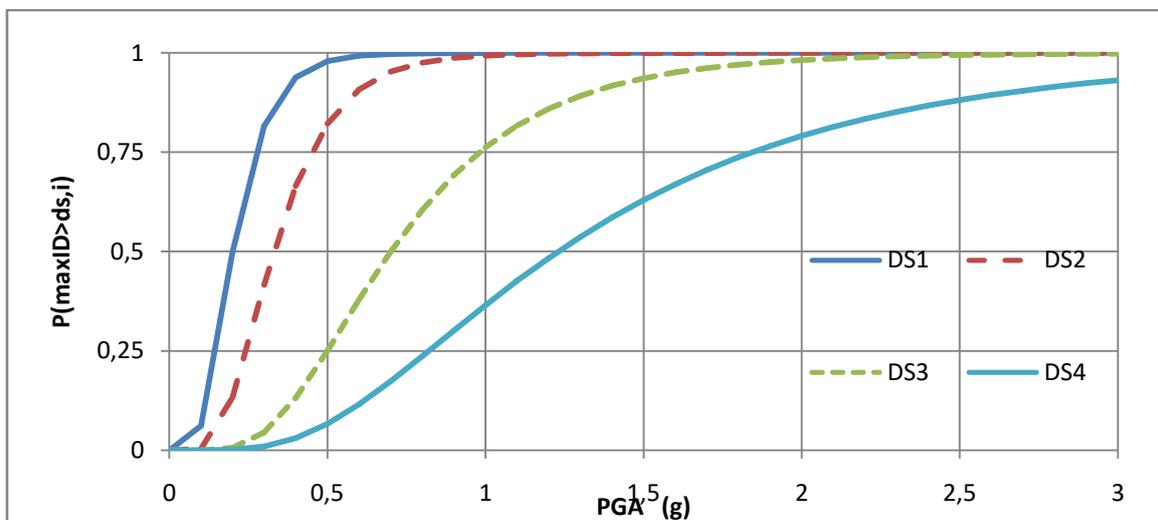
Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση			
Ταξινόμηση	Κατάσταση Βλάβης	Διάμεσος(g)	β
Εγκαταστάσεις με αγκυροβολημένα	Ελαφρά/ Μικρή	0,33	0,40
	Μέτρια	0,49	0,40

συστατικά (WWT1)	Εκτεταμένη	0,70	0,45
	Πλήρης	1,23	0,55
Εγκαταστάσεις με μη αγκυροβολημένα συστατικά (WWT2)	Ελαφρά/ Μικρή	0,20	0,40
	Μέτρια	0,33	0,40
	Εκτεταμένη	0,70	0,45
	Πλήρης	1,23	0,55

Πίνακας 59: Πίνακας Αλγόριθμων Ζημιών για Μεσαίες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων



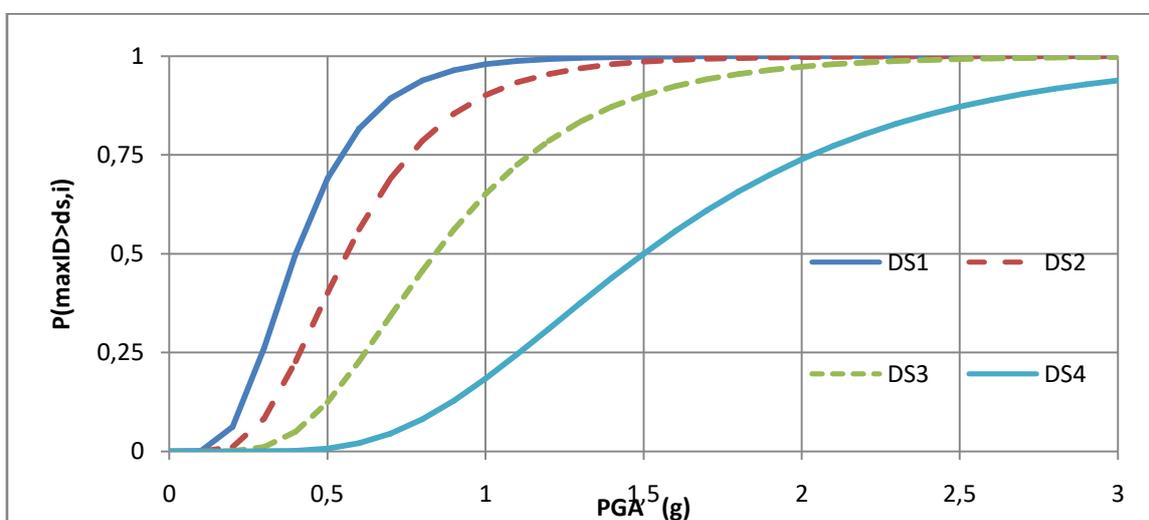
Πίνακας 60: Καμπύλες Ευθραυστότητας με Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μεσαίες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.



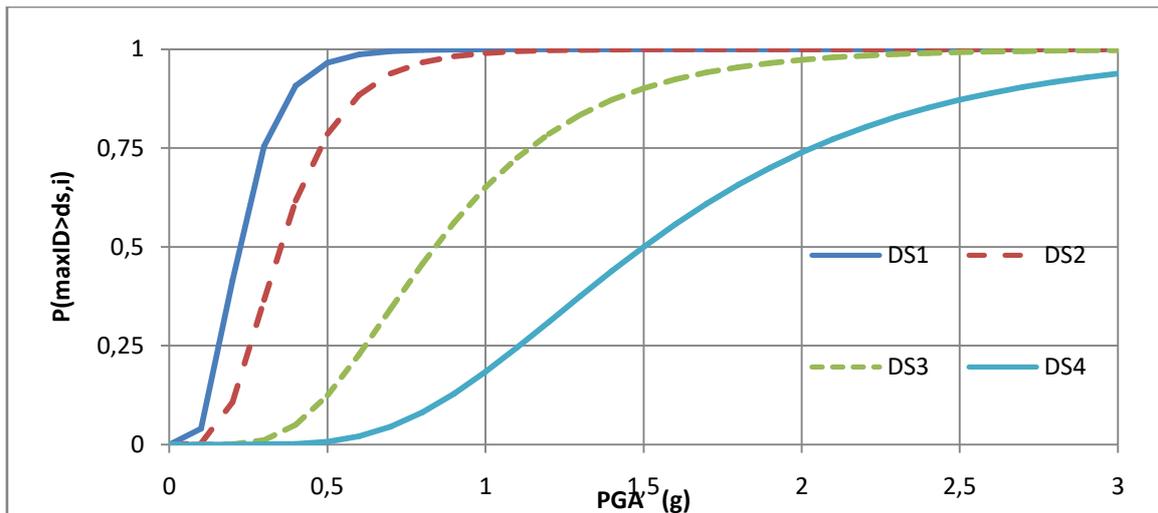
Πίνακας 61:Καμπύλες Ευθραυστότητας με μη Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μεσαίες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση			
Ταξινόμηση	Κατάσταση Βλάβης	Διάμεσος(g)	β
Εγκαταστάσεις με αγκυροβολημένα συστατικά (WWT1)	Ελαφρά/ Μικρή	0,40	0,40
	Μέτρια	0,56	0,40
	Εκτεταμένη	0,84	0,40
	Πλήρης	1,50	0,40
Εγκαταστάσεις με μη αγκυροβολημένα συστατικά (WWT2)	Ελαφρά/ Μικρή	0,22	0,40
	Μέτρια	0,35	0,40
	Εκτεταμένη	0,84	0,40
	Πλήρης	1,50	0,40

Πίνακας 62:Πίνακας Αλγόριθμων Ζημιών για Μεγάλες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων



Πίνακας 63:Καμπύλες Ευθραυστότητας με Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μεγάλες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.



Πίνακας 64: Καμπύλες Ευθραυστότητας με μη Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μεγάλες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

Οι καμπύλες που βρήκαμε με την βοήθεια του excel (Παραμετρική Μέθοδος) ταιριάζουν με τις καμπύλες τρωτότητας που έχουν δημιουργηθεί με το πρόγραμμα HAZUS, αυτό μας επιβεβαιώνει ότι η διαδικασία και ο προγραμματισμός στο excel είναι σωστή.

Οι παραπάνω καμπύλες αφορούν αμερικανικές δεξαμενές, στην Ελλάδα όμως ισχύουν άλλα δεδομένα σε σχέση με το οπλισμένο σκυρόδεμα και τα σίδερα οπλισμού, καθώς και τις κλιματικές αλλαγές. Για αυτό τον λόγο θεωρείται ότι υπάρχουν αποκλίσεις ως προς τις 6 καμπύλες του HAZUS. Ενδεικτικά, θεωρείται αποδεκτό εύρος τιμών $\pm 10\%$ για τις τιμές όπως διαμορφώθηκαν μετά την παραμετροποίηση αποτελεσμάτων στο excel. Το ποσοστό, το οποίο διαλέξαμε για να δημιουργήσουμε τις καινούργιες καμπύλες τρωτότητας, είναι το ιδανικό για να δείξει την διαφορά που υπάρχει στα Αμερικανικά δεδομένα με τα Ελληνικά δεδομένα.

Οι αβεβαιότητες που οδήγησαν στο να αποδεχθούμε τις ζώνες αυτές κάθε καμπύλης με ένα εύρος τιμών, είναι πάρα πολλές, μερικές εκ των οποίων είναι:

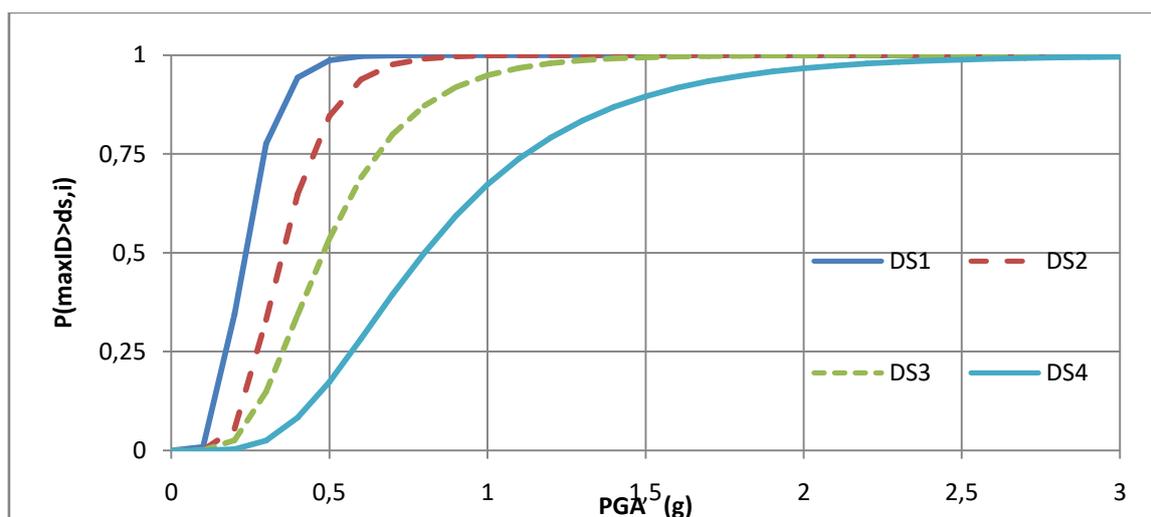
- ❖ Κλιματικές συνθήκες της περιοχής (κακοκαιρία, βροχόπτωση, κ.α.)
- ❖ Η Φθορά του χρόνου
- ❖ Κατά πόσο γεμάτες ή μισοάδειες είναι οι δεξαμενές

- ❖ Συντήρηση δεξαμενών
- ❖ Ερπυσμός κ.α.

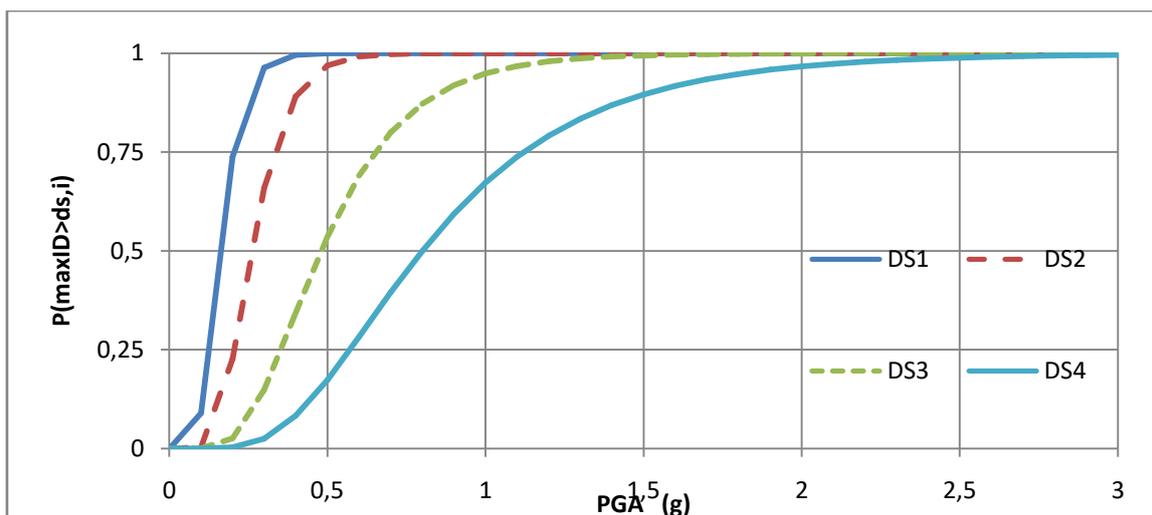
A) Παρακάτω παρουσιάζονται οι προηγούμενες καμπύλες τρωτότητας οι οποίες εξάγονται με β (-10%) για όλες τις κατηγορίες των ΕΕΛ (μικρές, μεσαίες, μεγάλες είτε αγκυρωμένες και μη αγκυρωμένες)

Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση			
Ταξινόμηση	Κατάσταση Βλάβης	Διάμεσος(g)	β (-10%)
Εγκαταστάσεις με αγκυροβολημένα συστατικά (WWT1)	Ελαφρά/ Μικρή	0,23	0,35
	Μέτρια	0,35	0,35
	Εκτεταμένη	0,48	0,45
	Πλήρης	0,80	0,50
Εγκαταστάσεις με μη αγκυροβολημένα συστατικά (WWT2)	Ελαφρά/ Μικρή	0,16	0,35
	Μέτρια	0,26	0,35
	Εκτεταμένη	0,48	0,45
	Πλήρης	0,80	0,50

Πίνακας 65: Πίνακας Αλγόριθμων Ζημιών για Μικρές Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων



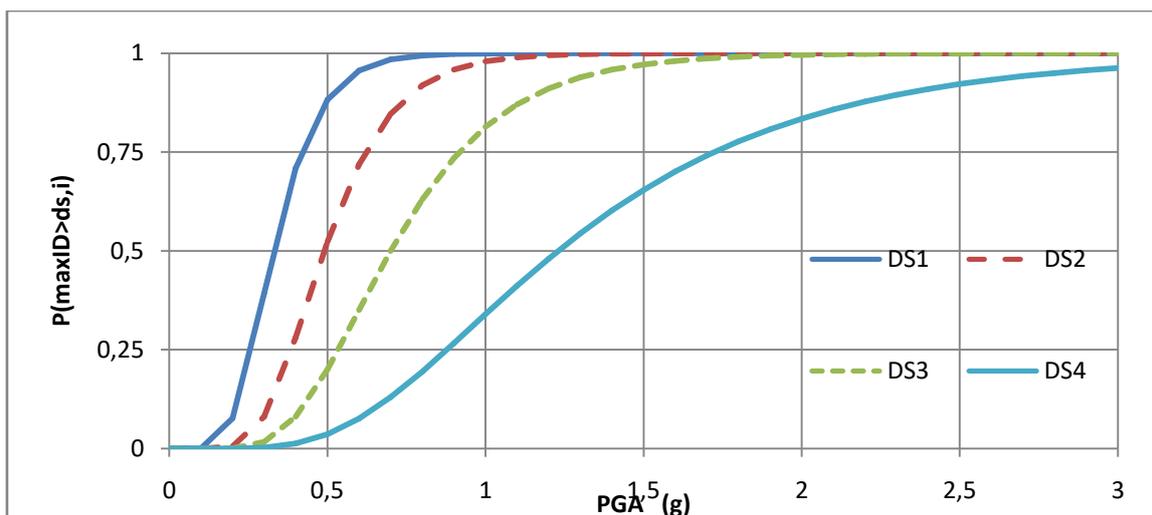
Πίνακας 66: Καμπύλες Ευθραυστότητας με Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μικρές Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.



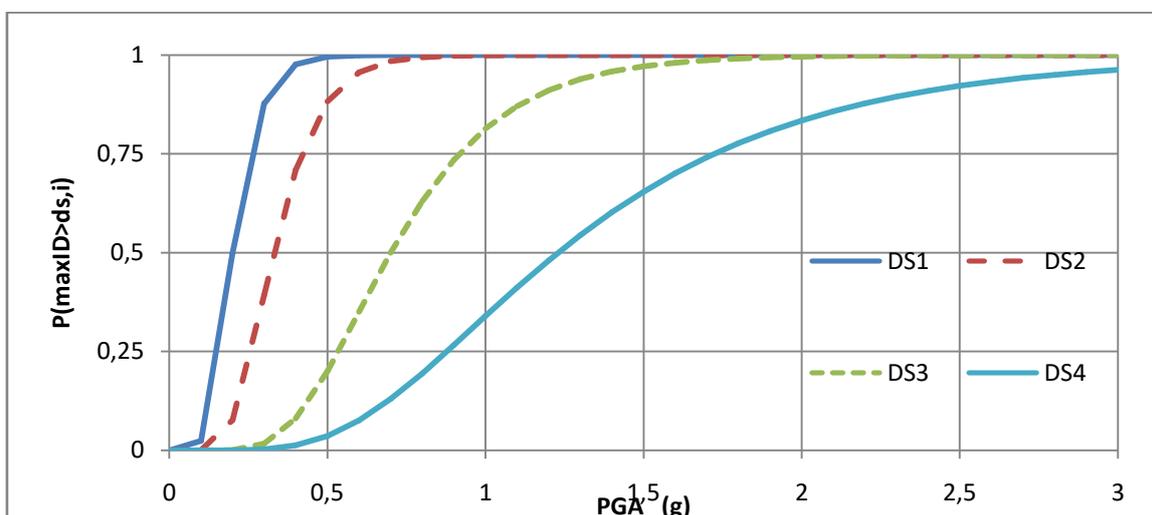
Πίνακας 67: Καμπύλες Ευθραυστότητας με μη Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μικρές Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση			
Ταξινόμηση	Κατάσταση Βλάβης	Διάμεσος(g)	$\beta(-10\%)$
Εγκαταστάσεις με αγκυροβολημένα συστατικά (WWT1)	Ελαφρά/ Μικρή	0,33	0,35
	Μέτρια	0,49	0,35
	Εκτεταμένη	0,70	0,40
	Πλήρης	1,23	0,50
Εγκαταστάσεις με μη αγκυροβολημένα συστατικά (WWT2)	Ελαφρά/ Μικρή	0,20	0,35
	Μέτρια	0,33	0,35
	Εκτεταμένη	0,70	0,40
	Πλήρης	1,23	0,50

Πίνακας 68: Πίνακας Αλγόριθμων Ζημιών για Μεσαίες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων



Πίνακας 69: Καμπύλες Ευθραυστότητας με Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μεσαίες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

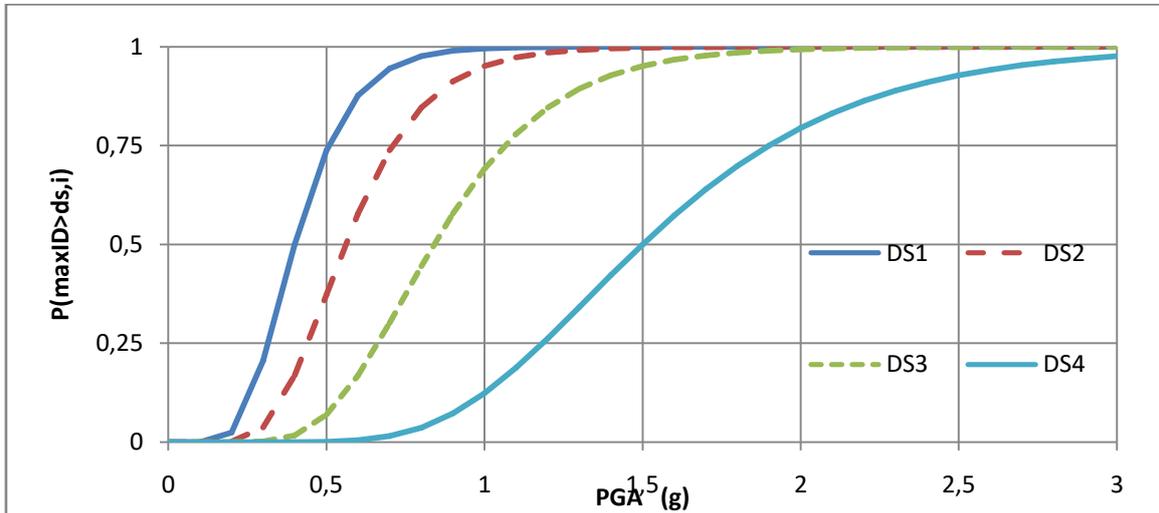


Πίνακας 70: Καμπύλες Ευθραυστότητας με μη Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μεσαίες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

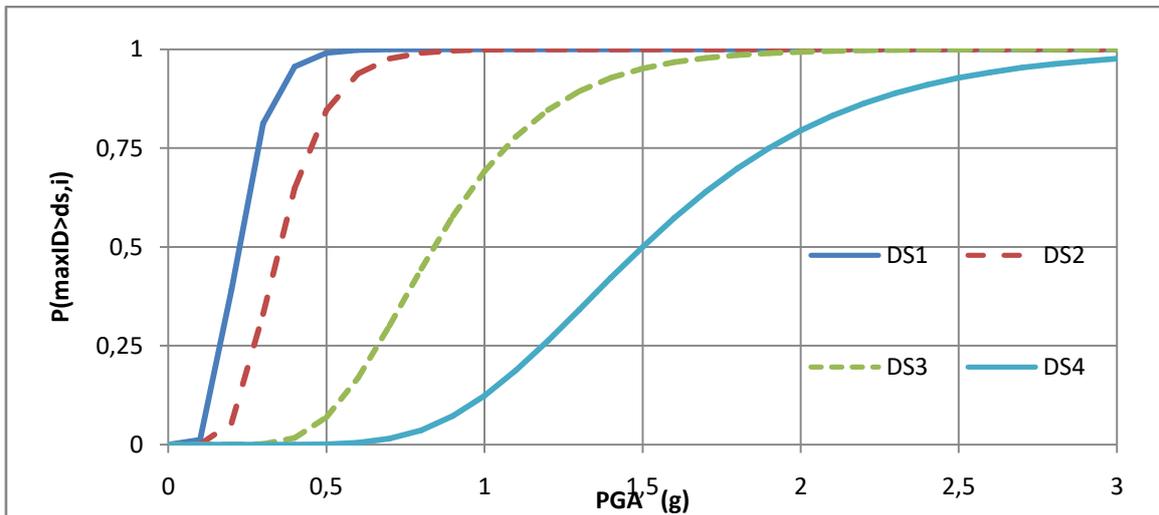
Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση			
Ταξινόμηση	Κατάσταση Βλάβης	Διάμεσος(g)	$\beta(-10\%)$
Εγκαταστάσεις με αγκυροβολημένα συστατικά (WWT1)	Ελαφρά/ Μικρή	0,40	0,35
	Μέτρια	0,56	0,35
	Εκτεταμένη	0,84	0,35
	Πλήρης	1,50	0,35
Εγκαταστάσεις με μη αγκυροβολημένα	Ελαφρά/ Μικρή	0,22	0,35
	Μέτρια	0,35	0,35
	Εκτεταμένη	0,84	0,35

συστατικά (WWT2)	Πλήρης	1,50	0,35
---------------------	--------	------	------

Πίνακας 71: Πίνακας Αλγόριθμων Ζημιών για Μεγάλες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων



Πίνακας 72: Καμπύλες Ευθραυστότητας με Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μεγάλες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

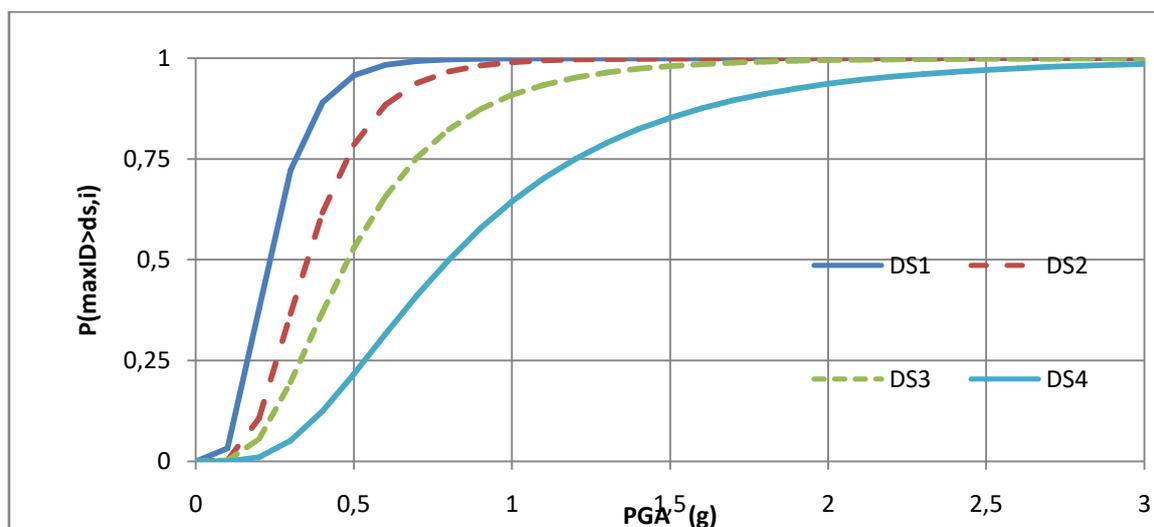


Πίνακας 73: Καμπύλες Ευθραυστότητας με μη Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μεγάλες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

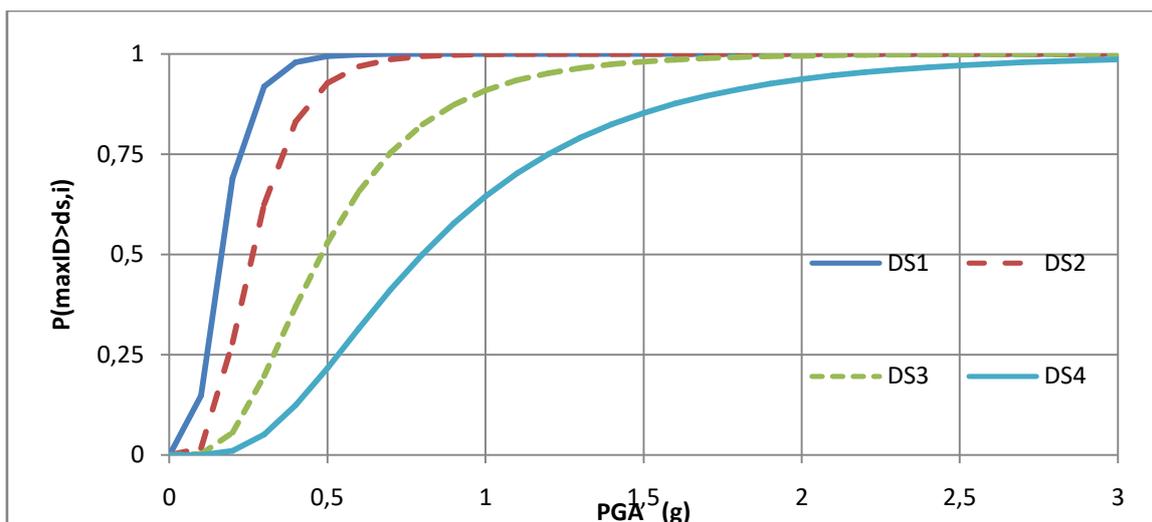
Β) Παρακάτω παρουσιάζονται οι καμπύλες τρωτότητας οι οποίες εξάγονται με β (+10%).

Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση			
Ταξινόμηση	Κατάσταση Βλάβης	Διάμεσος(g)	$\beta(+10\%)$
Εγκαταστάσεις με αγκυροβολημένα συστατικά (WWT1)	Ελαφρά/ Μικρή	0,23	0,45
	Μέτρια	0,35	0,45
	Εκτεταμένη	0,48	0,55
	Πλήρης	0,80	0,60
Εγκαταστάσεις με μη αγκυροβολημένα συστατικά (WWT2)	Ελαφρά/ Μικρή	0,16	0,45
	Μέτρια	0,26	0,45
	Εκτεταμένη	0,48	0,55
	Πλήρης	0,80	0,60

Πίνακας 74: Πίνακας Αλγόριθμων Ζημιών για Μικρές Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων



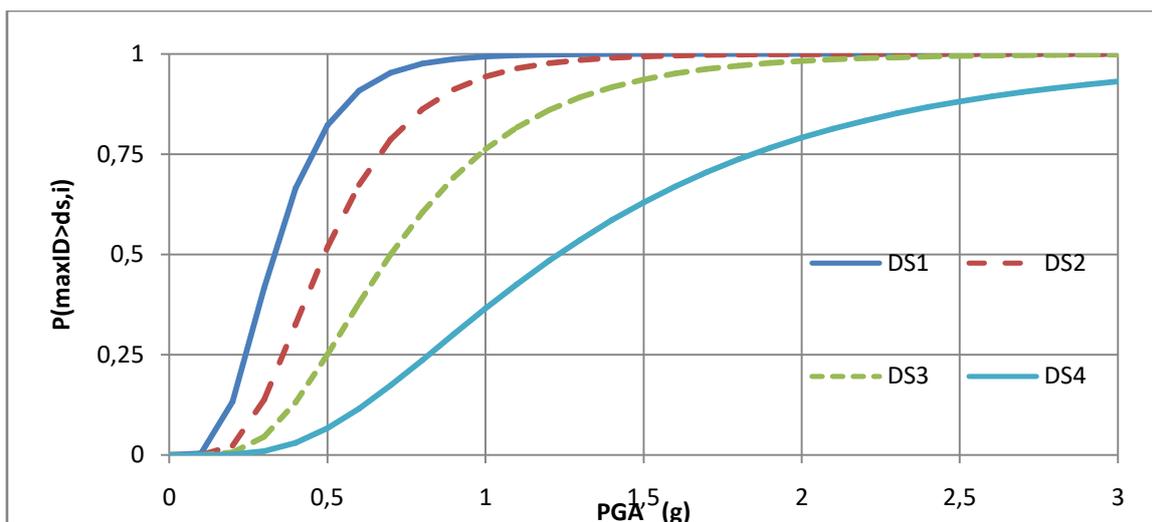
Πίνακας 75: Καμπύλες Ευθραυστότητας με Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μικρές Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.



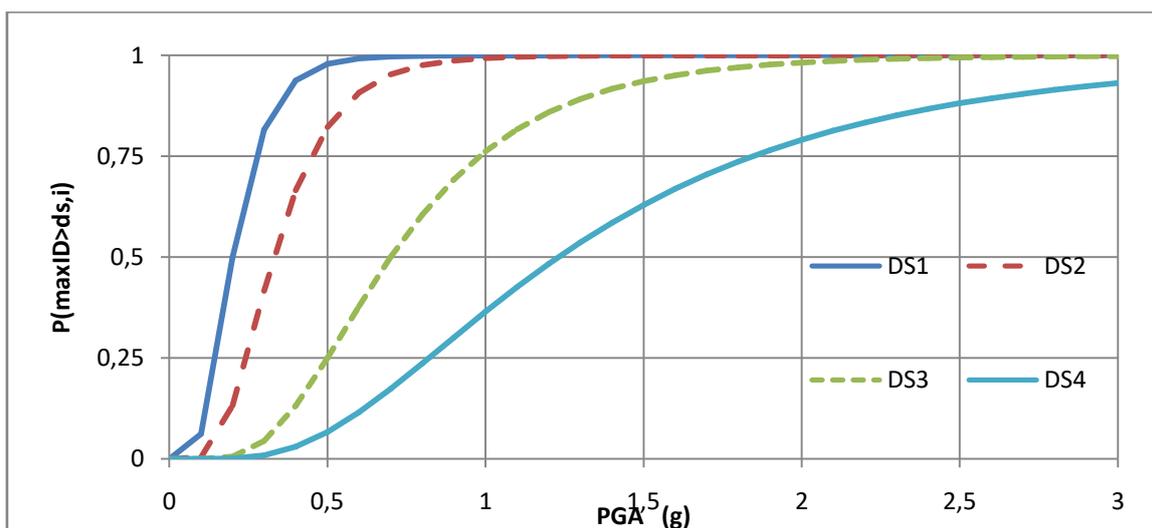
Πίνακας 76:Καμπύλες Ευθραυστότητας με μη Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μικρές Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση			
Ταξινόμηση	Κατάσταση Βλάβης	Διάμεσος(g)	$\beta(+10\%)$
Εγκαταστάσεις με αγκυροβολημένα συστατικά (WWT1)	Ελαφρά/ Μικρή	0,33	0,45
	Μέτρια	0,49	0,45
	Εκτεταμένη	0,70	0,50
	Πλήρης	1,23	0,60
Εγκαταστάσεις με μη αγκυροβολημένα συστατικά (WWT2)	Ελαφρά/ Μικρή	0,20	0,45
	Μέτρια	0,33	0,45
	Εκτεταμένη	0,70	0,50
	Πλήρης	1,23	0,60

Πίνακας 77:Πίνακας Αλγόριθμων Ζημιών για Μεσαίες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων



Πίνακας 78: Καμπύλες Ευθραυστότητας με Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μεσαίες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

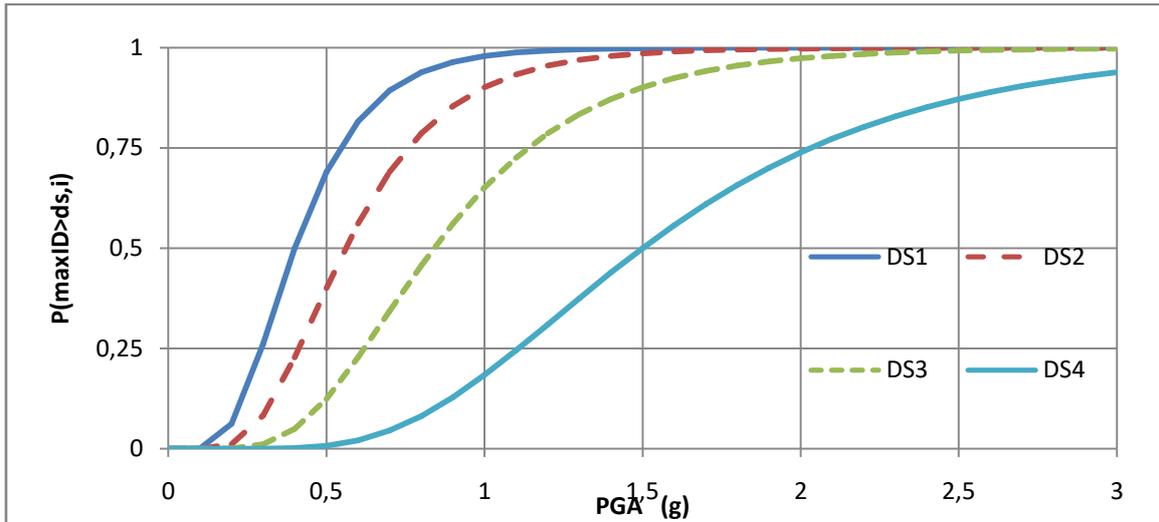


Πίνακας 79: Καμπύλες Ευθραυστότητας με μη Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μεσαίες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

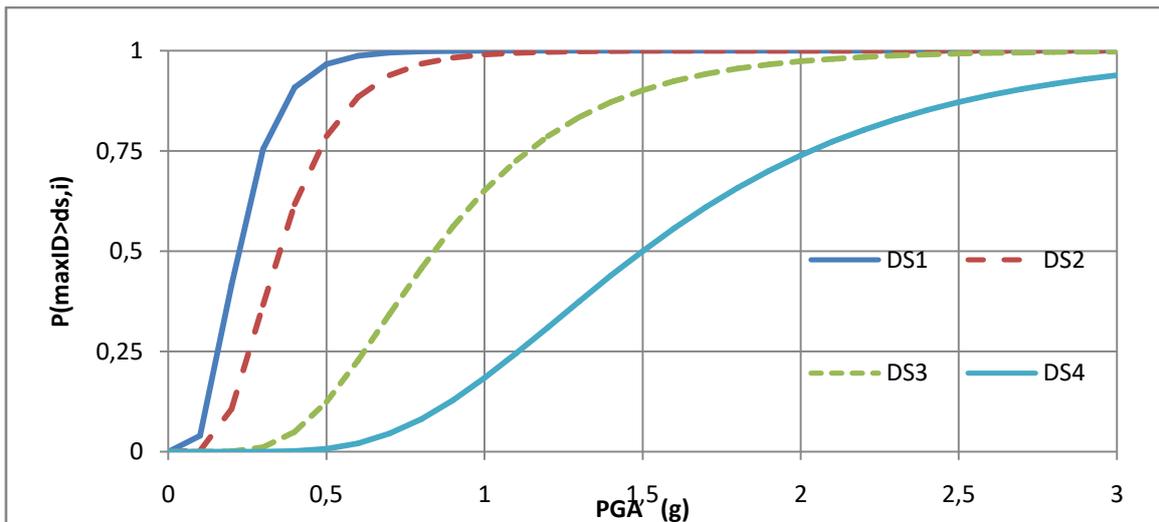
Μέγιστη Εδαφική Επιτάχυνση			
Ταξινόμηση	Κατάσταση Βλάβης	Διάμεσος(g)	$\beta(+10\%)$
Εγκαταστάσεις με αγκυροβολημένα συστατικά (WWT1)	Ελαφρά/ Μικρή	0,40	0,45
	Μέτρια	0,56	0,45
	Εκτεταμένη	0,84	0,45
	Πλήρης	1,50	0,45

Εγκαταστάσεις με μη αγκυροβολημένα συστατικά (WWT2)	Ελαφρά/ Μικρή	0,22	0,45
	Μέτρια	0,35	0,45
	Εκτεταμένη	0,84	0,45
	Πλήρης	1,50	0,45

Πίνακας 80: Πίνακας Αλγορίθμων Ζημιών για Μεγάλες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων



Πίνακας 81: Καμπύλες Ευθραυστότητας με Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μεγάλες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.



Πίνακας 82: Καμπύλες Ευθραυστότητας με μη Αγκυρωμένα Στοιχεία για Μεγάλες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Κεφάλαιο 5 - Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάσθηκαν οι μέθοδοι εκτίμησης του σεισμικού κινδύνου των ΕΕΛ. Οι υπολογιστικές μέθοδοι που ερευνήσαμε και αναλύθηκαν ήταν το HAZUS-MH με το οποίο διασταυρώσαμε τις καμπύλες τρωτότητας που δημιουργήσαμε με την παραμετρική μέθοδο, το HAZUS, το Open Quake, το ELER, το SELENA, το CAPRA, το FEMA P-58, το PACT και το SAP2000, στο οποίο αναλύσαμε την διαδικασία που ακολουθούμε για να φτάσουμε στα αποτελέσματα για την δημιουργία καμπυλών.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε ενδεικτικά η εκτίμηση των σεισμικών απωλειών σε μια πρότυπη εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (την ΕΕΛ Ηγουμενίτσας). Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε δεξαμενή καθίζησης Οπλισμένου σκυροδέματος, ως την κυρίαρχη κατασκευή μέσα σε όλες τις ΕΕΛ. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το Υπολογιστικό Πρόγραμμα SAP το οποίο αποτελεί ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων.

Οι προσπάθειες για τον υπολογισμό των καμπύλων τρωτότητας με την ανάλυση του προσομοιώματος και βάζοντας επιταχύνσεις εδάφους, δεν απέδωσαν, διότι η ΕΕΛ ήταν μια δύσκαμπτη κατασκευή. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα HAZUS, δοκιμάζοντας την δημιουργία καινούργιων καμπύλων με την βοήθεια του excel. Τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά, καθώς διαπιστώθηκε ότι οι καμπύλες αυτές ταιριάζουν με τις υπάρχουσες που δίνονται από το HAZUS. Υπάρχουν όμως και αβεβαιότητες (πχ λόγω Ελληνικών δεδομένων σε σχέση με τις καμπύλες του HAZUS για τα αμερικανικά δεδομένα) που οδήγησαν στη δημιουργία καμπυλών τρωτότητας με μικρές αποκλίσεις $\pm 10\%$, για όλες τις περιπτώσεις κατηγοριών των ΕΕΛ.

Μελλοντικές έρευνες που μπορούν να γίνουν είναι η διασταύρωση των καμπυλών τρωτότητας με καμπύλες που ισχύουν για κτιριακά έργα, για να δούμε τι αποκλίσεις έχουμε στις καμπύλες αυτές, καθώς επίσης να ερευνηθούν οι τιμές του HAZUS κατά πόσο ισχύουν για τον μελλοντικό χώρο για να ξέρουμε αν θα χρησιμοποιήσουμε κάποιες αποκλίσεις (π.χ. $\pm 10\%$).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

AES (2022) : Automated Environmental Systems. Ανακτήθηκε 18 Ιουνίου 2022, από <https://web.archive.org/web/20090105210837/http://www.drain-systems.co.uk/packaged-pumping-stations.php>

Alexoudi, M., Pitilakis, K. και Souli, A. (2010) «D3.5 – Fragility functions for water and waste– water system elements». Thessaloniki: Aristotle University of Thessaloniki (AUTH).

American Lifelines Alliance. «Seismic Fragility Formulations For Water Systems, Part 1 – Guideline». April 2001.

American Lifelines Alliance. «Seismic Fragility Formulations For Water Systems, Part 2 – Appendices ». April 2001.

Applied Technology Council (1985): ATC-13 - Earthquake Damage Evaluation Data for California. Redwood City, California. Applied Technology Council.

Applied Technology Council (2018a): FEMA P-58 Next-generation Seismic Performance Assessment for Buildings, Volume 1 – Methodology, Second Edition. Prepared by the Applied Technology Council (ATC) for the Federal Emergency Management Agency (FEMA). Washington D.C.

Applied Technology Council (2018b): FEMA P-58 Next-generation Seismic Performance Assessment for Buildings, Volume 2 – Implementation Guide, Second

Edition. Prepared by the Applied Technology Council (ATC) for the Federal Emergency Management Agency (FEMA). Washington D.C.

Argyroudis, S., Argyriou, N., Chatzis, I. and Pitilakis, K. (2005), "Seismic Fragility Curves of Shallow Tunnels". Proc. of the 11th International Conference on Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), Torino, Italy, 19-24 June.

Calvi G.M, Pinho R, Magenes G, Bommer J.J, Restrepo-Velez L.F, Crowley H (2006). Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years. *Journal of Earthquake Technology* 43(3): 75-104.

Cardona O.D., Ordaz M.G., Marulanda M.C., and Barbat A.H. (2008a) Estimation of Probabilistic Seismic Losses and the Public Economic Resilience—An Approach for a Macroeconomic Impact Evaluation. *Journal of Earthquake Engineering* 12, 60-70.

Cardona O.D., Ordaz M.G., Reinoso E, Yamín L.E., and Barbat A.H. (2010) Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment (CAPRA): International Initiative for Disaster Risk Management Effectiveness. In 14th European Conference on Earthquake Engineering. (ed.), Vol. pp. Ohrid, Macedonia.

Demircioglu M.B., Erdik M., Hancilar U., Harmandar E., Kamer Y., Sesetyan K., Tuzun C., Yenidogan C., Zulfikar A.C. (2010): Technical Manual and User's Guide – Earthquake Loss Estimation Routine ELER v3.0. Bogazici University Istanbul, Department of Earthquake Engineering. Turkey.

Dowding, C. H., Rozen, A. (1978), "Damage to rock tunnels from earthquake shaking". *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 104 (2), 175-191.

Eidinger, J. , and Davis, C. , (2012). Recent Earthquakes—Implications for U.S. Water Utilities, G&E Report 106.01.01, prepared for the Water Research Foundation, Denver, Colorado, (June 2012 (in press)).

Federal Emergency Management Agency (1989): Estimating losses from future earthquakes (Panel report and technical background). Prepared by the Panel of Earthquake Loss Estimation Methodology, Committee on Earthquake Engineering, Commission on Engineering and Technical Systems and National Research Council for Federal Emergency Management Agency. Washington DC.

Federal Emergency Management Agency (1994): Assessment of the state-of-the-art earthquake loss estimation methodologies. Prepared by Risk Management Software Inc. (RMS) and California University for Research in Earthquake Engineering (CUREE) for the National Institute of Building Sciences and Federal Emergency Management Agency. Washington DC.

Federal Emergency Management Agency (2003): HAZUS-MH MR4 Technical Manual. Washington D.C., United States.

Freeman J.R. (1932): Earthquake damage and earthquake insurance: studies of a rational basis for earthquake insurance, also studies of engineering data for earthquake-resisting construction. McGraw-Hill. New York, 1st edition.

FEMA, (1999). “HAZUS99 user and technical manuals”. Federal Emergency Management Agency Report: HAZUS 1999, Washington D.C.,USA.

FEMA (2003). “HAZUS-MH Technical Manual”, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, U.S.A

Gunturi S. (1993): Building-specific earthquake damage estimation. Ph.D. thesis, John A. Blume Earthquake Engineering Center. Dept. of Civil Engineering, Stanford University. Stanford, CA.

Grossi P. and Kunreuther H. (2005) In Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk. Vol. pp. Springer US, Boston.

HAZUS-MH (2014): Survey of Hazus-MH : FEMA's Tool for Natural Hazard Loss Estimation, 7th annual conference

<https://proceedings.esri.com/library/userconf/hazus14/papers/hazus-02.pdf>

Kerpelis P.,(2019).«Assessment of Structural and non-Structural Vulnerability of Sewage Treatment Plants, through a Questionnaire», 6th International Conference on Civil Protection “SafeCorfu 2019”, Pages 117-120, Corfu.

Kerpelis N.P., Golfinopoulos K. S., Alexakis E. D. (2021). A Proposed Theoretical Approach for the Estimation of Seismic Structural Vulnerability of Wastewater Treatment Plants. Sustainability, Special Issue “Natural and Technological Hazards in Urban Areas: Assessment, Planning and Solutions”, MDPI, Vol. 13, issue 9, 4835

Kerpelis P., Alexakis D., Golfinopoulos K. S., Repapis C.(2021a). “Non-Structural Characteristics of Wastewater Treatment Plants as Factors for Estimating their Seismic Vulnerability” oral presentation and Poster publication in e-proceedings in the 6th distance education e-learning Summer School on "Wastewater and Biosolids Management" (WWSS21), Patras, Greece, July 26 - 31, 2021

Kerpelis P., Alexakis D., Golfinopoulos K. S., Repapis C.(2021b).”Additional Operational Characteristics of the Wastewater Treatment Plants for the Estimation of their Seismic Vulnerability” oral presentation and Poster publication in e-proceedings

in the 6th distance education e-learning Summer School on "Wastewater and Biosolids Management" (WWSS21), Patras, Greece, July 26 - 31, 2021

Kircher C.A., Reitherman R.K., Whitman R.V., Arnold C. (1997): Estimation of earthquake losses to buildings. *Earthquake Spectra*, Vol. 13(4), pp. 703-720.

Landscan (2023). Oak Ridge National Laboratory. Ανακτήθηκε 4 Μαρτίου 2023 από <https://landscan.ornl.gov/>

Liu D, Liptak B. (1999). *Wastewater treatment*. Boca Raton, USA: CRC Press.

Marulanda M.C., Carreño M.L., Cardona O.D., Ordaz M.G., Barbat A.H. (2013): Probabilistic earthquake risk assessment using CAPRA: application to the city of Barcelona, Spain. *Nat. Hazards* Vol. 69, pp. 59–84.

Moser A. & Folkman S., (2008). *Buried Pipe Design*. Third Edition, McGraw-Hill Companies.

Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model (n.d): Hazus–MH 2.1 Technical Manual. Washington D.C.

Panico A., Salzano E., Lanzano G., Santucci de Magistris F. (2013). "Seismic Vulnerability of Wastewater Treatment Plants" Special ISSUE 11th International Conference on Chemical and Process Engineering: Associazione italiana di ingegneria chimica. 2-5 June 2013, Milan, Italy.

Pitilakis K., Alexoudi A., Argyroudis S., Monge O., Martin C., (2005), "Chapter 9: Vulnerability assessment of lifelines", C.S. Oliveira, A. Roca and X. Goula (eds).

Assessing and Managing Earthquake Risk. Geo-Scientific and Engineering Knowledge for Earthquake Risk mitigation: Developments, Tools and Techniques, Springer Publications.

Pitilakis K, Alexoudi M., Argyroudis S., Monge O., Martin C. (2006) "Earthquake assessment of Lifelines" Special Issue, Bulletin of Earthquake Engineering. DOI.10.1007/s10518-006-9022-1

Owen, G. N., Scholl, R. E. (1981), "Earthquake engineering of large underground structures, prepared for the Federal Highway Administration", FHWA/RD- 80/195, 279p, URS/John A. Blume and Ass.

Park Y.J., Ang A.H.S. (1985): Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete. ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 111(4), pp. 722-739.

Porter K.A., Kiremidjian A.S. (2001): Assembly-based vulnerability of buildings and its uses in seismic performance evaluation and risk management decision-making. Report No 309, John A. Blume Earthquake Engineering Center. Stanford University. Stanford.

SAP2000 (2010), «Ανάλυση & Σχεδιασμός Κατασκευών με Πεπερασμένα Στοιχεία» Επιμ. Έκδοσης: Τσάμπρας Γ.

SAP2000 (2016), "CSI Analysis Reference" Manual, version 19 , July 2016

Scholl R. E. (1979): "Seismic damage assessment for high-rise buildings: annual technical report". URS/John A. Blume & Associate Inc. San Francisco.

Selena (2022). Ανακτήθηκε στις 29 Ιουλίου 2022, από <http://selena.sourceforge.net>

FEMA P-58-1. "Seismic Performance Assessment of Buildings", Volume 1 – Methodology, / September 2012

FEMA P-58-2. "Seismic Performance Assessment of Buildings", Volume 2 – Implementation Guide, / September 2012

Silva V., Crowley H., Pagani M., Monelli D., Pinho R. (2014): Development of the OpenQuake engine, the Global Earthquake Model's open-source software for seismic risk assessment. *Nat. Hazards*, Vol. 72, pp. 1409–1427.

Singhal A., Kiremidjian A.S. (1996): A method for earthquake motion-damage relationships with application to reinforced concrete frames. Report No 119, John A. Blume Earthquake Engineering Center. Dept. of Civil Engineering, Stanford University. Stanford, CA.

Sharma, S., Judd, W.R. (1991), "Underground opening damage from earthquakes". *Engineering Geology*, 30, 263-276.

Steinbrugge K.V., McClure F., Snow A.J. (1969): Studies on seismicity and earthquake damage statistics. Prepared for the US Coast and Geodetics Survey, Dept. of housing and urban development. Washington.

Wang, J. M. (1985), "The distribution of earthquake damage to underground facilities during the 1976 Tangshan earthquake". *Earthquake Spectra*, 1(4), 741-757.

Whitman R.V., Reed J., Hong S.-T. (1973). "Earthquake Damage Probability Matrices". *Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering*, Vol. 2. International Association for Earthquake Engineering. Rome, Italy.

Woo G (1999). “ In The Mathematics of Natural Catastrophes”. Vol. pp. Imperial College Press

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αλεξούδη, Μ., Ρήγα, Ε-Ε. και Πιτιλάκης, Κ. «Διαχείριση της σεισμικής διακινδύνευσης δικτύων ύδρευσης. Η περίπτωση του Δήμου Θερμαϊκού στη Θεσσαλονίκη». 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Άρθρο 1935, 5-7 Νοεμβρίου, 2008.

ΑΠΘ (2023). «Εισαγωγή στη σεισμολογία», Μάθημα 4^ο (Όργανα αναγραφής των σεισμών), Τομέας Γεωφυσικής. Ανακτήθηκε 4 Μαρτίου 2023 από http://www.geo.auth.gr/211/pdf/Mathima_4_Seismometra.pdf

Αποστόλου, Ε. (2012). Συστημική αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης του λιμένα Θεσσαλονίκης (Διπλωματική εργασία). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Βούλγαρης Ν. (2006). «Σημειώσεις Τεχνικής Σεισμολογίας- Μικροζωνικής», Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος/Τομέας Γεωφυσικής – Γεωθερμίας, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (2023). «Είδη Σεισμών», Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Ανακτήθηκε 4 Μαρτίου 2023 από: <https://www.gein.noa.gr/HTML/WEB-EDU/earthquakes.htm>

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2000). “Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της (23ης Οκτωβρίου 2000) για τα θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων”.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή(1998), Εφαρμογή της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 21ης Μαΐου 1991, για την επεξεργασία αστικών λυμάτων, όπως τροποποιήθηκε από την οδηγία 98/15/ΕΚ της Επιτροπής της (27ης Φεβρουαρίου 1998) (ΤΡΙΤΗ ΕΚΘΕΣΗ). Λουξεμβούργο : Υπηρεσία Επισήμων Εκδόσεων των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2004. ISBN 92-894-7829-2.

Ζαφειράκου Α. (n.d), «Τεχνική Περιβάλλοντος», Ενότητα 3: Αμμοσυλλογή λυμάτων. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης ,Ανακτήθηκε 8 Ιουνίου 2022, από https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS460/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%B1/EE03_AMMOS.pdf

Κίρτας Ε. και Παναγόπουλος Γ., (2015). “Προσομοίωση Κατασκευών σε Προγράμματα Ηλεκτρονικού Υπολογιστή Εφαρμογές με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP 2000”, Σέρρες.

Κονδυλογιάννη, Μ.,(2021), “ Σεισμική Ανάλυση και Σχεδιασμός Δεξαμενής από Χάλυβα”, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχ. Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Κουτσογιάννης Δ. (1999). «Σχεδιασμός αστικών δικτύων αποχέτευσης». Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π.), Τομέας Υδατικών Πόρων, Έκδοση 3.1.

Λαγγούσης Α. Σ. και Φουρνιώτης Ν. Θ.,(2020). «Στοιχεία Σχεδιασμού Έργων Ύδρευσης και Αποχέτευσης». GOTSIS.

Μπάρκας Χ. (2000).Βλάβες από σεισμό :Παράγοντες που επηρεάζουν την έκταση τους στα κτίρια. 6^ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών 2000»

Μυστακίδης Ε.(n.d.) “Στατικός και Αντισεισμικός Σχεδιασμός Μεταλλικών Δεξαμενών” Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών (Εργαστήριο Ανάλυσης και Σχεδιασμού Κατασκευών)

Παπαζάχος, Β. Κ., Καρακαίσης, Γ. Φ. & Χατζηδημητρίου, Π. Μ. (2005). «Εισαγωγή στη σεισμολογία », Εκδ. Ζήτη. Θεσσαλονίκη

Πιπιάκης, Κ., Αναστασιάδης, Α., Αργυρούδης, Σ., Κακδέρη, Κ. και Αλεξούδη, Μ. (2008).«Αποτίμηση Τρωτότητας και Διαχείριση Σεισμικής Διακινδύνευσης Δικτύων Κοινής Ωφέλειας, Υποδομών και Κρίσιμων Υπηρεσιών. Εφαρμογή στη Μητροπολιτική Θεσσαλονίκη». Αθήνα: 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 5-7 Νοεμβρίου, Άρθρο 1939.

Πιπιάκης, Κ., Αργυρούδης, Σ., (2018), Σεισμική τρωτότητα και διακινδύνευση τεχνικών έργων έναντι σεισμού, Διδακτικές σημειώσεις στο μάθημα Σεισμική τρωτότητα και διακινδύνευση τεχνικών έργων έναντι σεισμού και άλλων φυσικών κινδύνων (ΑΣΤΕ.13) .

Σταματάκης Ζ. Α., (2012). «Σεισμική Τρωτότητα Δικτύων Ύδρευσης και Αποχέτευσης». Αθήνα, Διπλωματική Εργασία.

Σώκος Ε.,(n.d). “Σεισμική Επικινδυνότητα” , Κεφ.21, Εργαστήριο Σεισμολογίας Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Ανακτήθηκε 7 Δεκεμβρίου 2021 από

<https://docplayer.gr/67768720-Seismiki-epikindynotita-kef-21.html>

Τεχνική έκθεση: «εμπειρικάς εξαχθείσες καμπύλες τρωτότητας» ,Παραδοτέο 3.1, Φεβρουάριος 2015

Τεχνολογία Επεξεργασίας Αποβλήτων, (n.d). “Πρωτοβάθμια Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων- Εσχάρωση, Αμμοσυλλογή, Λιποσυλλογή, Καθίζηση, Κροκύδωση”, Διάλεξη 3 , Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Ανακτήθηκε 8 Ιουνίου 2022, από https://eclass.uth.gr/modules/document/file.php/BIO_U_158/%CE%94%CE%99%CE%91%CE%9B%CE%95%CE%9E%CE%95%CE%99%CE%A3%202020/Lecture_3.pdf

Φωτοπούλου Σ., (2007). «Αποτίμηση της σεισμικής τρωτότητας του δικτύου αποχέτευσης της πόλης των Γρεβενών ». Θεσσαλονίκη , Διπλωματική Εργασία.

Πνευματικός Ν. Γ., (2018). «Εισαγωγή στην Μελέτη Αντισεισμικών Κατασκευών». Αθήνα: Εκδόσεις Λύχνος.

Πνευματικός Ν. Γ., (2022). Πρόγραμμα excel δημιουργίας καμπυλών τρωτότητας κατασκευών. Προφορική επικοινωνία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

ΕΥΑΘ, (2022). Φωτογραφία Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων. Insider. <https://www.insider.gr/eidiseis/221044/apth-tasi-apoklimakosis-toy-iikoy-fortioy-ton-lymaton-sti-thessaloniki>