



Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Master Thesis

«Παράγοντες που καθορίζουν τη μετασεισμική κατάσταση των κτιρίων. Εκτίμηση και ταξινόμηση αυτών»

«Factors that determine the post-earthquake condition of buildings. Assessment and classification »

Κανταρέλης Παύλος / Kantarelis Pavlos
Α.Μ. / Ρ.Ν. : «7114132200078»

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

No. «2024195»

Αθήνα, ΙΟΥΝΙΟΣ 2024
Athens, JUNE 2024



Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

Master Thesis

«Παράγοντες που καθορίζουν τη μετασεισμική κατάσταση των κτιρίων. Εκτίμηση και ταξινόμηση αυτών»

«Factors that determine the post-earthquake condition of buildings. Assessment and classification »

Κανταρέλης Παύλος / Kantarelis Pavlos

A.M. / R.N. : «7114132200078»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Δρ. «Καβίρης Γ.»,
«Αναπλ. Καθηγητής ΕΚΠΑ_01»

Δρ. «Λέκκας Ε.»,
«Καθηγητής ΕΚΠΑ_02»

Δρ. «Αντωναράκου Α.»,
«Καθηγήτρια ΕΚΠΑ_03»

«Β. Μαρτζάκης»

«M.Sc. Αξιωματικός Πυροσβεστικού Σώματος
Πτυχιούχος Δημόσιας Διοίκησης Παντείου
Πανεπιστημίου, Expert E.U. Civil Protection
Mechanism»

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

No. «2024195»

Αφιερώνεται στην σύζυγο μου Δήμητρα και τους γονείς
μου, Σπυρίδωνα και Κωνσταντούλα...

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	4
Περίληψη.....	6
Abstract	7
Ευχαριστίες.....	8
Κατάλογος Πινάκων	9
Κατάλογος Εικόνων	10
Κατάλογος Σχημάτων.....	12
Κεφάλαιο 1. Ο ρόλος του είδους του κτιρίου στις μετασεισμικές ζημιές	
1.1. Λίθινα Σπίτια	
1.1.1. Υπόβαθρο	13
1.1.2. Εξισώσεις κίνησης	14
1.2. Ανάλυση τρωτότητας.	
1.2.1. Ορισμός τρωτότητας	22
1.2.2. Μεθοδολογία	24
1.2.3. Καμπύλες τρωτότητας.....	28
1.3. Κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα	
1.3.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τις δομές από σεισμική δόνηση	32
1.3.2. Ελληνικοί κανονισμοί για την τρωτότητα στα κτίρια Ανάλυση ευθραυστότητας.....	38
1.3.3 Βλάβες στα στοιχεία τα δομικά των κτιρίων στην περίπτωση σεισμικής δόνησης.....	39
1.3.4 Βλάβες στα στοιχεία τα μη δομικά των κτιρίων στην περίπτωση σεισμικής δόνησης.....	41
1.3.5 Τυπικοί βαθμοί βλάβης σε οργανισμούς από οπλισμένο σκυρόδεμα....	43
1.4 Σεισμική επικινδυνότητα	
1.4.1 Επικινδυνότητα του σεισμού σύμφωνα με τις διατάξεις του EC 8.....	46
1.4.2 Επικινδυνότητα του σεισμού σε σχέση με τους Pitilakis (2012).....	48
Κεφάλαιο 2. Σεισμικές απώλειες	
2.1. Μέθοδοι και εκτίμηση σεισμικών απωλειών Λίθινα Σπίτια	
2.1.1. Εργασίες εκτίμησης κτιριακών απωλειών	50
2.1.2. Εργασίες εκτίμησης χωρικών απωλειών.....	52
2.2. Η μέθοδος SLaMA-URM	
2.2.1. Ιστορικό των κριτηρίων αντοχής	58
2.2.2. Καμπύλες ροπής – περιστροφής.....	59

2.3. Λογισμικά Προγράμματα εκτίμησης απωλειών Ανάλυση τρωτότητας.	
2.3.1. CAPRA (Central American Probabilistic Risk Assessment).....	65
2.3.2. OpenQuake.....	66
2.3.3. SELENA (Seismic Loss Estimation using a Logic Tree Approach).....	67
2.3.4. ELER (Earthquake Loss Estimation Routine)	69
2.3.5. HAZUS-MH.....	70
2.4. Μέθοδος αποτίμησης συμπεριφοράς και εκτίμησης των απωλειών FEMA	72
2.4.1 Seismic Performance Assessment of buildings (FEMA P-58).....	73
2.4.2 PACT (Performance Assessment Calculation Tool).....	75

Κεφάλαιο 3. Επισκευές βλαβών λόγω σεισμού- Μέθοδοι πρόληψης.

3.1 Μέθοδοι επισκευών.....	77
3.2 Επισκευή και ενίσχυση υποστηλωμάτων	
3.2.1 Επισκευή υποστηλωμάτων	77
3.2.2 Ενίσχυση υποστηλωμάτων.....	81
3.3 Επισκευή και ενίσχυση δοκών	
3.3.1 Επισκευή δοκών	85
3.3.2 Ενίσχυση δοκών	86
3.4 Επισκευή και ενίσχυση τοιχωμάτων	
3.4.1 Επισκευή τοιχωμάτων	88
3.4.2 Ενίσχυση τοιχωμάτων	89
3.5 Επισκευή και ενίσχυση δοκών/πλακών	
3.5.1 Επισκευή δοκών/πλακών	91
3.5.2 Ενίσχυση δοκών/πλακών	92
3.6 Επισκευή και ενίσχυση προβόλων.....	98

Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα

Βιβλιογραφία

Περίληψη

Υπόβαθρο: οι σεισμικές δραστηριότητες είναι γνωστό ότι αποτελούν ιδιαίτερα καταστροφικά φαινόμενα που κατά καιρούς έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια ανθρώπινων ζώων. Δεν είναι λίγες οι φορές που σεισμικές δονήσεις έχουν προκαλέσει καταρρεύσεις κτιρίων και τον εγκλωβισμό ή και το θάνατο πολλών συνανθρώπων μας. Σ αυτήν την μεταπτυχιακή διατριβή ασχοληθήκαμε με τον ρόλο του κτιρίου στις μετασεισμικές ζημιές. Συγκεκριμένα πως αντιδρούν τα λίθινα σπίτια σε μια σεισμική δόνηση. Ασχοληθήκαμε με την εξίσωση κίνησής και την ανάλυση της τρωτότητας. Επίσης δώσαμε ιδιαίτερη έμφαση στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα ιδιαίτερα τους παράγοντες που επηρεάζουν τις κατασκευές ύστερα από μία σεισμική δόνηση και ποιοι κανονισμοί ισχύουν στην Ελλάδα καθώς και ποιοι είναι οι τυπικοί βαθμοί βλάβης σε οργανισμούς από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στο δεύτερο κεφάλαιο ασχοληθήκαμε με τις σεισμικές απώλειες. Συγκεκριμένα πως γίνεται η εκτίμηση των σεισμικών απωλειών συγκεκριμένα με τα λογισμικά προγράμματα CAPRA,Openquake, SELENA,ELER,HAZUS MH,PACT. Τέλος προτείναμε μεθόδους επισκευής βλαβών ύστερα από μία σεισμική δόνηση. Εκτενέστερα αναφέραμε την επισκευή και ενίσχυση υποστυλωμάτων , την επισκευή και ενίσχυση δοκών , την επισκευή και ενίσχυση τοιχωμάτων, την επισκευή και ενίσχυση πλακών και προβόλων.

Σκοπός: Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι α) η παρουσίαση και η ανάλυση των παραγόντων που καθορίζουν το βαθμό των καταστροφών που θα προκύψουν σε κτιριακές εγκαταστάσεις μετά από σεισμό β) η παρουσίαση διάφορων εφαρμογών με τη βοήθεια των οποίων μπορεί να γίνει αξιολόγηση των προαναφερθέντων παραγόντων γ) η επισκευή των βλαβών ύστερα από μια σοβαρή σεισμική δόνηση.

Μέθοδος: η εργασία είναι βιβλιογραφική ανασκόπηση και η έρευνα πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια λέξεων-κλειδιών. Οι βάσεις δεδομένων στις οποίες πραγματοποιήσαμε την έρευνά μας ήταν το Google Scholar και το Elsevier

Abstract

Background: seismic activities are known to be particularly destructive phenomena that occasionally result in loss of human life. There are not a few times that earthquakes have caused the collapse of buildings and the confinement or even the death of many of our fellow human beings. In this master's thesis we dealt with the role of the building in post-earthquake damage. Specifically, how stone houses react to an earthquake. We dealt with equation of motion and vulnerability analysis. We also put special emphasis on reinforced concrete constructions, especially the factors that affect constructions after an earthquake and which regulations apply in Greece as well as what are the typical degrees of damage in reinforced concrete structures. In the second chapter we dealt with seismic losses. Specifically, how to estimate seismic losses specifically with the software programs CAPRA, Openquake, SELENA, ELER, HAZUS MH, PACT. Finally, we proposed damage repair methods after an earthquake. In more detail, we mentioned the repair and reinforcement of columns, the repair and reinforcement of beams, the repair and reinforcement of walls, the repair and reinforcement of slabs and cantilevers.

Purpose: The purpose of this work is a) the presentation and analysis of the factors that determine the degree of damage that will occur in building facilities after an earthquake b) the presentation of various applications with the help of which the aforementioned factors can be evaluated c) the repair of damage after a severe earthquake.

Method: the work is a literature review and the research was carried out with the help of keywords. The databases in which we conducted our research were Google Scholar and Elsevier

Ευχαριστίες

Φτάνοντας στο τέλος της συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα Καθηγητή μου κύριο Βασίλειο Μαρτζάκη, για τις συμβουλές, την υποστήριξη και την καθοδήγηση σε όλο το διάστημα της εκπόνησης της εργασίας μου.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την σύζυγο μου για την υποστήριξη και την κατανόηση της καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο μεταπτυχιακό καθώς η συμπαράσταση της υπήρξε καταλυτική για να φτάσω ως το τέλος των σπουδών μου.

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1:Κατηγορίες των εδαφών σε σχέση με τον Ευρωκώδικα 8

Πίνακας 2: Τιμές χαρακτηριστικές Vs 30, συντελεστής ενίσχυσης της εδαφικής επιτάχυνσης της μέγιστης και περίοδοι χαρακτηριστικές σε εδαφικές κατηγορίες σε σχέση με το EC8

Πίνακας 3: Συντελεστές που ενισχύονται οι τιμές οι φασματικές σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8.

Πίνακας 4:Συντελεστές εδαφικής ενίσχυσης ανά κατηγορία εδάφους σύμφωνα με τον EC8 και με το Pitilakis ET AL. (2012)

Πίνακας 5: Οι τύποι των κτιρίων σύμφωνα με την μέθοδο HAZUS, (Πηγή: HAZUS MR4 Technical manual, 2003)

Πίνακας 6: Οι κατηγορίες χρήσεων της μεθοδου HAZUS, (Πηγή:HAZUS MR4 Technical manual, 2003)

Πίνακας 7: Δομικά στοιχεία κατά FEMA P-58 (FEMA, 2018)

Πίνακας 8:Χρήσεις κτιρίων κατά FEMA P-58 (FEMA,2018)

Κατάλογος Εικόνων

- Εικόνα 1: Λίθινο Σπίτι ύστερα από σεισμική δόνηση
- Εικόνα 2 :Οικοδομή με ασύμμετρη διάταξη τοιχοποιίας
(<http://kallasarchitects.gr/portfolio/polikatoikia-korydallos2006/>)
- Εικόνα 3: Εδώ φαίνεται η αστοχία κοντού υποστυλώματος (Γιαννόπουλος Ι., 2005)
- Εικόνα 4: Εδώ φαίνεται η αστοχία εξωτερικού κόμβου με μείωση ακαμψίας του. (Γιαννόπουλος Ι., 2005)
- Εικόνα 5: Ερείπια μετά από σεισμό
- Εικόνα 6: Η ανάλυση του τομέα M–N χρησιμοποιώντας την τεχνική MBA σε υπολογισμούς τομής.
- Εικόνα 7: Μοντέλο πιθανοτικής ανάλυσης και εφαρμογές διαχείρισης κινδύνου (Cardona et al, 2012)
- Εικόνα 8: Ανάλυση κόστους-Όφελος. Διάγραμμα ροής ανασχεδιασμού των υφιστάμενων υποδομών (Silva, 2004)
- Εικόνα 9: Διάγραμμα ροής SELENA (User manual SELENA, 2010)
- Εικόνα 10: Τα επίπεδα ανάλυσης ELER (ELER v3.0 manual, 2010)
- Εικόνα 11: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας εκτίμησης σεισμικών απωλειών (HAZUS MR4 Technical manual, 2003)
- Εικόνα 12: Διάγραμμα ροής μεθόδου FEMA P-58 (FEMA, 2018)
- Εικόνα 13: Ολόκληρη η διαδικασία αποτίμησης ενός κτιρίου κατά PACT
- Εικόνα 14: Επισκευή υποστυλώματος με ρητινέσεις
- Εικόνα 15: Επισκευή υποστυλώματος με μανδύα έγχυτο από σκυρόδεμα
- Εικόνα 16: Επισκευή υποστυλώματος με μερική αποδιοργάνωση της περιοχής που έχει υποστεί βλάβη
- Εικόνα 17: Αποκατάσταση του υποστυλώματος με αποδιοργάνωση πλήρη της περιοχής που έχει υποστεί βλάβη.
- Εικόνα 18: Αποκατάσταση του υποστυλώματος με αποδιοργάνωση πλήρη της περιοχής που έχει υποστεί βλάβη.
- Εικόνα 19: Ενίσχυση και επισκευή υποστυλώματος (eclassteicrete.gr)
- Εικόνα 20: Μανδύας από οπλισμένο σκυρόδεμα
- Εικόνα 21: Ανοιχτός τύπος μανδύα
- Εικόνα 22: Περίσφιγξη με οπλισμό σπειροειδή
- Εικόνα 23: Ενίσχυση και επισκευή δοκού (eclassteicrete.gr)
- Εικόνα 24: Ενίσχυση κόμβου ελάσματα από χάλυβα κολλητά

Εικόνα 25: Ενίσχυση και επισκευή τοιχώματος

(Πηγή: http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/?page_id=1026)

Εικόνα 26: Ενίσχυση και επισκευή τοιχώματος

(Πηγή: http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/?page_id=1026)

Εικόνα 27: Προσθήκη νέων μεταλλικών μελών στις παρειές υφιστάμενης δοκού (α) Δύσκαμπτες διατομές. (β) Εύκαμπτες διατομές

Εικόνα 28: Σύνδεση Κοχλιωτή συγκολλητής διατομής από μέταλλο για αύξηση της καμπτικής αντοχής στην δοκο που υπάρχει από σκυρόδεμα

Εικόνα 29. Ενίσχυση και επισκευή πλάκας. (Πηγή: library.tee.gr)

Εικόνα 30. Ενίσχυση και επισκευή προβόλου. (Πηγή: http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/?page_id=22990)

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1-1. Η κίνηση στην επιφάνεια του εδάφους που εξαρτάται από την πηγή, την διαδρομή των σεισμικών κυμάτων και τις τοπικές εδαφικές συνθήκες

Σχήμα 1-2. Παραμόρφωση κατά της διάρκεια σεισμικής δόνησης

Σχήμα 1-3. Οριζόντιες δυνάμεις στην μάζα της κατασκευής

Σχήμα 1-4. Ενδεικτικό παράδειγμα Καμπυλών τρωτότητας (Κ. Pitilakis et 2018)

Σχήμα 1-5. Ενδεικτικό παράδειγμα Καμπυλών τρωτότητας για τα διάφορα επίπεδα βλάβης (Κ. Pitilakis et 2018)

Σχήμα 1-6. Καμπύλη τρωτότητας για ένα τετραώροφο

κτίριο Σχήμα 1-7. Καθορισμό τρωτότητας σύμφωνα με FEMA

Σχήμα 1-8 .Μέθοδο ΟΑΣΠ κατάταξη των κτιρίων(ΥΠΕΧΩΔΕ-ΟΑΣΠ 2001)

Σχήμα 1-9: Δέντρο κατά Ray et al. (2002) και Choi Stewart (2005)

Για να ορισθεί το ελαστικό φάσμα απόκρισης το οριζόντιο κατά Pitilakis et al.(2012) χρησιμοποιούνται οι σχέσεις του Ευρωκώδικα 8.

1.Ο ρόλος του είδους του κτιρίου στις μετασεισμικές ζημιές

1.1Λίθινα σπίτια

1.1.1Υπόβαθρο

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει για τα λίθινα η αλλιώς πετρόκτιστα σπίτια είναι πολύ ευαίσθητα στους σεισμούς. Σε όλη την Ελλάδα τα λίθινα κτήρια κατοικούνται, κυρίως φτωχούς αγρότες και είναι γύρος τις 150.000. Σύνολο στην Ελλάδα είναι σχεδόν 800.000 λίθινα σπίτια τα οποία περισσότερα είναι εγκαταλελειμμένα. Είναι τα κτήρια εκείνα στα οποία σε όλους τους σεισμούς βλέπουμε να ανοίγουν οι τοίχοι και να σκοτώνουν τους κατοίκους εάν αυτά κατοικούνται. Σύμφωνα με τους ειδικούς αυτά τα κτήρια δεν είναι απαραίτητη η προσεισμική τους ενίσχυση και είναι καλύτερο να εγκαταλειφθούν. Τα κτήρια αυτά είναι επικίνδυνα γιατί οι πέτρες που χρησιμοποιήθηκαν δεν έχουν καμία συνοχή μεταξύ τους προκειμένου να συμπεριφερθούν ως ένα σώμα σε περίπτωση σεισμού και η και η λάσπη που τις ενώνει δεν είναι η κατάλληλη.

Αρχικά πρέπει να καθαριστούν οι αρμοί ανάμεσα στις πέτρες και να γεμίσουν τα κενά με δυνατή λάσπη σαν τσιμέντο. Στη συνέχεια, πρέπει να τοποθετήσουμε εσωτερικά των τοίχων σίδερα πάχους 8 εκατοστών και να γεμίσουν με λάσπη χωρίς να τοποθετηθεί καθόλου ασβέστης». Σύμφωνα με τους ειδικούς, στα παλιά λίθινα κτήρια μπορεί να αυξηθεί η στατικότητα και η αντοχή τους με παρεμβάσεις στα δοκάρια με μανδύα από τσιμέντο ή από σύνθετα υλικά όπως είναι τα υαλονήματα και τα υαλοϋφάσματα.

Για να τα ενισχύσουμε αφού τις περισσότερες φορές δεν έχουν κτιστεί σύμφωνα με τον κοινό αντισεισμικό κανονισμό πρέπει να αρχίσουμε από τα θεμέλια, που είναι και το βασικό μέρος της κατασκευής, μέχρι την τελειοποίηση της. Πολύ επικίνδυνο για την ζωή των κατοίκων είναι η αντικατάσταση των ξύλινων πατωμάτων προκειμένου να είναι ηχομονωτικά δηλαδή να μην ακούγεται θόρυβος από τα πατήματα- από μπετόν επειδή το μπετόν σε περίπτωση σεισμού λειτουργεί σαν κόπτης που κόβει την πέτρα του τοίχου πάνω στην οποία στηρίζεται. Παλιότερα οι μάστορες ήθελαν τα μεσοπατώματα να στηρίζονται πάνω σε ξύλινα δοκάρια, τα οποία με τη σειρά τους έμπαιναν σε τρύπα μέσα στην πέτρα αυτό είχε σαν αποτέλεσμα όταν γινόταν σεισμός να κινούνται ανεξάρτητα από την πέτρα του τοίχου.

Ο τρόπος κατασκευής έχει ως εξής: Στην βάση προτείνονται πεδιλοδοκοί επειδή έχουν βαριά κατασκευή και καλύτερη συμπεριφορά στο σεισμό. Στην συνέχεια τοποθετούνται κρυφές κολόνες που αποτελούν την ένωση στις γωνίες του σπιτιού και μαζί με τον 0,50cm τοίχο, ολοκληρώνουν την στατική ενίσχυση της οικοδομής. Συνήθως τα ηλεκτρικά και τα υδραυλικά ενσωματώνεται στους τοίχους για καλύτερη αισθητική του σπιτιού. Επιπλέον τοποθετούνται κρυφά συνάζια στο δέσιμο μεταξύ της κολόνας και του τοιχίου με απόσταση ένα μέτρο το καθένα μεταξύ τους. Τα χωρίσματα των ορόφων γίνεται με ξύλινα δοκάρια και τοποθετούμε πάτωμα που μπορεί να είναι από ξύλο ή από πλακάκια. Για καλύτερη θερμομόνωση και ηχομόνωση στα λίθινα σπίτια τοποθετούμε πέτσωμα με φαρδιά τάβλα, μεμβράνη γερμανικής προέλευσης, καδρόνια εμποτισμένα σε φάρμακο, φελιζόλ Down, πετροβάμβακα και κεραμίδια.



Εικόνα 1: Λίθινο Σπίτι ύστερα από σεισμική δόνηση

1.1.2. Εξισώσεις κίνησης

Ισχυρή εδαφική κίνηση ονομάζεται η εδαφική κίνηση που έχει την δυνατότητα να προκαλεί βλάβες στα αρχιτεκτονικά ή στα δομικά στοιχεία που έχει μία κατασκευή. Η καταπόνηση των κατασκευών κατά την διάρκεια των σεισμών οφείλεται στην

εδαφική κίνηση. Το κατώτατο όριο που πρέπει να έχει μια παράμετρος της συγκεκριμένης κίνησης είναι άγνωστη, όμως από το παρελθόν γνωρίζουμε ότι το όριο της εδαφικής επιτάχυνσης, είναι από 5% μέχρι 10% της επιτάχυνσης που έχει η βαρύτητα. Η πραγματική τιμή της εδαφικής κίνησης συνδέεται τη συχνότητα και τη διάρκεια της κίνησης καθώς και με τα δυναμικά χαρακτηριστικά που έχει η κατασκευής (Campbell, 1985). Σε μια ισχυρή σεισμική εδαφική κίνησή μπορούμε να εκτιμήσουμε τα αποτελέσματα τους με δύο τρόπους ποιοτικά η ποσοτικά.

Αρκετές βελτιώσεις έχουν γίνει στους τρόπους που καθορίζεται η σφοδρότητα του σεισμού αλλά και η ένταση. Εξαιτίας της φύσης της παραμένει η παράμετρος αυτή ημιποσοτική. Από το παρελθόν έχουν εφευρεθεί ένα σωρό κλίμακες για την μέτρηση της έντασης για αρκετές περιοχές της Γης. Σήμερα οι κλίμακες που ισχύουν για την μέτρησή της είναι εκείνη των Mercalli–Cancani–Sieberg (MCS), των Medvedev–Sponheuer–Karnik (MSK) (Karnik, 1969), η τροποποιημένη κλίμακα Mercalli (MM) (Wood and Neuman, 1931) και η Ιαπωνική κλίμακα JMA (Japan Meteorological 12 Agency). Στην Ελλάδα για την περίοδο 1950-1981 χρησιμοποιήθηκε η ελληνική παραλλαγή μιας τροποποιημένης κλίμακας Mercalli (Papazachos et al., 1982).

Στις αρχές του 1980, βλέπουμε μια αύξηση στα δίκτυα επιταχυνσιογράφων και των καταγραφών αντίστοιχα, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργούνται βάσεις δεδομένων τόσο σε εθνικό αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο που συνεχώς εμπλουτίζονται καθώς η τεχνολογία αναπτύσσεται (HEAD, GHEAD, ESM). Όμως η βάση δεδομένων της ισχυρής σεισμικής κίνησης δεν μπορεί ακόμα να θεωρηθεί πλήρης λόγω του ότι υπάρχουν αρκετές περιοχές με ελάχιστες ή σχεδόν ανύπαρκτες καταγραφές.

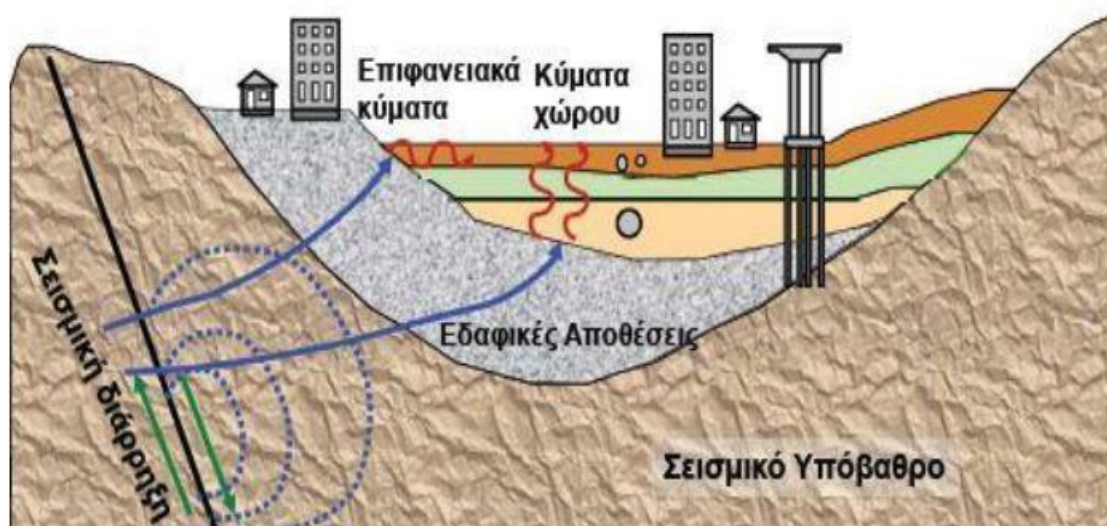
Η έλλειψη δεδομένων που υπάρχει διεθνώς οφείλεται στις καταγραφές στα κοντινά πεδία, δηλαδή στις κοντινές αποστάσεις από τα ρήγματα του σεισμού.

Στην διάρκεια που γίνεται ένας σεισμός, δεν παίζει σημασία η ένταση του, αλλά η ενέργεια του σεισμού που βγαίνει κατά τη διάρρηξη των πετρωμάτων και εκπέμπεται στον χώρο υπό την μορφή κυμάτων σεισμικών. Η κίνηση του εδάφους που καταγράφεται είναι ανεξάρτητη από την διάρρηξη του σεισμικού ρήγματος καθώς και από το μέγεθος. Το πλάτος και το συχνотικό περιεχόμενο του σεισμικού κραδασμού καθορίζεται από την διαδρομή των σεισμικών κυμάτων που διέρχονται από τα πετρώματα και από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες. Τέλος, έστω (E) είναι η επιρροή των συνθηκών του εδάφους που επικρατούν τοπικά, (Δ) η επιρροή της διαδρομής των σεισμικών κυμάτων από την πηγή έως τη θέση παρατήρησης, και (Π) η επιρροή της πηγής, έτσι προκύπτει η τελική εδαφική κίνηση (ΕΚ) που εκφράζεται από την εξίσωση (1.1), όπου * είναι το σύμβολο της συνέλιξης στην περιοχή του χρόνου και φαίνεται στην εξίσωση 1-1

$$(EK) = (\Pi) * (\Delta) * (E) \quad (1.1)$$

Οι τοπικές εδαφολογικές συνθήκες παίζουν έναν πολύ σημαντικό παράγοντα καθώς έχουν την δυνατότητα να μετατρέψουν αρκετά την κίνηση της επιφάνειας του εδάφους, με τους παρακάτω τρόπους:

1. την αύξηση της κίνησης του εδάφους (που εξαρτάται από τις μέγιστες τιμές των χρονοϊστοριών της)
2. την επιμήκυνση της διάρκειας της,
3. την αλλαγής του συχνοτικού της περιεχομένου
4. τη χωρική μεταβλητότητα της εδαφικής απόκρισης (κρίσιμη για κατασκευές που βρίσκεται σε αποστάσεις μεγάλες, π.χ. αγωγοί, οδικά δίκτυα κ.λπ.)



Σχήμα 1-1. Η κίνηση στην επιφάνεια του εδάφους που εξαρτάται από την πηγή, την διαδρομή των σεισμικών κυμάτων και τις συνθήκες του εδάφους που επικρατούν τοπικά.

Η εδαφική κίνηση μπορεί να διαφέρει πολύ, ακόμα και αν βρίσκεται σε κοντινή απόσταση σε μια άλλη θέση, αυτό οφείλεται, είτε λόγω των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν στο έδαφος, ή εξαιτίας της διαφορετικής ακτινοβολίας της ενέργειας του σεισμού, που είναι συνδεδεμένος με τον μηχανισμό της διάρρηξης, η ακόμη και συνδυαστικά των δύο παραγόντων αυτών.

Η πιο συχνή παράμετρος σε συνάρτηση με τον χρόνο είναι η μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση (PGA_H). Με αυτήν (PGA_H) ορίζουμε τη μέγιστη τιμή των δύο αυτών οριζόντιων συνιστωσών και σε συγκεκριμένες περιπτώσεις το

άθροισμα τους το διανυσματικό. Η χρήση της οριζόντιας συνιστώσας προκύπτει από την σύνδεσή της με τις δυνάμεις αδράνειας που φορτίζουν μία συνηθισμένη κατασκευή.

Η ένταση του σεισμού ορίζεται με την *PGA*H (Trifunac and Brady, 1975). Συχνά η συσχέτιση αυτή μπορεί να μην είναι ακριβής και αξιόπιστη, αλλά μας δείχνει την προσέγγιση μιας εικόνας των ζημιών. Η μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση (*PHA* ή *amax*) είναι η πιο διαδεδομένη παράμετρος που περιγράφει τον κραδασμό του σεισμού. Ουσιαστικά σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούμε την μέγιστη τιμή των 2 οριζόντιων συνιστωσών ενώ σε άλλες περιπτώσεις το διανυσματικό τους άθροισμα. Την οριζόντια συνιστώσα την χρησιμοποιούμε λόγω της σύνδεσής που γίνεται άμεσα με τις αδρανειακές δυνάμεις, οι οποίες φορτίζουν μια κτιριακή κατασκευή σε συνηθισμένη μορφή. Επιπλέον η κατακόρυφη ταλάντωση είναι λιγότερο επικίνδυνη αφού οι κατασκευές τις περισσότερες φορές είναι σχεδιασμένες με συντελεστές ασφαλείας με αρκετά μεγάλους, ως προς τα στατικά φορτία που είναι κατακόρυφα. Οι σεισμολόγοι και οι μηχανικοί δεν χρησιμοποιούν πολύ τον όρο της κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης. Έχει παρατηρηθεί ότι οι σημερινές κατασκευές λόγω των μεγάλων προβόλων, βαρύτητας, τοίχων κ.λπ. είναι φοβερά ευαίσθητες στον συνδυασμό των δράσεων των οριζόντιων φορτίων και ισχυρών κατακόρυφων ταλαντώσεων. Η κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση έχει δύο εξαιρετικά σε ενδιαφέρον χαρακτηριστικά:

i. είναι μια ταλάντωση μεγάλων συχνοτήτων οπότε έχει μεγάλο ενδιαφέρον στις κατασκευές ή στα τμήματά του,

ii. η αποτίμηση της επίδρασης της μη γραμμικής συμπεριφοράς των εδαφών στις μεγάλες εντάσεις των σεισμών δεν είναι εύκολη να γίνει.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ακόμη κι αν έχουμε εξαιρετικές διατμητικές παραμορφώσεις του εδάφους, η μεγέθυνση της κατακόρυφης εδαφικής κίνησης από το βραχύδες υπόβαθρο μέχρι την επιφάνεια, είναι συνδεδεμένη με τις ελαστικές ιδιότητες του υποβάθρου καθώς και του υλικού του εδάφους.

Πολλοί σεισμοί με μεγάλες τιμές των επιταχύνσεων του εδάφους, δεν προκαλούν ζημιές ή βλάβες στις κατασκευές, επειδή υπάρχουν αρκετοί παράμετροι που καθορίζουν τις επιπτώσεις τους και τα χαρακτηριστικά τους.

Η κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση (*PGAV*) δεν έχει απασχολήσει αρκετά τους σεισμολόγους και τους μηχανικούς, επειδή η κατακόρυφη ταλάντωση των κατασκευών είναι λιγότερο επικίνδυνη, καθώς οι περισσότερες κατασκευές έχουν σχεδιασθεί με αρκετά υψηλούς συντελεστές ασφαλείας για τα κατακόρυφα στατικά φορτία.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά είναι τα εξής: (α) εμφανίζεται συνήθως σε υψηλή ταλάντωση οπότε είναι ενδιαφέρον για τα τμήματα των κατασκευών που έχουν μικρή περίοδο καθώς και τις κατασκευές (β) είναι σημαντικό ότι δεν επηρεάζει

τη μη-γραμμική συμπεριφορά των εδαφών που αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ακόμη και όταν οι οριζόντιες διατμητικές παραμορφώσεις του εδάφους είναι σοβαρές, η μεγέθυνση της κατακόρυφης κίνησης του εδάφους από το βραχώδες υπόβαθρο μέχρι και την επιφάνεια να εκφράζεται από τις ελαστικές ιδιότητες του υποβάθρου και του υλικού του εδάφους.. Η $PGAV$ είναι ίση με τα $2/3$ ή το 70% της $PGAH$ (Newmark and Hall, 1982, EAK 2000, Eurocode 8), δεν εξαρτάται από το μέγεθος M και περικεντρικής απόστασης ή για κοντινού πεδίου σεισμού που ο λόγος $PGAV/PGAH$ είναι κοντά στο 1.0 (Campell, 1985).

Σεισμοί που έχουν μεγάλες εδαφικές επιταχύνσεις δεν είναι πάντα καταστροφικοί. Μεγάλες κινήσεις του εδάφους με μέγιστη επιτάχυνση μεγαλύτερη από $0.5g$ και όταν η διάρκεια της ισχυρής κίνησής είναι μικρή δεν προκαλούν σημαντικές ζημιές στις κατασκευές που έχουν κατασκευασθεί σύμφωνα με τον αντισεισμικό κανονισμό κατασκευές, όταν είναι πολύ. Έτσι, η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση ($PGAH$) δεν έχει την δυνατότητα μόνη της να περιγράψει πλήρως την κίνηση του εδάφους, επειδή δεν δίνει καμία πληροφορία για το περιεχόμενο της συχνότητας και τη διάρκεια της δόνησης του σεισμού. Η μελέτη καθώς και άλλες σχετικοί παράμετροι είναι απαραίτητοι.

Η μέγιστη οριζόντια ταχύτητα του εδάφους ($PGVH$) είναι μία επιπλέον σοβαρή παράμετρος της ισχυρής κίνησης του εδάφους, επειδή προκύπτει κυρίως στις ενδιάμεσες συχνότητες ($0.5-2.0$ Hz) της δόνησης του σεισμού. Την ορίζουμε περισσότερο για να χαρακτηρίσουμε κινήσεις των σεισμών των μεσαίων συχνοτήτων, όπου αυτές προκαλούν βλάβες ή ζημιές στις κατασκευές με μεγάλες ιδιοπεριόδους, όπως γέφυρες, εύκαμπτα πολυώροφα κτίρια, κ.α. Αυτή η παράμετρος είναι η πιο αξιόπιστη καθώς χαρακτηρίζει τις κινήσεις του σεισμού στις συχνότητες που είναι ενδιάμεσες και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αστοχία των κατασκευών με αρκετά μεγάλες ιδιοπεριόδους. Εξαιτίας του ότι η μέγιστη ταχύτητα του εδάφους και η επιτάχυνση αναφέρεται σε διαφορετική συχνότητα, ο λόγος $PGVH/PGAH$ θα είχε την δυνατότητα να αποτελεί έναν δείκτη του συχνοτικού περιεχομένου της κίνησης του εδάφους. Ο λόγος $PGVH/PGAH$ ισοδυναμεί με $T/2\pi$. Η ποσότητα $2\pi \cdot (PGVH/PGAH)$ είναι δυνατόν να θεωρηθεί ότι εκφράζει κατά ένα μέρος την περίοδο της ταλάντωσης ενός ισοδύναμου αρμονικού κύματος και κατ' επέκταση αποτελεί ένα δείκτη της δεσπόζουσας περιόδου της δόνησης. Η μέγιστη ταχύτητα σε σχέση με την μέγιστη επιτάχυνση αναφέρονται σε διαφορετικές συχνότητες.

Ο λόγος αυτός εξαρτάται από το μέγεθος, M και της επικεντρικής απόστασης, R . Ο McGuire (1978), σύμφωνα με πολλές μελέτες που έχουν να κάνουν με το θέμα αυτό, κατέληξε ότι αυξάνεται ο λόγος αναλογικά με την αύξηση του μεγέθους (M) και της επικεντρικής απόστασης (R). Οι συντελεστές αναλογίας εμφανίζονται παρακάτω:

Έδαφος:

$$\frac{PGV_H}{PGA_H} * [e^{0.15M}] * [R^{0.23}] \quad (1.2)$$

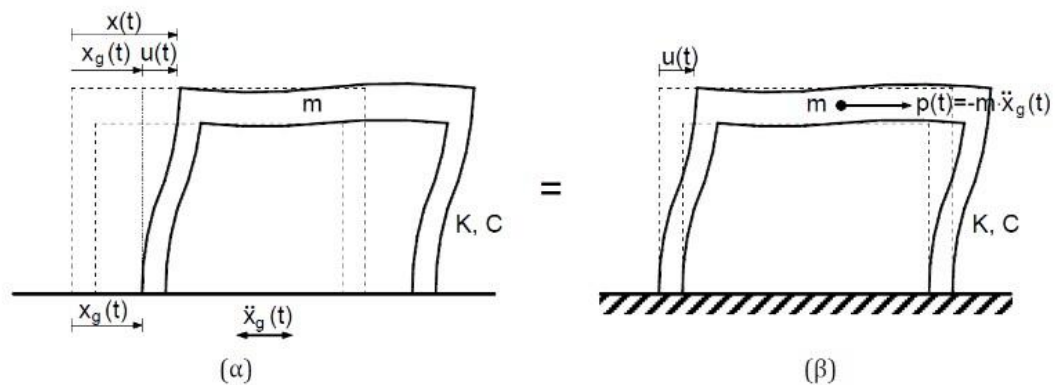
Βράχος:

$$\frac{PGV_H}{PGA_H} * [e^{0.40M}] * [R^{0.12}] \quad (1.3)$$

1.1.2.2 Δυναμική εξίσωση κίνησης

Η βάση μιας κατασκευής που είναι θεμελιωμένη πάνω στο κατά την διάρκεια ενός σεισμού, κινείται γρήγορα, με εναλλασσόμενο πρόσημο, γύρω από την αρχική θέση ηρεμίας. Σ αυτήν την κίνηση της βάσης το μέγεθος που μας ενδιαφέρει είναι η επιτάχυνση, $\ddot{x}_g(t)$. Όμως η μάζα που βρίσκεται πάνω στην βάση, εξαιτίας της αδράνειάς της, κινείται με διαφορετικό τρόπο και δεν ακολουθεί την κίνηση της βάσης με αποτέλεσμα να κάνει μια δική της ταλάντωση. Η κίνηση της μάζας και της βάσης είναι διαφορετική και προκαλεί ένταση και παραμόρφωση στην κατασκευή:

$$p(t) = -m \cdot \ddot{x}_g(t) \quad (1.4)$$



Σχήμα 1-2 Παραμόρφωση κατά την διάρκεια ενός σεισμού

Η εδαφική μετακίνηση συμβολίζεται με $x_g(t)$ και η σχετική μετακίνηση της μάζας ως προς την βάση με $u(t)$. Η μετακίνηση του συνόλου την χρονική στιγμή t , που μετράτε από την αρχική θέση της κατασκευής είναι $x(t) = x_g(t) + u(t)$. Εξαιτίας του φορτίου $p(t)$, η κατασκευή παραμορφώνεται και αναπτύσσονται δυνάμεις εσωτερικές επαναφοράς, που τείνουν να επαναφέρουν την αρχική θέση ισορροπίας στην κατασκευή. Το μέγεθος των δυνάμεων αυτών εξαρτάται από τη δυσκαμψία K και τη απόσβεση C της κατασκευής. Η δυσκαμψία που προκύπτει σε μία κατασκευή δηλώνει το μέγεθος της αντίστασης που εμφανίζεται στην παραμόρφωσή της. Σε περίπτωση που K είναι η δυσκαμψία η συνολική της κατασκευής, η δύναμη επαναφοράς $f_s(t)$ αναπτύσσεται για την σχετική μετακίνηση της μάζας σε σχέση με τη βάση $u(t)$, και εκφράζεται με την σχέση:

$$f_s(t) = K \cdot u(t) \quad (1.5)$$

Η ενέργεια που απορροφάτε κατά την ταλάντωση των κατασκευών ονομάζεται απόσβεση. Η απόσβεση παρατηρείται σε ιδανικά υλικά εξαιτίας της εσωτερικής τριβής που υπάρχει κατά την διάρκεια της παραμόρφωσης. Όμως σε κατασκευές πραγματικές οφείλεται επιπρόσθετα και σε άλλους παράγοντες, όπως στην τριβή που αναπτύσσεται στους κόμβους μεταλλικών κατασκευών, στην ανελαστική παραμόρφωση των μη-φερόντων στοιχείων (π.χ. τοιχοποιίες) κ.λπ. Η μαθηματική εξίσωση της απόσβεσης δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$f_d(t) = C \cdot \dot{u}(t) \quad (1.6)$$

Πρακτικά όμως δεν είναι εύκολο να υπολογιστεί ο συντελεστής C , γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται ο συντελεστής απόσβεσης ζ , ο οποίος δείχνει την απόσβεση ως ποσοστό της κρίσιμης απόσβεσης. Εφαρμόζοντας τον 2ο νόμο του Νεύτωνα στην οριζόντια διεύθυνση:

$$p - f_s - f_d = m\ddot{u} \quad (1.7)$$

και αντικαθιστώντας προκύπτει:

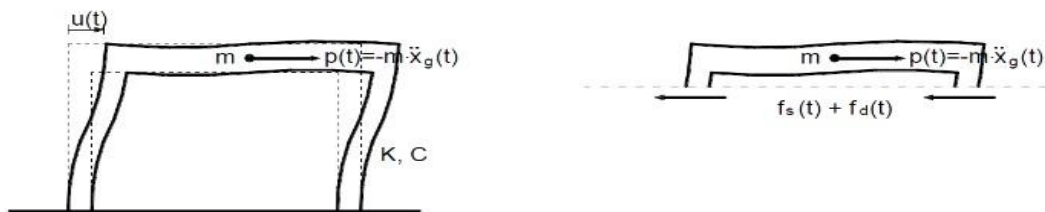
$$m\ddot{u} + K \cdot u(t) + C \cdot \dot{u}(t) = -m \cdot \ddot{x}_g(t) \quad (1.8)$$

διαίρωντας με τη μάζα m:

$$\ddot{u} + 2\zeta\omega\dot{u} + \omega^2 u = -\ddot{x}_g(t) \quad (1.9)$$

όπου ω είναι η ιδιοσυχνότητα της κατασκευής και εκφράζεται με την σχέση:

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (1.10)$$



Σχήμα 1-3 δυνάμεις οριζόντιες στην μάζα της κατασκευής

Ο συντελεστής απόσβεσης ζ εκφράζεται με την παρακάτω σχέση:

$$\zeta = \frac{C}{2\sqrt{mK}} \quad (1.11)$$

Η ιδιοπερίοδος του ταλαντωτή σχετίζεται με την ιδιοσυχνότητα μέσω της σχέσης:

$$T = 2\pi/\omega$$

$$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1.12)$$

Η δυναμική φόρτιση του απλού συστήματος είναι η επιτάχυνση του εδάφους.

Γνωρίζοντας την $x(t)$, η επίλυση της εξίσωσης (1.8) θα μας δώσει την απόκριση της Κατασκευής.

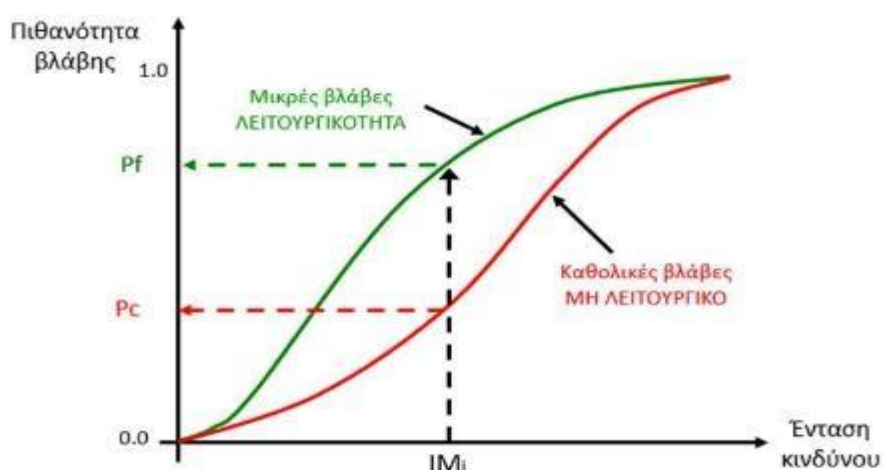
1.2 Ανάλυση τρωτότητας

1.2.1. Ορισμός Τρωτότητας

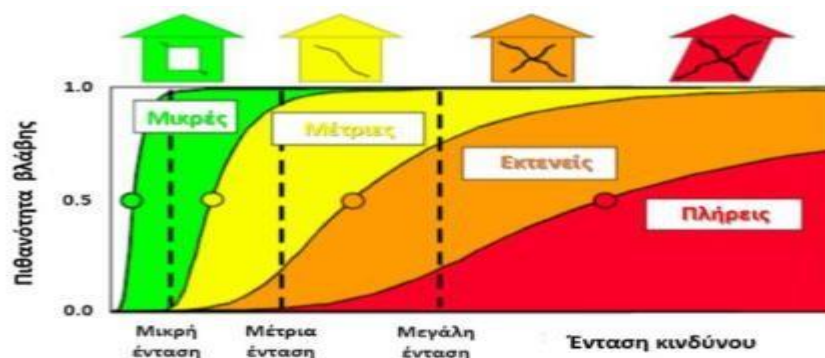
Σεισμική τρωτότητα ή αλλιώς ευαλότητα (Vulnerability) είναι η ευπάθεια αλλιώς η τρωτότητα των ελεύθερων αντικειμένων, κατασκευών, στοιχείων απέναντι σε φυσικούς κινδύνους. Ως τρωτότητα εννοούμε να είναι τρωτή ουσιαστικά ορίζουμε τον βαθμό ευπάθειας που έχουν η κατασκευές απέναντι στους σεισμούς. Η σεισμική τρωτότητα εξαρτάται όχι μόνο από την ένταση του σεισμού αλλά και από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά κάθε κατασκευής. Συγκεκριμένα η τρωτότητα των κατασκευών και συγκεκριμένα των κτιρίων εξαρτάται από τα υλικά τους, τον δομικό τύπο και την γεωμετρία τους. Συγκεκριμένα με τον όρο σεισμική τρωτότητα ορίζουμε τον βαθμό απώλειας μιας κατασκευής, τεχνικού έργου ή άλλης ενέργειας που προκλήθηκε από την δόνηση του σεισμού της περιοχής. Ουσιαστικά, η διέγερση που προκύπτει από τον σεισμό σε συνδυασμό με τις βλάβες που προκαλούνται συνδέει τη σεισμική τρωτότητα και εκφράζεται με ακρίβεια με τις καμπύλες τρωτότητας. Οι καμπύλες αυτές ορίζουν την πιθανότητα η ζημιά που έχει δημιουργηθεί σε μια κατασκευή ώστε να είναι ίση ή μεγαλύτερη από ένα επίπεδο βλάβης συγκεκριμένο, κάτω από ένα συγκεκριμένο βαθμό σεισμικής έντασης. Μια καμπύλη τρωτότητας εκφράζει μια λογαριθμική συνάρτηση σωρευτικής κατανομής της πιθανότητας υπέρβασης δομικών ή μη δομικών επιπέδων βλάβης (π.χ. μικρές, μέτριες, εκτεταμένες, πλήρεις), για μια ένταση του σεισμού, που έχει την δυνατότητα να αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή της ταχύτητας, στην μέγιστη τιμή της επιτάχυνσης του εδάφους ή μετακίνησης ή στις φασματικές τιμές τους ή ακόμη και στη εδαφική μετακίνηση μετά το σεισμό. Πιο κάτω προβάλλονται σχήματα που δείχνουν τη σχέση μιας έντασης του σεισμού και βλάβης. Αυτό γίνεται με καμπύλες τρωτότητας, με τις οποίες μπορεί να υπολογιστεί η πιθανότητα εμφάνισης δυο σταθμών βλάβης (μικρή βλάβη, σοβαρή βλάβη) για το συγκεκριμένο επίπεδο έντασης του σεισμού.

Στην Ελλάδα, οι βλάβες κατατάσσονται σύμφωνα με τις οδηγίες ΟΑΣΠ που ουσιαστικά περιγράφουν τις βλάβες που έχουν δημιουργηθεί στα κτίρια σύμφωνα με τις επιτροπές του πρωτοβάθμιου και δευτεροβάθμιου ελέγχου και διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

α) Πράσινο κτίριο ορίζεται το κτίριο εκείνο που είναι ανθεκτικό ακόμα στους σεισμούς. Συγκεκριμένα δεν έχει υποστεί καμία βλάβη από την σεισμική δόνησή και η αντισεισμική του ικανότητα δεν έχει μειωθεί. Επιπλέον μπορεί όμως να έχουν εμφανιστεί λεπτές ρωγμές που δεν είναι διαγώνιες σε οριζόντια στοιχεία του συγκεκριμένου οργανισμού ή ελαφρές ρωγμές στις τοιχοποιίες πλήρωσης. Το κτίριο αυτό δεν χρειάζεται απαραίτητα κάποια στατική ενίσχυση ή κάποια επισκευή.



Σχήμα 1-4 Ενδεικτικό παράδειγμα Καμπυλών τρωτότητας (Κ. Pitilakis et 2018)



Σχήμα 1-5 Ενδεικτικό παράδειγμα Καμπυλών τρωτότητας για τα διάφορα επίπεδα βλάβης (Κ. Pitilakis et 2018)

β) Κίτρινο κτίριο είναι το κτίριο εκείνο όπου η αντισεισμική του ικανότητα έχει μειωθεί πολύ. Αυτό το κτίριο έχει εμφανίσει ρωγμές αρκετές πάνω σε δοκούς τοιχώματα, υποστυλώματα, έχει παραμόρφωση μικρή σε συγκεκριμένα στοιχεία του

κτίριού, αποδιοργάνωση του σκυροδέματος και ακόμα και θρυμματισμό μερικών τούβλων. Είναι απαραίτητες οι επισκευές στα σημεία που έχουν προκύψει βλάβες από την σεισμική δόνηση.

γ) Πορτοκαλί κτίριο χαρακτηρίζεται το κτίριο το οποίο η αντισεισμική του ικανότητα έχει μειωθεί σημαντικά που όμως δεν επηρεάζει την ευστάθεια του κτιρίου. Παρατηρούνται λυγισμοί των ράβδων, των υποστυλωμάτων καθώς και πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος, διαρροή ή θραύση συνδετήρων και ασυνέχεια του στοιχείου. Στο κτίριο παρατηρούνται σχετικά μικρές παραμορφώσεις καθώς και αποδιοργάνωση φοβερή σε κόμβους. Ότι έχει υποστεί ζημιές χρειάζεται άμεση αντικατάσταση καθώς οι επισκευές δεν συμφέρουν οικονομικά.

δ) Κόκκινο κτίριο είναι το κτίριο εκείνο που έχει υποστεί πολύ σοβαρές και μεγάλες ζημιές (συγκεκριμένα σημεία ή και κόμβοι με μεγάλες παραμορφώσεις) Υπάρχει περίπτωση μερικής ή ολικής κατάρρευσης του κτιρίου. Σ αυτά τα κτίρια έχουμε πλήρης απώλεια των δομικών στοιχείων της κατασκευής και κάθε παρέμβαση κρίνεται άσκοπη.

Στην εκτίμηση της τρωτότητας υπάρχουν πολλές αβεβαιότητες. Οι αβεβαιότητες αυτές προκύπτουν από την ποικιλομορφία των χαρακτηριστικών της κίνησης του εδάφους, της αναλυτικής μοντελοποίησης, των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και στον καθορισμό των οριακών καταστάσεων.

1.2.2 Μεθοδολογία

Η διαμόρφωση ενός μοντέλου που κάνει την εκτίμηση των κινδύνων του σεισμού αποτελεί την εκτίμηση τρωτότητας και πιθανών απωλειών. Τα μοντέλα διαχωρίζονται σε δυο διαφορετικές προσεγγίσεις την πιθανοτική και την αιτιοκρατική προσέγγιση.

Η πιθανοτική προσέγγιση ασχολείται με τις σεισμικές δονήσεις που έχουν συμβεί στο παρελθόν και έχουν ήδη γίνει, επίσης με την συχνότητα που εκδηλώνονται τα συμβάντα αυτά από εκείνες τις πηγές εκείνες, που επηρεάζουν μια συγκεκριμένη περιοχή. Στην συνέχεια πραγματοποιείται ο υπολογισμός της ετήσιας υπέρβασης βάση των καταγεγραμμένων αυτών τιμών επί των χαρακτηριστικών μεγεθών κινήσεως του εδάφους, που αποσκοπεί στην πιθανοτική απόδοση των αναμενόμενων απωλειών ανά την συγκεκριμένη πηγή του σεισμού.

Η αιτιοκρατική προσέγγιση ξεκινάει από ένα σενάριο σεισμικής διέγερσης, ως αρχικό σημείο, που στην αρχή χρησιμοποιείται σαν βοήθημα προς απόδοση της

κινήσεως του εδάφους και έπειτα με βάση αυτή την κίνηση του εδάφους να εκτιμήσει ενδεχόμενες βλάβες και τις απώλειες, αποτελώντας την χειρότερη κατηγορία εκδήλωσης γεγονότος που προκαλείται από τον σεισμό σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Αυτή είναι η παλιότερη μέθοδος για τον υπολογισμό βλαβών, η οποία δημιουργήθηκε για τις ασφαλιστικές εταιρείες για να ορίσουν την κάλυψη πρακτικών αναγκών, που ήθελαν να εκτιμήσουν τον δείκτη PML (δείκτης Μέγιστης Πιθανής Απώλειας). Ο δείκτης αυτός εκφράζει το μέγεθος των μέγιστων αποθεματικών, τα οποία πρέπει να είναι πάντα διαθέσιμα, έτσι ώστε η εταιρεία που έχει αναλάβει την ασφάλεια να είναι σε θέση να αποζημιώσει τα αιτήματα απωλειών και βλαβών σε μία ενδεχόμενη πρόκληση ως συνέπεια μιας σεισμικής κίνησης σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Αυτή είναι η πιο γνωστή μέθοδος, η οποία μας δίνει την ευκαιρία να υπολογιστεί ο δείκτης AAL (δείκτης Μέσων Ετήσιων Απωλειών). Ο δείκτης αυτός δείχνει σε μέσες τιμές τις απώλειες που έχουν καταγραφεί στο σύνολο των συμβάντων μιας σεισμικής κίνησης συγκεντρωτικά σε μία περιοχή συγκεκριμένη κατά έτος και ορίζεται για να υπολογιστούν τα ποσά που απαιτούνται για να καταβληθούν από την εταιρεία που έχει αναλάβει την ασφάλεια η αποζημίωση για κάθε ασφαλισμένο κτήριο από την συγκεκριμένη εταιρεία σε αυτή την περιοχή. Επιπλέον η χρήση ανάλυσης πιθανολογικής έχει επικρατήσει σε μοντέλα αιτιοκρατικά, για να ορίσουμε τη σεισμική πηγή, που προκαλεί βλάβες και απώλειες σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Τέλος τα στοιχεία επιλογής που καθορίζουν την πιο κατάλληλη μέθοδο σε κάθε περίπτωση είναι ο σκοπός της ανάλυσης της τρωτότητας που είναι διεργούμενη καθώς και κατά πόσο είναι διαθέσιμα τόσο τα απαραίτητα δεδομένα, όσο και τα λογισμικά που είναι εξειδικευμένα.

Οι κατηγορίες της ανάλυσης τρωτότητας διακρίνονται σε 4 μεθόδους 1. Οι εμπειρικές μέθοδοι 2. Οι αναλυτικές μέθοδοι 3. Οι κατηγοριοποιητικές μέθοδοι 4. Οι μέθοδοι εκτίμησης και επιθεώρησης και περιγράφονται παρακάτω.

1.1.2.1.1 Εμπειρικές Μέθοδοι

Οι εμπειρικές μέθοδοι είναι η αξιοποίηση εμπειρικών δεδομένων από καταγεγραμμένες σεισμικές εντάσεις που αποτελούν μία προσέγγιση αρχική, η οποία διαμορφώθηκε για την κάλυψη των αναγκών που είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό ενδεχόμενων απωλειών του σεισμού. Ως μέγεθος η σεισμική ένταση είναι αδύνατον να υπολογιστεί με τη χρήση οργάνων γι' αυτό τον λόγο υπολογίζεται με την αξιοποίηση προσωπικών παρατηρήσεων, οπτικών καταγραφών και εκτιμήσεων, ακολουθώντας ένα πλαίσιο από σχετικές κατευθυντήριες της υιοθετούμενης Κλίμακας με σκοπό την εκτίμηση της σεισμικής έντασης. Για αυτόν τον λόγο, η χρήση της σεισμικής έντασης για τον υπολογισμό της κίνησης του εδάφους εμφάνιζε ποσοστά σημαντικά αβεβαιότητας. Με την αύξηση της προόδου της

τεχνολογίας, οι αναλυτικές καταγραφές των οργάνων μέτρησης σε μεγέθη, όπως η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, οδήγησαν την τεκμηρίωση σε πλήρη μορφή των εμπειρικών μεθόδων, οι οποίες στις μέρες μας χρησιμοποιούνται συνέχεια. Οι κατηγορίες αυτές υπολογίζουν την εκτίμηση με μεγάλη ακρίβεια των μηχανικών χαρακτηριστικών που έχουν τα υλικά της κατασκευής, επιτρέποντας έτσι την απόδοση αναλυτικά των χαρακτηριστικών με τα οποία διακρίνουν το εδαφικό σύστημα. Η απόδοση της τρωτότητας της κατασκευής σε κατηγορίες οι οποίες χρησιμοποιούν σαν εργαλείο το μέγεθος της έντασης, επιτυγχάνεται με τη συγκρότηση DPM (Πινάκων Πιθανοτήτων Βλάβης) και έχει να κάνει με τον τύπου κάθε κτιρίου. Αυτοί οι πίνακες περιέχουν την αποτύπωση της πιθανότητας της βλάβης που εμφανίζεται για συγκεκριμένες τιμές της εντάσεως του σεισμού (Whitman et al., 1973). Αυτοί οι πίνακες έχουν τα όρια, των ποιοτικών προσδιορισμών, όπου χρησιμοποιούν την Κλίμακα EMS-98, την Τροποποιημένη Κλίμακα Μακροσεισμικής έντασης του Μερκάλλι και την Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα, με σκοπό τη διαμόρφωση μίας εκτίμησης για το ποσοστό των κτιρίων που είναι αναμενόμενο του ίδιου τύπου που έχει την δυνατότητα να παρουσιάσει παρόμοιο βαθμό βλαβών. Για το χαρακτηριστικό αυτό, δεν είναι αναγκαία η κατάρτιση των πινάκων με μικρότερες τιμές έντασης, καθώς για αυτές τις τιμές δεν είναι συνηθισμένο να καταγράφονται βλάβες εμφανείς. Συνοπτικά, η τήρηση των δεδομένων μέχρι και 2 βαθμούς εντάσεως σε κάθε περιοχή, δημιουργεί είτε την προσαρμογή των εμπειρικών δεδομένων από περιοχές διαφορετικές ή συμβάντα διαφορετικά, είτε την χρησιμοποίηση μεθόδων συνδυαστικών με σκοπό την επίτευξη των αποτελεσμάτων της εμπειρικής μεθόδου που επιλέγεται.

1.1.2.1.2 Αναλυτικές μέθοδοι

Οι αναλυτικές μέθοδοι σεισμική τρωτότητας είναι μέθοδοι υπολογισμού, που βασίζονται σε θεωρητικές προβλέψεις των ενδεχόμενων βλαβών των κατασκευών που υποβάλλονται στην καταπόνηση του σεισμού, οι οποίες χρησιμοποιούν μαθηματικά προσομοιώματα με σκοπό τον προσδιορισμό μιας αναλυτικής προσέγγισης της σεισμικής αποκρίσεως μιας κατασκευής.

Για την πραγματοποίηση των αναλύσεων των μεθόδων αυτών είναι απαραίτητη η χρήση συγκεκριμένων μεθόδων (μη γραμμικών μεθόδων επικρατέστερα) και λογισμικών δομικών αναλύσεων. Το αρνητικό αυτών των μεθόδων είναι ότι πολύ δαπανηρές και δύσκολες αλλά το θετικό είναι ότι είναι πολύ αξιόπιστες σε σχέση με άλλες μεθόδους. Τις αναλυτικές μεθόδους τις εφαρμόζουμε όταν οι άλλες μέθοδοι δεν μπορούν να εκφράσουν ακριβώς τα μέτρα της ελαχιστοποίησης της τρωτότητας σε μια συγκεκριμένη κατασκευή επίσης αυτά έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για τη διενέργεια αναλύσεως τρωτότητας σημαντικών κτιρίων και σύνθετων δομικά κατασκευών. Οι αναλυτικές μέθοδοι δείχνουν την τρωτότητα χρησιμοποιώντας την καμπύλη ικανότητας. Αυτή η καμπύλη εκφράζει τη μη γραμμική συμπεριφοράς της συγκεκριμένης κατασκευής που μελετάμε. Επιπλέον εκφράζει την μετατόπιση που εκδηλώνεται στον συγκεκριμένο κόμβο ελέγχου της σε μία συγκεκριμένη τιμή της τέμνουσας βάσης, η οποία

εκδηλώνεται κατά την διάρκεια της καταπόνησης του σεισμού. Η καμπύλης της ικανότητας διαμορφώνεται με την κατασκευή και την δομική ανάλυση ενός μαθηματικού θεωρητικού προσομοιώματος κατασκευής, χρησιμοποιώντας μία μέθοδο μη γραμμική (Pushover analysis, Γραμμική Στατική Ανάλυση) βασισμένη σε παραμέτρους, οι οποίες εκφράζονται από φάσμα απόκρισης (όπως η εδαφική επιτάχυνση και η εδαφική μετατόπιση). Πρέπει να αναφέρουμε τις σημαντικές προσεγγίσεις όπως η DCM (Μέθοδος Συντελεστού Μετατόπισης) και η CSM (Μέθοδος Φάσματος Ικανότητας). Οι μέθοδοι αυτές αποτελούν σε αρχές αντισεισμικού σχεδιασμού με τη χρήση σταθμών επιτελεστικότητας και ισχύουν ως θεσμοθετημένα κανονιστικά κείμενα (Για παράδειγμα η μεθοδολογία HAZUS-FEMA 2003 και οι διατάξεις FEMA273, 1997a, FEMA440, 2005, FEMA356, 2000). Η συγκεκριμένη μέθοδος στοχεύει στον υπολογισμό της βλάβης από σεισμική διέγερση στο κτήριο που μελετάμε, η οποία αντιπροσωπεύει την συγκεκριμένη μετατόπιση. Η μέση βλάβη η οποία υπολογίζεται λαμβάνει τη μορφή κατανομής αντίστοιχων επιπέδων βλάβης με τη χρήση.

1.1.2.1.3 Κατηγοριοποιητικές μέθοδοι

Οι κατηγοριοποιητικές μέθοδοι ορίζουν τον ορισμό της μεθόδου που χρησιμοποιείται ώστε να προσδιορίσουν τον τύπο των κτιρίων, έχουν ανάγκη την αναλυτική εξέταση των χαρακτηριστικών τους, τονίζοντας επιπλέον την τυπολογία των κατά προσέγγιση κτιρίων προς αγνόηση. Η προσέγγιση αυτή μας δείχνει την απαραίτητη λήψη των μέτρων περιορισμού που έχουν οι επιπτώσεις του σεισμού στα κτίρια τα μελετώμενα, δείχνοντας τους τομείς που έχουν προτεραιότητας ως προς διερεύνηση. Με τις μεθόδους αυτούς προσδιορίζουμε τον γενικό χαρακτήρα εκτιμήσεων βλαβών, που χρειάζεται για τον υπολογισμό του συγκεντρωτικού κόστους ανάπτυξης και υλοποίησης ενός προγράμματος αποκατάστασης των βλαβών αυτών, ενώ παρέχουν δεδομένα υπολογισμού του κόστους των μέγιστων απωλειών για τις ανάγκες ασφαλιστικής κάλυψης. Επίσης, αυτές οι μέθοδοι έχουν την ικανότητα να εξετάζουν την κατανομή που είναι αναμενόμενη των έμμεσων και άμεσων απωλειών, κάτι το οποίο τις κάνει ιδιαίτερα σοβαρές σε συγκεκριμένα σενάρια της αξιολόγησης του κινδύνου του σεισμού που προέρχεται από διαφορετικές περιοχές ανάδειξης καθώς και της επικράτειας των βλαβών των κτιρίων ή των κατασκευών.

Οι μέθοδοι αυτές έχουν την δυνατότητα να δείξουν τον γενικό χαρακτήρα εκτιμήσεων των βλαβών, που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους υλοποίησης και ανάπτυξης ενός προγράμματος αποκατάστασης των συγκεκριμένων βλαβών, παράλληλα δίνουν δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του κόστους των μέγιστων απωλειών που χρησιμοποιούνται για τις ανάγκες της ασφαλιστικής κάλυψης. Επίσης, οι κατηγοριοποιητικές μέθοδοι έχουν την δυνατότητα να εξετάζουν την κατανομή που είναι αναμενόμενη των έμμεσων και άμεσων απωλειών, κάτι το οποίο τις κάνει σημαντικές ιδιαιτέρως στα σενάρια συγκριτικής αξιολόγησης του κινδύνου του σεισμού σε διαφορετικές περιοχές της

επικράτειας και ταυτόχρονα στην ανάδειξη των κατασκευών και κτηρίων που έχουν ανάγκη την ενίσχυση.

1.1.2.1.4 Οι μέθοδοι εκτίμησης και επιθεώρησης

Οι μέθοδοι εκτίμησης και επιθεώρησης είναι οι πιο γρήγορες και απλές στην εφαρμογή τους. Έχουν πολλές ομοιότητες συγκριτικά με τις κατηγοριοποιητικές μεθόδους στην χρήση δεδομένων για την αποτίμηση συγκεκριμένων τύπων κτιρίων με την διαφορά ότι δεν συμπεριλαμβάνουν την ανάλυση της απόκρισης που αναμένεται στην κατασκευή. Σ αυτήν την μέθοδο, χρησιμοποιούν οπτική επιθεώρησή , βάσει του χρόνου που είναι διαθέσιμος καθώς και των εκτιμήσεων των προσωπικών , τονίζοντας τα χαρακτηριστικά και τα δομικά στοιχεία που θεωρούνται κρίσιμα για την απόκριση του σεισμού. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο, αν και έχουν ανεξάρτητη λειτουργία, έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν με συμπληρωματικό τρόπο στις κατηγοριοποιητικές μεθόδους, με σκοπό να καθορίσουν τις επιτρεπτές ή τις υποχρεωτικές ενέργειες καθώς και με τις παρεμβάσεις που θα είναι απαραίτητες να πραγματοποιηθούν στο συγκεκριμένο κτήριο. Οι ενέργειες αυτές είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν πριν το σεισμό σαν μέτρα αποτροπής και μείωσης της τρωτότητας είτε μετά τον σεισμό σαν επεμβάσεις που έχουν στόχο τα τρωτά στοιχεία της κατασκευής. Έτσι ανάλογα με τον χρόνο που έχουν στην διάθεση τους για την ολοκλήρωση επιλέγονται και ίσως αφορούν εργασίες αποκατάστασης των βλαβών του κτηρίου, με μείωση της χρήσης του ή ακόμη και της διάρκειας ζωής του, αφαίρεση των τρωτών δομικών τμημάτων του κ.λπ. Εκτός αυτών, η επιθεώρηση ίσως να δείξει ότι είναι απαραίτητη η ανάλυση του κτηρίου διεξοδικά, με σκοπό να προσδιοριστεί λεπτομερέστερα τα χαρακτηριστικά της απόκρισής του σεισμού, έτσι ώστε καθορίζει με ακρίβεια και σαφήνεια (συνδυαστικά με ερευνητικές βοηθητικές εργασίες) μεγαλύτερη τα μέτρα που είναι απαραίτητα για την αποκατάσταση τους.

1.1.3 Καμπύλες τρωτότητας

Με την καμπύλη τρωτότητας εκφράζουμε ουσιαστικά την βλάβη που έχει υποστεί μια κατασκευή που είναι μεγαλύτερη ή ίση από ένα επίπεδο βλάβης συγκεκριμένο σε μια συγκεκριμένη σεισμική ένταση. Σύμφωνα με τα υπάρχοντα δεδομένα προσδιορίζονται οι στάθμες βλάβης και συσχετίζονται με τον τρόπο συλλογής των δεδομένων αυτών. Συνεπώς για να προσδιορίζουμε τις καμπύλες τρωτότητας πρέπει να ακολουθήσουμε τα παρακάτω βήματα:

ΒΗΜΑ 1. Βρίσκουμε δεδομένα και ελέγχουμε την ποιότητα τους. Πιο συγκεκριμένα τα ελέγχουμε για την επάρκεια τους, αν είναι κατάλληλα και αξιόπιστα και ως το μέγεθος του δείγματος που είναι ελάχιστο και απαραίτητα για την

κατασκευή καμπυλών τρωτότητας αξιόπιστων. Μετατρέπουμε τα δεδομένα από τις απογραφές που γίνονται μετά το σεισμό σε σημεία που θα χρησιμοποιηθούν στη καμπύλη παλινδρόμησης. Ένα μέτρο σεισμική δόνησης αντιπροσωπεύεται από ένα σημείο και από έναν αντίστοιχο βαθμό βλάβης που έχουν τα συγκεκριμένα κτίρια υποστεί.

ΒΗΜΑ 2. Επιλέγουμε το μέτρο που θα μας βοηθήσει να αποδώσουμε την ένταση του σεισμού, βάση του οποίου θα δημιουργηθεί η συνάρτηση της τρωτότητας.

ΒΗΜΑ 3. Επιλέγουμε το στατιστικό μοντέλο που είναι κατάλληλο με σκοπό να υπολογιστούν οι καμπύλες που έχουν την δυνατότητα να προσαρμοστούν καλύτερα και κατάλληλα στα δεδομένα που είναι διαθέσιμα. Τις περισσότερες φορές η κατασκευή μιας καμπύλης τρωτότητας γίνεται με λογαριθμοκανονική κατανομή όπου η συγκεκριμένη εξαρτάται από τις παλαιότερες στατιστικές αναλύσεις βλαβών. Υπάρχουν πολλά λογισμικά με τα οποία μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων.

ΒΗΜΑ 4. Χρησιμοποιούμε το στατιστικό μοντέλο που επιλέγει με σκοπό να γίνουν οι καμπύλες τρωτότητας που προσαρμόζονται στα δεδομένα που υπάρχουν μετά τον σεισμό.

ΒΗΜΑΤΑ 5-7. Αναγνωρίζουμε της βέλτιστη συνάρτηση της τρωτότητας, την ελέγχουμε και την επικυρώνουμε.

Η λογαριθμοκανονική συνάρτηση της κατανομής που αναφέραμε στο βήμα το τρίτο έχει την παρακάτω μορφή:

$$P \left[DS \geq \frac{DS_i}{IM} \right] = \Phi \left(\frac{\ln(IM) - \ln(\overline{IM})}{\beta} \right) \quad (1.10)$$

Φ = η σωρευτική συνάρτηση κανονικής κατανομής,

IM (Intensity Measure)=έντασης του σεισμού που εκφράζεται ως PGA,

$\overline{IM}$ =μέση τιμή του μέτρου έντασης για την οποία η κατασκευή φτάνει στην οριακή στάθμη βλάβης,

B=συνολική λογαριθμική τυπική απόκλιση και

DS (Damage State) =η στάθμη βλάβης.

β=η συνολική διασπορά που σχετίζεται με κάθε καμπύλη τρωτότητας.

Οι καμπύλες τρωτότητας δημιουργούνται με το να χρησιμοποιούμε τη διάμεση τιμή χ της λογαριθμοκανονικής κατανομής (median value of lognormal distribution X) και την τυπική απόκλιση β των λογαρίθμων της κατανομής (standard deviation of the logs of the distribution X), με αυτό τον τρόπο γίνεται μία ταξινόμηση της βλάβης που έχει υποστεί η κάθε κατασκευή και εξαρτάται από τον τύπο της κάθε κατασκευής. Αυτοί οι παράμετροι ορίζονται για την κάθε βλάβης ως προς το μέτρο απόκρισης EDP όπου ορίζεται αυτή η βλάβη, και αντιπροσωπεύει κάθε ομάδα ίδιων κατασκευών.

Για τις καμπύλες τρωτότητας υπάρχουν πολλές αβεβαιότητες, όπως αυτές της απόκρισης, της σεισμικής διέγερσης και των σταθμών βλάβης. Με την παραδοχή της στατιστικής ανεξαρτησίας ως προς τις αβεβαιότητες, η λογαριθμική τυπική απόκλιση στο σύνολο υπολογίζεται ως εξής:

$$\beta = \sqrt{\beta_a^2 + \beta_c^2 + \beta_{ds}^2}$$

(1.11)

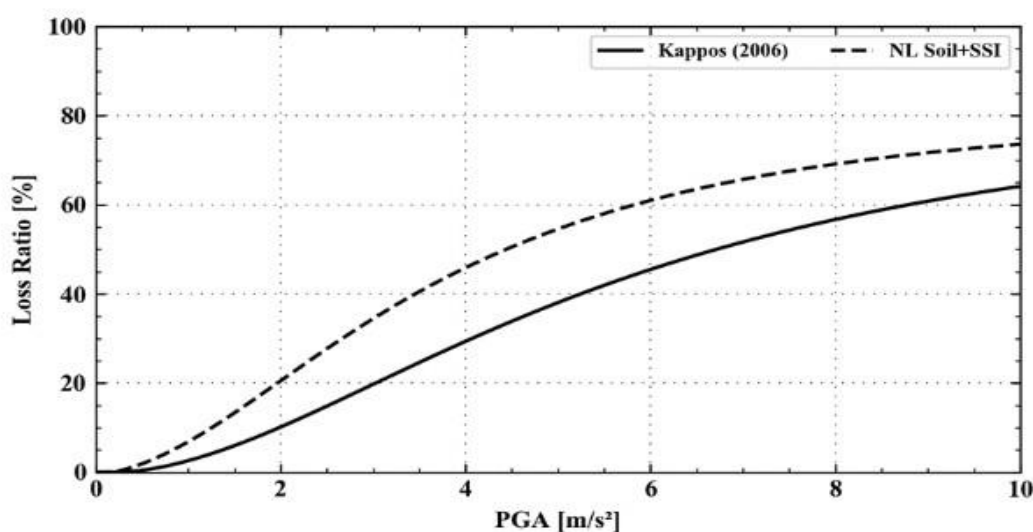
β_d =τυπική απόκλιση που προκύπτει από αβεβαιότητες στη διέγερση του σεισμού , η οποία έχει να κάνει με τα χαρακτηριστικά του προσομοιώματος

β_s =τυπική απόκλιση που προκύπτει από αβεβαιότητες στην αντίσταση της κατασκευής όπως η αντοχή και η πλαστιμότητα και στην απόκριση της κατασκευής, η οποία έχει να κάνει με την προσομοίωση της ανελαστικής συμπεριφοράς της κατασκευής

β_{ds} =τυπική απόκλιση που προκύπτει από αβεβαιότητες στον καθορισμό της

παραμέτρου και των σταθμών βλάβης. . Η αβεβαιότητα, που συνδέεται με τη σεισμική απαίτηση, προσδιορίζεται υπολογιστικά, εκτιμώντας ταυτόχρονα τη διασπορά των λογαρίθμων των ζευγών PGA- maxISD, σε σχέση με τη μέθοδο παλινδρόμησης που χρησιμοποιείται.

Η τυπική απόκλιση που εκφράζεται στον ορισμό των οριακών καταστάσεων είναι ίση με 0,40, ενώ η τιμή που αφορά την αντοχή αντίστοιχα είναι ίση με 0,30 για τα δομικά συστήματα με χαμηλό η καθόλου αντισεισμικό.



Σχήμα 1-6 Καμπύλη τρωτότητας για ένα τετραώροφο κτίριο

1.3 Κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα

Σχεδόν όλα τα κτίρια στην Ελλάδα έχουν κατασκευασθεί από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα κτίρια αυτά αποτελούν την πλειονότητα των κατασκευών που μελετήθηκαν και οικοδομήθηκαν στην Ελλάδα μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1970. Κατά την διάρκεια σεισμών που έχουν συμβεί σ αυτά τα κτίρια από την διάρκεια κατασκευής τους μέχρι σήμερα έχουν υποστεί μικρές ή λίγο μεγαλύτερες βλάβες. Μια κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα υφίσταται φυσική φθορά με το πέρασμα του χρόνου άμα δεν υπάρχει πρόνοια για την συντήρηση και την ενίσχυσή της αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται η αντοχή της κατασκευής της κατά την διάρκεια των σεισμών. Έτσι στις περισσότερες κατασκευές πρέπει να γίνει στατική ενίσχυση ώστε να είναι πιο ανθεκτικές στις σεισμικές δονήσεις. Η πλειονότητα των κατασκευών και τεχνικών έργων υποδομής σε παγκόσμιο επίπεδο πρέπει να ελέγχονται με σκοπό να γίνουν οι απαραίτητες παρεμβάσεις για να αυξηθεί η αντοχή τους. Όταν μια κατασκευή βρίσκεται εκτεθειμένη σε δυσμενές περιβάλλον δηλαδή σε ένα περιβάλλον έντονα διαβρωτικό είναι απαραίτητη η στατική ενίσχυση τους. Επίσης εκτός από το φυσικό περιβάλλον που βρίσκεται μια κατασκευή πρέπει να επεμβαίνουμε στα κτίρια όταν γίνεται αλλαγή της χρήσης των κατασκευών αυτών επειδή μπορεί να υπάρχουν άλλες απαιτήσεις σύμφωνα με τους νέους αντισεισμικούς κανονισμούς. Αυτό συμβαίνει στις κατασκευές που βρίσκονται σε περιοχές με έντονη σεισμική δραστηριότητα. Για την πιο οικονομική και

αποτελεσματική βελτίωση της στατικής επάρκειας των κατασκευών χρησιμοποιούμε υλικά και τεχνολογίες που βοηθάνε την αποκατάσταση της στατικής επάρκειας των κατασκευών, τα υλικά που χρησιμοποιούνται κυρίως για το σκοπό αυτό είναι το σκυρόδεμα και ο χάλυβας.

1.3.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τις κατασκευές από σεισμική δόνηση

Μία σεισμική δόνηση είναι αυτή που προκαλεί αστοχίες στην θεμελίωση ή η αστοχίες στα κτίρια ή στον συγκεκριμένο οργανισμό της κατασκευής. Βλάβη ορίζουμε κάθε αστοχία που δημιουργείται λόγω της καταπόνησης ενός στοιχείου μεγαλύτερα από τα όρια της αντοχής του έναντι από μια σεισμική δόνηση. Ο βασικότερος και ο αστάθμητος παράγοντας είναι η ίδια η σεισμική δόνηση επειδή είναι άγνωστα τα χαρακτηριστικά του όπως ο τρόπος που μεταδίδεται η ενέργεια του σεισμού, η ένταση, το βάθος κ.α. Εκτός από αυτόν τον παράγοντα έχουμε και άλλους παράγοντες όπως είναι η απόκλιση που έχει το φάσμα αποκρίσεως και το φάσμα σχεδιασμού, η διάταξη ή ασύμμετρη των στοιχείων ακαμψίας στην κάτοψη, η αστοχία υποστυλωμάτων. Παραδείγματος χάρη στον σεισμό το 1999 στην Πάρνηθα προέκυψαν σεισμικές βλάβες σε κτίρια με πιλοτές, σε κατασκευές που θεμελιώθηκαν σε μη κατάλληλο έδαφος ή και σε κατασκευές με προσθήκες ανεξέλεγκτες ή επεμβάσεις στον φέροντα οργανισμό. Οι βλάβες που προέκυψαν δεν έγιναν μόνο σε κατασκευές κτιρίων αλλά σε δίκτυα ύδρευσης, ηλεκτρισμού και στα δίκτυα μεταφορών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δυσκολία στην παροχή βοήθειας και στην δυσκολία προσβάσεις στις περιοχές που έχει συμβεί ο σεισμός. Έτσι από την ανάλυση αλλά και από την παρατήρηση των σεισμικών βλαβών έχουμε την δυνατότητα να εντοπίσουμε ποιοι παράγοντες επηρεάζουν το μέγεθος της βλάβης στις δομικές κατασκευές και να έχουμε την δυνατότητα να κάνουμε μελέτες βελτίωσης και να αναζητήσουμε καινούργιους τρόπους θωράκισης και αντιμετώπισης.

Οι ζημιές και οι βλάβες που προκαλούνται από μία δόνηση του σεισμού στις κατασκευές ή στα κτίρια εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους όπως είναι το μέγεθος του σεισμού το βάθος που προκλήθηκε ο σεισμός, την απόσταση της εστίας από τον τόπο παρατήρησης, το μέσο διάδοσης των κυμάτων που προκάλεσε ο σεισμός, το είδος του εδάφους που είναι κτισμένο το κτίριο ή μια κατασκευή καθώς και από τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των κατασκευών (τρωτότητα κατασκευής). Υπάρχουν αρκετά παραδείγματα που μπορούμε να δείξουμε την αλληλεπίδραση των βλαβών ή ζημιών με τις παραμέτρους. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα είναι ο σεισμός που έγινε στην Μαγνησία το 1955 με ένταση 6,2 ρίχτερ. Αυτός προκάλεσε πάρα πολλές ζημιές και βλάβες στην περιοχή του βόλου συγκεκριμένα 1 νεκρός, 41 τραυματίες, 459 κτίρια καταστράφηκαν και 6068 κτίρια είχαν σοβαρές βλάβες. Αυτό συνέβη επειδή το έδαφος που τα θεμελίων είχε μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό και είχε πολλές τεχνίτες επιχωματώσεις επίσης είχε

προηγηθεί ένα χρόνο πριν ένας άλλος σεισμός με αποτέλεσμα να εξασθενίσουν πολλές κατασκευές χωρίς να γίνει η ενίσχυση τους.

Σε έναν άλλο σεισμό το 1999 στην Πάρνηθα οι κατασκευές που υπέστησαν ζημιές ήταν:

- Κτίρια που ήταν αυθαίρετα
- Κτίρια που είχαν αστοχίες στο μπετόν και στα σίδερα αλλά ήταν κρυφές δεν φαινότουσαν
- Κτίρια είχαν πιλοτές
- Κτίρια που ήταν κατασκευασμένα σε έδαφος που δεν ήταν κατάλληλο για σεισμούς
- Κτίρια που είχαν ανεξέλεγκτες προσθήκες και παρεμβάσεις στο σκελετό τους.

Ύστερα από έναν ισχυρό σεισμό συχνά δημιουργούνται ζημιές στα κτίρια(κατοικίες, εκκλησίες, σχολεία, γήπεδα, στρατόπεδα, θέατρα κλπ.),στα οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα ,στα μνημεία καθώς και στα δίκτυα φυσικού αερίου, ύδρευσης, τηλεπικοινωνιών και ηλεκτρισμού. Σε περίπτωση που κατά την διάρκεια του σεισμού υπάρχουν συγκεντρωμένα πολλά άτομα σε δημόσιους χώρους υπάρχει η πιθανότητα να τραυματιστούν ακόμα και να σκοτωθούν. Το 1851 έγινε ένας σεισμός στην Αλβανία όπου η ένταση του ήταν 6 ρίχτερ και σκοτώθηκαν 400 στρατιώτες την ώρα που γινόταν ο σεισμός. Δυστυχώς όταν προκαλούνται βλάβες στα δίκτυα ηλεκτρισμού, ύδρευσης ,αερίου και τηλεπικοινωνιών κάνουν την κατάσταση των πληγέντων ακόμα πιο δύσκολη ώστε να μπορούν να αναζητήσουν βοήθεια από διασώστες .Οι πληγέντες παραμένουν απομονωμένοι κάτω από τα συντρίμια και έτσι οι διασώστες δεν μπορούν να επικοινωνήσουν άμεσα με τους σεισμοπλήκτους ώστε να συντονίσουν τις ομάδες τους. Επίσης οι σεισμόπληκτοι δεν έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν με συγγενείς τους έτσι ώστε να τους ηρεμήσουν και να μάθουν σε τι κατάσταση βρίσκονται εκείνοι. Για παράδειγμα στην Πάρνηθα το 1999 τέσσερις ώρες μετά το σεισμό όλα το τηλεπικοινωνιακό σύστημα είχε πέσει με αποτέλεσμα να μην λειτουργεί κανένα τηλέφωνο τόσο κινητό όσο και σταθερό. Εκτός των άλλων είναι πολύ σημαντικές οι βλάβες στο δίκτυο ηλεκτρισμού καθώς είναι δυνατόν να προκαλέσουν τραυματισμούς ακόμα και θανάτους. Με αποτέλεσμα να κάνουν πιο δύσκολες τις εργασίες των διασωστών καθώς και να δημιουργεί ένα αίσθημα ανασφάλειας στους σεισμοπλήκτους που το έχουν ούτως η άλλως. Στην Ελλάδα, έχουμε την μεγαλύτερη σεισμικότητα από όλη την Ευρώπη.

Ουσιαστικά απελευθερώνεται πενήντα της εκατό της ενέργειας που προέρχεται από όλους τους σεισμούς της Ευρώπης. Απο την αρχαιότητα ο τόπος μας έχει καταστραφεί πολλές φορές από τους σεισμούς. Είμαστε τυχεροί όμως γιατί οι

περισσότεροι σεισμοί γίνονται μέσα στην θάλασσα, μακριά από κατοικημένες περιοχές ή μεγάλα χιλιομετρικά βάθη και έτσι δεν προκαλούν συχνά καταστροφές. Ένας άλλος λόγος που προκαλεί φοβερές ζημιές στα κτίρια είναι η απόκλιση του φάσματος σχεδιασμού από το φάσμα αποκρίσεως μιας κατασκευής. Συγκεκριμένα οι αστοχία και οι αδυναμίες που υπήρξαν στην μελέτη και τον σχεδιασμό της κατασκευής που αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην μπορεί να διαχειριστεί τις δυνάμεις των σεισμικών δονήσεων.

Ένας σεισμός προσβάλλει κατασκευές που χτίστηκαν σε διαφορετικές περιόδους για παράδειγμα 1 χρόνο πριν ή δέκα χρόνια ή ακόμα και εκατό χρόνια. Άρα φαίνεται ότι ο σεισμός χτυπάει ένα μεγάλο εύρος των κατασκευών που οι περισσότερες δεν πληρούν τις προδιαγραφές του αντισεισμικού κανονισμού. Οι παλαιότερες κατασκευές που χτίστηκαν 20-30 χρόνια πριν (20 – 30 χρονών) δημιουργήθηκαν με κανονισμούς οι οποίοι απαιτούσαν τη μισή αντισεισμική αντοχή σε σχέση με τον αντισεισμικό κανονισμό που ισχύει σήμερα. Έτσι έχει την δυνατότητα κάποιος να υποθέσει τι θα ισχύει στις παλαιότερες κατασκευές στις περιόδους όπου δεν υπήρχαν νόμοι αντισεισμικοί και δεν παίρνουν υπόψιν τους την κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού Όμως και στις σημερινές κατασκευές μπορεί να προκληθούν ζημιές από τους σεισμούς για τους παρακάτω απλούς λόγους:

- Μπορεί να έχουμε καινούργια δεδομένα στον κατασκευαστικό τομέα με αποτέλεσμα ο σημερινός νόμος να είναι πλέον ξεπερασμένος.

- Οι τωρινές κατασκευές κατασκευάζονται με σκοπό ότι σε περίπτωση που προκληθεί ένας μεγάλος σεισμός να έχουν την δυνατότητα να αντιδράσουν ανελαστικά με αποτέλεσμα αν εμφανιστεί ένα ποσοστό βλάβης ελεγχόμενο να μειώσει τις πιθανότητες της ολικής κατάρρευσης του συγκεκριμένου κτιρίου (Μπάρκας,2000)

Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι η μεγαλύτερες αστοχίες στα κτίρια που έχουν με σκελετό με οπλισμένο σκυρόδεμα οφείλονται σε αστοχίες διάφορων μορφών στις άκρες των υποστυλωμάτων, και έχουν να κάνουν με τις σχετικές τιμές των φορτίων διατομής (N , Q , M) σε σχέση με τους διάφορους παράγοντες. Η μεγάλη ροπή σε αυτά τα σημεία σε συνδυασμό με την αξονική δύναμη οδηγεί στο σπάσιμο της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος όπου εκδηλώνεται συνήθως κυκλικά και στις δύο παρειές. Όσο μικρή στις περιοχές αυτές είναι η περίσφιξη τόσο πιο μεγάλη είναι η ευαισθησία τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εκδηλώνεται με την μορφή προοδευτικής θραύσης και αποδιοργάνωσης του σκυροδέματος, ουσιαστικά είναι μια ψαθυρή θραύση που επεκτείνεται περισσότερο με την περαιτέρω αύξηση της N .

Οι παράγοντες της ψαθυρής βλάβης ,θεωρούνται οι αραιοί συνδετήρες ή ανεπάρκεια συνδετήρων, η χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος, η ύπαρξη δυνατών δοκών (στις περιπτώσεις αυτές ο χάλυβας τις περισσότερες φορές δεν φτάνει στο όριο διαρροής) που οδηγούν σε αστοχία αρχικά των στύλων, και στο τέλος η ισχυρή και με πολλούς επαναλαμβανόμενους κύκλους σεισμικής διέγερσης (Μπάρκας,2000).Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την σεισμική ευστάθεια του

κτιρίου είναι το ισόγειο εκεί που υπάρχει αρκετή ασυμμετρία ,στη διάταξη των τοιχοποιιών, όπως συμβαίνει στα ισόγεια των οικοδομών που είναι γωνιακές όπου οι δύο όψεις λόγω καταστημάτων δεν περιλαμβάνουν τοιχοποιίες, συμπεριφέρονται χειρότερα σε μια σεισμική δραστηριότητα(Παπανικολάου & Μαρτζάκης,2017).Ενώ το κλιμακοστάσιο είναι το βασικότερο μέρος ενός κτιρίου καθώς του δημιουργεί ακαμψία Παρόλου που αναλαμβάνει ένα μεγάλο ποσοστό δυνάμεων και σε ορισμένες περιπτώσεις αναλαμβάνει όλες τις σεισμικές δυνάμεις δεν επηρεάζει τόσο το κτίριο κατά την διάρκεια του σεισμού. Σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει για την αξιολόγηση των ζημιών στην Θεσσαλονίκη το 1978 προκύπτει ότι ο παραπάνω παράγοντας δεν επηρέασε πάνω από το 6% των οικοδομών που είχαν ζημιές. Αυτό προκύπτει από το ότι οργανισμός της πλήρωσης αλλάζει δραστικά την κατανομή ακαμψιών στα στοιχεία του φέροντος οργανισμού. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα η θέση τους σε κάτοψη να μην επηρεάζει τη συμπεριφορά του στατικά.



Εικόνα 2 Οικοδομή με ασύμμετρη διάταξη τοιχοποιίας ([http://kallasarchitects.gr /portfolio/polikatoikia-korydallos2006/](http://kallasarchitects.gr/portfolio/polikatoikia-korydallos2006/))

Μετά το σεισμό το 1978 στην Θεσσαλονίκη αποδείχθηκε ότι το πιο αδύνατο σημείο μιας οικοδομής είναι η πιλοτή. Αυτό οφείλεται στο ότι πάνω από την στάθμη της θεμελίωσης ενός πολυώροφου κτιρίου δημιουργείται ένας όροφος μαλακός όπως ονομάζεται από τους ειδικούς σε σχέση με του υπόλοιπους. Η διαφορά έγκειται στην ακαμψία που υπάρχει μεταξύ της πιλοτής και των άλλων οροφών και οφείλεται στην τοιχοποιία που βρίσκεται στα υπερκείμενα διαμερίσματα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση αλλοίωσης της ταλάντωσης της καθ' ύψος κατανομής των δυνάμεων του σεισμού καθώς και στην συγκέντρωση μεγάλων παραμορφώσεων ανελαστικών στη στάθμη του γόνατος, δηλαδή στα άκρα των υποστυλωμάτων του ισόγειου, ενώ οι άλλοι όροφοι συμπεριφέρονται σαν σώματα στερεά (Παπανικολάου & Μαρτζάκης,2017).Οι πρώτες πολυκατοικίες με πιλοτές κατασκευάστηκαν το 1968 λόγω της χούντας που ήθελε να αυξηθεί η κατασκευή των κτιρίων κατά έναν όροφο. Πολλές πολυκατοικίες κατασκευάζονται έτσι σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες καθώς η δημιουργία πιλοτής μεγαλώνει τους κοινόχρηστους χώρους Η Ελλάδα όμως είναι μια χώρα με έντονη σεισμική δραστηριότητα και η πιλοτή δημιουργεί πολλά προβλήματα καθώς οι διατάξεις αντισεισμικού κανονισμού δεν τις περιλαμβάνει. Συγκεκριμένα, οι πιλοτές που έχουν χτιστεί έως και το 1985 δεν έχουν εξετασθεί πως αντιδρούν στον σεισμό. Το πρόβλημα εμφανίστηκε στην Κηφισιά μετά τον σεισμό του 1999 όπου

χαρακτηρίστηκαν κόκκινες 7 πολυκατοικίες και τελικά κατεδαφίστηκαν, λόγω της ύπαρξης πιλοτής σ αυτές τις πολυκατοικίες .Μία άλλη αιτία είναι τα κοντά υποστυλώματα .Τα υποστυλώματα είναι κολόνες κατακόρυφες με χαμηλό ύψος που κατασκευάζονται κυρίως σε χώρους ημιυπόγειους και πατάρια. Στην ελαστική περιοχή συμπεριφοράς χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή η περίπτωση συνεργασίας κοντών με συνηθισμένα υποστυλώματα στον ίδιο όροφο, επειδή τα πρώτα παίρνουν αρκετά μεγαλύτερη τέμνουσα δύναμη(Μπάρκας,2000).



Εικόνα 3 Εδώ φαίνεται η αστοχία κοντού υποστυλώματος (Γιαννόπουλος Ι., 2005)

Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι τα κτίρια που έχουν κάτοψη τετράγωνη έχουν την καλύτερη σεισμική συμπεριφορά ενώ πάλι τα κτίρια που έχουν κάτοψη σε ακανόνιστο σχήμα παρουσιάζουν χειρότερη συμπεριφορά στον σεισμό. Το χαρακτηριστικό κριτήριο για να πραγματοποιηθεί η σωστή επιλογή του είδους και της διάταξης σε κάτοψη αντισεισμικών στοιχείων που εκτείνονται κατακόρυφα είναι η ελαχιστοποίηση της στρέψης των πλακών, όπου αυτό προκαλείται μόνο στην περίπτωση συμμετρικών σε σχέση με τους δύο άξονες τουλάχιστον. (Μπάρκας,2000) Για τον αντισεισμικό σχεδιασμό ενός κτιρίου δεν είναι σημαντική μόνο η κάτοψη, αλλά είναι και η τομή. Στα κτίρια με εσοχές έχει παρατηρηθεί αντισεισμική συμπεριφορά χειρότερη σε σχέση με τα κτίρια που έχουν συμμετρική τομή αυτό συμβαίνει γιατί οι εσοχές προκαλούν απότομες μεταβολές στην μάζα και προκαλούν αλλοίωση στα δυναμικά χαρακτηριστικά τους. (Παπανικολάου &Μαρτζάκης,2017). Σημαντικό ρόλο στην αντοχή των κτιρίων κατά την διάρκεια του σεισμού παίζουν οι αδυναμίες των κτιρίων που έχουν κατασκευαστικά οι οποίες ίσως βρίσκονται στο μήκος των αγκυρώσεων η στη συμπύκνωση του σκυροδέματος η στο λάθος είδος και στη λάθος διαστασιολόγηση (Μπάρκας,2000).



Εικόνα 4 Εδώ φαίνεται η αστοχία εξωτερικού κόμβου με μείωση ακαμψίας του. (Γιαννόπουλος Ι., 2005)

Είναι απαραίτητο το ύψος του κτιρίου να διατηρείται η σχέση $H/L < 3/4$ (Μπάρκας, 2000). Το ύψος του κτιρίου δεν είναι καλό να θεωρείται ως ένα μέγεθος ανεξάρτητο από το ελάχιστο πλάτος L της κάτοψής του. Επίσης η θέση του κτιρίου στο τετράγωνο είναι ένας από του πιο σημαντικούς παράγοντες στη σεισμική συμπεριφορά του κτιρίου. Συγκεκριμένα οι οικοδομές που είναι γωνιακές είναι πιο αδύναμες στην σεισμική δόνηση από ότι αυτές που είναι οι ελεύθερες. Τα κτίρια αυτά κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις συγκεκριμένων διαστάσεων γεωμετρικών καθώς και της δομής του σκελετού, προκύπτουν παραμορφώσεις σημαντικές από την ταλάντωση στο επίπεδο των πατωμάτων. Αυτές οι παραμορφώσεις έχουν ως αποτέλεσμα την κατάρρευση είτε της πτέρυγας είτε του γωνιακού τμήματος είτε ολόκληρου του κτιρίου. Οι αιτίες της μεγαλύτερης τρωτότητας των γωνιακών κτιρίων είναι οι εξής:

- Η ασυμμετρία ακαμψίας στην κάτοψη λόγω μη υπάρξεως τοιχοποιιών στις δύο πλευρές του ισογείου όπου συνήθως στεγάζονται καταστήματα.

- Η μεταφορά κινητικής ενέργειας στις ακραίες οικοδομές του οικοδομικού τετραγώνου (γωνιακές) κατά την κρουστική αλληλεπίδραση των κτιρίων μεταξύ τους, η οποία προκαλεί σημαντική αύξηση των αδρανειακών δυνάμεων σε αυτές (Παπανικολάου & Μαρτζάκης, 2017).

Ακόμα ένας σημαντικός παράγοντας που προκαλεί ζημιές στα κτίρια κατά την διάρκεια του σεισμού είναι η θέση και το ύψος των πλακών που βρίσκονται στα διπλανά κτίρια μιας οικοδομής. Δυστυχώς τα κτίρια αυτά αν και είναι ανεξάρτητοι φέροντες οργανισμοί επηρεάζει το ένα το άλλο κατά την διάρκεια της σεισμικής δόνησης. Ιδιαίτερό πρόβλημα υπάρχει στα κτίρια όπου οι στάθμες των γειτονικών πλακών πέφτε η μία πάνω στην άλλη αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι πλάκες της μια οικοδομής να ενεργούν κρουστικά κατά την διάρκεια της σεισμικής ταλάντωσης τους στους στύλους της άλλης και έτσι να προκαλείται θραύση στους στύλους για αυτό τον λόγο πρέπει τα γειτονικά κτίρια να διαχωρίζεται με την χρήση αρμών αντισεισμικών με σκοπό να αποφεύγεται η επίδραση της μίας με την άλλη. Ο αντισεισμικός αρμός θα πρέπει να διαμορφώνεται έτσι ώστε να εξασφαλίζει ανεξάρτητη κίνηση στα γειτονικά κτίρια χωρίς μεταβίβαση δυνάμεων. (Παπανικολάου & Μαρτζάκης, 2017). Τέλος πολύ σημαντικό είναι η κατασκευή νέων ορόφων πάνω από κτίσματα που ήδη υπάρχουν ή για νέους χώρους που προσθέτουμε δίπλα σε παλιούς. Αυτό συμβαίνει γιατί τα καινούργια κτίσματα πιέζουν τα παλιά.. Αυτά τα προβλήματα δημιουργούνται και από αμέλεια. Υπάρχουν περιπτώσεις που έχουν γίνει εσωτερικές ανακαινίσεις κτιρίων και έχουν πέσει εσωτερικοί τοίχοι, έχουν ανοίξει νέα παράθυρα ή έχουν δημιουργηθεί νέα μπάνια. Αυτό συμβαίνει γιατί αυτές οι εργασίες πραγματοποιούνται χωρίς μελέτη, χωρίς την αίσθηση ότι μικραίνουν τη στατική ικανότητα που έχουν, ολόκληρου του κτιρίου και όχι μόνον του

διαμερίσματος. Τονίζεται ότι θέλουν μεγάλη προσοχή τα παλιά ισόγεια διαμερίσματα που μετατρέπονται σε επαγγελματικού χώρους, με άλλα μεγάλα ανοίγματα και βιτρίνες (Γεωρόγλου & Μπιζανίδου, 2013)



Εικόνα 5: Ερείπια μετά από σεισμό

1.3.2 Ελληνικοί Κανονισμοί

Στην Ελλάδα οι αντισεισμικοί κανονισμοί δημιουργήθηκαν από ένα συνδυασμό επιπέδων αντοχής και πλαστιμότητας. Η επιλογή αυτή γίνεται από τον επιβλέπων Μηχανικό.

Στην Ελλάδα μία επιστημονική ομάδα του ΟΑΣΠ, διαμόρφωσε πλαίσιο κανονισμών για να γίνεται ένας έλεγχος των κτιρίων πριν τον σεισμό ώστε να καθοριστεί η σεισμική τρωτότητα τους. Οι κανονισμοί αυτοί αποτελούνται από τρία στάδια ελέγχου:

- Στο πρώτο στάδιο γίνεται ο (ΤΟΕ-Ταχύς Οπτικός έλεγχος) η αλλιώς Πρωτοβάθμιος έλεγχος με σκοπό την γρήγορη και άμεση εκτίμηση της ικανότητας που έχουν τα δημόσια κτίρια και τα κτίρια εκείνα που απευθύνονται στο κοινό ως προς τον σεισμό.

- Στο δεύτερο στάδιο γίνεται ο Δευτεροβάθμιος έλεγχος που γίνεται μια εκτίμηση της ικανότητας του σεισμού που έχουν τα κτίρια προσεγγιστικά με πιο αναλυτικούς υπολογισμούς για τα κτίρια που βγήκαν ανεπαρκή από τον πρωτοβάθμιο έλεγχο χωρίς την χρήση καταστροφικών ελέγχων.

- Στο τρίτο στάδιο γίνεται ο Τριτοβάθμιος έλεγχος που ουσιαστικά γίνεται η εκτίμηση ικανότητας του κτιρίου ως προς τον σεισμό σε αυτά που βρέθηκαν ακατάλληλα σε έλεγχο προηγούμενο.

Ο Ταχύς Οπτικός Έλεγχος (ΤΟΕ) ή αλλιώς πρωτοβάθμιος έλεγχος δημιουργήθηκε για τα κτίρια που είναι δημόσια ή που απευθύνονται στο κοινό από το

ΥΠΕΧΩΔΕ- ΟΑΣΠ (2001), και εξαρτάται από την μέθοδο που υπάρχει αναλυτικό στο εγχειρίδιο της FEMA 154 (1988).

Στάδια καθορισμού της τρωτότητας κτιρίων σύμφωνα με FEMA	
1. Κατάταξη κτιρίου	Σε αυτό το στάδιο γίνεται μια κατάταξη στα κτίρια, σε έναν από τους 12 βασικούς τύπους κτιρίων που ορίζει η μέθοδος, ανάλογα με το υλικό κατασκευής και την ζώνη σεισμικότητας, οπότε και παίρνει την «βασική βαθμολογία». Η «βασική βαθμολογία» κυμαίνεται από 1.0 για την άοπλη τοιχοποιία και υψηλή ζώνη επικινδυνότητας έως 8.5 για ξύλινο πλαίσιο και χαμηλή ζώνη επικινδυνότητας
2. Καθορισμός αρνητικών στοιχείων των κτιρίων	Σε αυτό το στάδιο γίνεται μείωση της «βασική βαθμολογία» του κτιρίου ανάλογα με το ύψος, την μη κανονικότητα καθ' ύψος και σε κάτοψη (Εικόνα 24), την ύπαρξη μαλακού ορόφου ή κοντά υποστυλώματα καθώς και το έδαφος θεμελίωσης.
3. Καθορισμός αντισεισμικού σχεδιασμού	Σε αυτό το στάδιο προσδιορίζεται αν έχει και με βάση ποιο αντισεισμικό σχεδιασμό έχει κατασκευαστεί το κτίριο. Αν έχει σχεδιαστεί με σύγχρονο κανονισμό η «βασική βαθμολογία» αυξάνεται κατά 2 βαθμούς.
4. Τελική βαθμολογία	Σε αυτό το στάδιο γίνεται η αξιολόγηση της τρωτότητας του κτιρίου με βάση την τελική βαθμολογία. Αν η Τελική βαθμολογία είναι μικρότερη του 2 τότε το κτίριο χρίζει περαιτέρω διερεύνησης.

Σχήμα 1-7 Καθορισμό τρωτότητας σύμφωνα με FEMA

Συμφώνα με την μέθοδο που επικρατεί στην Ελλάδα , αρχικά μαζεύουμε πληροφορίες για το κτίριο σε ένα συγκεκριμένο έντυπο, που αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εκτιμήσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά για το κτίριο. Έτσι προκύπτει ότι στην πρώτη ενότητα τοποθετούνται τα στοιχεία που ισχύουν γενικά για το κτίριο όπως η διεύθυνση και η χρήση του υφιστάμενου κτιρίου. Στην συνέχεια βάζουμε τεχνικά στοιχεία του κτιρίου όπως ο αριθμός των οροφών, η επιφάνεια της κάτοψης και το έτος της κατασκευής. Επίσης τοποθετούνται γεωτεχνικά και σεισμολογικά στοιχεία της συγκεκριμένης περιοχής όπως είναι η ζώνη της σεισμικότητας και το είδος του εδάφους . Στο τέταρτο στάδιο ορίζεται κ το κτίριο στους 13 δομικούς τύπους που καθορίζει η μέθοδος (Εικόνα 2.1), και εξαρτάται από το υλικό κατασκευής (π.Χ. χάλυβας, σκυρόδεμα, τοιχοποιία), από το είδος της κατασκευής (προκατασκευασμένη, συμβατική, διαζωματική τοιχοποιία), από το είδος του δομικού συστήματος (πλαισιωτό, μεικτό), και τέλος εξαρτάται από το κανονιστικό πλαίσιο του σχεδιασμού του κτιρίου. Στο τελικό στάδιο ορίζουμε τα στοιχεία που έχει το κτίριο που είναι τρωτά για κίνδυνο του σεισμού. Έτσι λοιπόν έχουμε καταγράψει όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες, που αναλύονται πιο πάνω, ξεκινάμε την αξιολόγηση η την βαθμολόγηση της σεισμικής τρωτότητας του κτιρίου. Στην αρχή κατατάσσουμε το κτίριο βάση των 13 δομικών τύπων και λαμβάνει μια βαθμολογία, όμως η βαθμολογία μειώνεται ανάλογα τα τρωτά στοιχεία που έχει το κτίριο.

1.3.3 Βλάβες στα στοιχεία τα δομικά των κτιρίων στην περίπτωση σεισμικής δόνησης

Κατά την διάρκεια μιας σεισμικής δόνησης προκαλούνται σοβαρές ζημιές η ακόμα μπορεί να προκαλέσουν και κατάρρευση της κατασκευής εξαιτίας σοβαρών κατασκευαστικών λαθών που έχουν γίνει από την αρχή στην κατασκευή ενός κτιρίου. Οι πιο σοβαρές ζημιές ύστερα από μία σεισμική δόνηση αποτελούν οι ρωγμές στα τοιχώματα και στα υποστυλώματα που είναι διαγώνιες όπως και στις αποκολλήσεις της επίστρωσης τους, διαγώνιες ρωγμές σοβαρές στα σημεία που συνδέονται οι δοκοί με τα υποστυλώματα η και οι ρωγμές που είναι κατακόρυφες και οι διαρρήξεις σε θέσεις διάφορες σε όλο το μήκος του οπλισμού που εκτείνονται στις δοκούς.

Οι ζημιές αυτές δημιουργούνται από την ανάπτυξη εφελκυστικών και θλιπτικών παραμορφώσεων, εντάσεων καπποδιατμητικών που ασκούνται στα δομικά στοιχεία τα επιμέρους μιας κατασκευής σε όλη την διάρκεια μιας σεισμικής δόνησης. Οι ζημιές που προκαλούνται κυρίως στις πλάκες όπως οι ρωγμές λόγω περιμετρικής διάτρησης του υποστυλώματος και οι ρωγμές διαμήκους εξαιτίας εντάσεων καμπτικών. Οι αιτίες που δημιουργούν βλάβες στον οργανισμό ενός κτιρίου ύστερα από μία σεισμική δόνηση έχουν να κάνουν με το μήκος, την μορφή, την συγκέντρωση της αυξημένης μάζας, τα υποστυλώματα, όπως επίσης και τις τροποποιήσεις που έχουν γίνει αργότερα από την αρχική κατασκευή τους.

Βλάβες στα μη δομικά και στα δομικά στοιχεία των κατασκευών με μη συμμετρικό και πολύπλοκο σχήμα γεωμετρικό σε μορφή H, T, L, U, S, W, A+. Τα τμήματα τα επιμέρους αυτών των κατασκευών αποτελούνται από κατακόρυφα ή οριζόντια διαφορετικά φορτία που προκύπτουν από τον σεισμό και ταυτόχρονα είναι επιρρεπή ιδιαίτερα σε παραμορφώσεις και σε δυνάμεις στρεπτικές με σκοπό να προκαλούν βλάβες στα σημεία που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους.

Βλάβες σε μεγάλο μήκος κτίρια που έχουν προκληθεί από οριζόντια περιστροφή και στρέψη λόγω της επίδρασης της διαφορετικής που προέρχεται από τα κύματα των σεισμών στα επιμέρους τμήματα τους. Ο σχεδιασμός ο σωστός μιας μεγάλης κατασκευής έχει την δυνατότητα να αποτρέψει να πραγματοποιηθεί μια βλάβη αλλά ταυτόχρονα και να δημιουργήσει την καλύτερη απόκριση του σεισμού σε σχέση μια πιο μικρό σε μήκος κτίριο.

Βλάβες που προκαλούνται εξαιτίας της συγκέντρωσης μάζας όπως βαριών μηχανημάτων ή δεξαμενών αποθήκευσης νερού τοπικά σε κάποιο σημείο ή σε έναν όροφο και συγκεκριμένα στα πιο ψηλά επίπεδα ή στην οροφή κάποιου κτιρίου. Η συγκέντρωση της μάζας στους πιο ψηλούς ορόφους κάποιου κτιρίου έχει την δυνατότητα να προκαλέσει βλάβες σοβαρές στις κατασκευές, αφού η επιτάχυνση του σεισμού αυξάνει αναλογικά με το ύψος, με αποτέλεσμα την αύξηση των ασκούμενων δυνάμεων του σεισμού.

Βλάβες που συμβαίνουν σε υποστυλώματα ασθενή με αποτέλεσμα την πλήρη ή την μερική κατάρρευση ενός κτιρίου. Εντοπίζονται ζημιές κυρίως στα σημεία που συνδέονται τα υποστυλώματα και οι δοκοί ή όταν σε ένα κτίριο υπάρχουν τα υποστυλώματα τα κοντά τα οποία σε μία σεισμική δόνηση τα φορτία που δέχονται είναι πολύ μεγαλύτερα από αυτά που είναι υπολογισμένα.

Βλάβες που προκύπτουν από αλλαγές και ανακατασκευές στα φέροντα και στα μη φέροντα χαρακτηριστικά μιας κατασκευής οι οποίες γίνονται χωρίς μελέτη προηγούμενη σε χρόνο μετά την αρχική του κατασκευή. Η ύπαρξης της πιλοτής, η αφαίρεση της τοιχοποιίας, οι ενιαίοι μεγάλοι χώροι σε ορόφους χαμηλούς μπορούν να πραγματοποιήσουν προβλήματα μεγάλα στην συμπεριφορά του κτιρίου απέναντι στον σεισμό. Επιπλέον στα επίπεδα τα χαμηλά ασκούνται πιο μεγάλες πιέσεις που προκύπτουν από τον σεισμό ,σε περίπτωση λοιπόν που προκληθούν βλάβες

κινδυνεύουν και τα επίπεδα που βρίσκονται πιο ψηλά καθώς στηρίζονται στην βάση του κτιρίου.

Οι κατασκευές που γίνονται μεταγενέστερα σε κάποια κατασκευή μπορεί να δημιουργήσεις ορόφους σε επίπεδα ενδιάμεσα που έχουν συμπεριφορά πιο εύκαμπτη οι λεγόμενοι μαλακοί όροφοι ή στο ισόγειο πιλοτές. Αυτές οι ασυνέχειες που προκλήθηκαν είναι επιρρεπείς ιδιαίτερα στις δυνάμεις τις σεισμικές οι οποίες στους ορόφους τους εξασθενημένους συσσωρεύονται ή στις πιλοτές με αποτέλεσμα να δημιουργούνται βλάβες σημαντικές στις κατασκευές η και κατάρρευση ακόμη.

Έτσι προφανώς καθίσταται ότι οι κατασκευές θα είναι απαραίτητο να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται με επίβλεψη αυστηρή βάσει των κανονισμών των αντισεισμικών με σκοπό να εξασφαλίσουν τον μετριασμό των βλαβών, την ασφάλεια της ζωής της ανθρώπινης καθώς και βοήθεια στον να μην κατάρρευση μετά από μια σεισμική δόνηση. Οι κανονισμοί για τους σεισμούς είναι απαραίτητο να διασφαλίσουν την συνέχιση των κύριων λειτουργιών σε μεγάλης σπουδαιότητας κατασκευές όπως τα σχολεία, τα νοσοκομεία, τα διοικητικά κτήρια κ.λπ.. μετά από μία σεισμική δόνηση.

1.3.4 Βλάβες στα στοιχεία τα μη δομικά των κτιρίων στην περίπτωση σεισμικής δόνησης

Μία σεισμική δόνηση ίσως δεν προκαλέσει βλάβες στον οργανισμό ενός κτιρίου ή να τον οδηγήσει σε ολική κατάρρευση, μπορεί όμως να προκαλέσει ζημιές σε εξοπλισμό, αρχιτεκτονικές κατασκευές και εγκαταστάσεις ηλεκτρομηχανολογικές ουσιαστικά στα μη δομικά στοιχεία μιας κατασκευής. Τα μη δομικά στοιχεία μιας κατασκευής χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

Εξοπλισμός: ντουλάπες, βιβλιοθήκες, ράφια, έπιπλα, ηλεκτρονικοί υπολογιστές κ.λπ.

Στοιχεία αρχιτεκτονικά: χωρίσματα εσωτερικά, ψευδοροφές, παράθυρα, πόρτες, στηθαία, κιγκλιδώματα, καμινάδες.

Εγκαταστάσεις ηλεκτρομηχανολογικές όπως δίκτυα αποχέτευσης, ύδρευσης, ανελκυστήρες, γεννήτρια για το ρεύμα, σωληνώσεις θέρμανσης- ψύξης κ.λπ..

Εδώ θα αναλύσουμε τις ζημιές που προκαλούνται στα βασικότερα μη δομικά στοιχεία μιας κατασκευής ύστερα από μία σεισμική δόνηση.

Οι επενδύσεις που υπάρχουν στις όψεις κάποιας κατασκευής που είναι αγκυρωμένες ή κολλητές έχουν την δυνατότητα να αποκολληθούν λόγω της αστοχίας των χαρακτηριστικών της αγκύρωσης ή εξαιτίας της διάβρωσης που προκαλείται στον αρμό της σύνδεσης εξαιτίας των καιρικών συνθηκών που επικρατούν και να

καταρρεύσουν με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν τραυματισμοί στους περαστικούς και σύγχρονος στα σταθμευμένα ή στα διερχόμενα αυτοκίνητα.

Οι εσωτερικοί και οι εξωτερικοί τοίχοι πλήρωσης που διαχωρίζουν του χώρους τους εσωτερικούς ή διαμορφώνουν το περίβλημα το εξωτερικό μιας κατασκευής, είτε συμπληρώνοντας κενά μεταξύ των στοιχείων των δομικών λόγω της ικανότητας της μικρής που έχουν ώστε να παραλαμβάνουν ωθήσεις οριζόντιες και παραμορφώσεις που ίσως προκαλέσουν μετατοπίσεις οριζόντιες ή ρωγμές.

Τα πλαίσια τα μεταλλικά των υαλοστασίων σε μία σεισμική δόνηση παραμορφώνονται και έπειτα οι υαλοπίνακες διαρρηγνύονται και καταστρέφονται. Η πτώση και η θραύση των υαλοστασίων ίσως δημιουργήσει πολλούς τραυματισμούς στα άτομα που είναι μέσα στο κτίριο και σε όσους διέρχονται έξω από το κτίριο.

Τα διαζώματα , οι καμινάδες και τα στηθαία είναι επικίνδυνα ιδιαίτερα εξωτερικά τμήματα μη δομικά μιας κατασκευής που κατά την σεισμική δόνηση βάλλονται από πολλές διευθύνσεις σεισμικών δυνάμεων λόγω του ότι δημιουργούνται ροπές ανατροπής, όπως και δυνάμεις ταλαντώσεις στο άκρο το ελεύθερο του προβόλου. Επιπλέον στις καμινάδες οι ζημιές που προκαλούνται έχουν να κάνουν με το αν στηρίζονται στο έδαφος ή στο κτίριο. Σε περίπτωση που η καμινάδα στηρίζεται πάνω στην κατασκευή το σημείο το τρωτό είναι το τμήμα το ελεύθερο της καμινάδας πάνω στην κατασκευή, ενώ σε περίπτωση που η καμινάδα στηρίζεται στο έδαφος πάνω τότε το τρωτό σημείο της βλάβης έχει να κάνει με τα στοιχεία της σεισμικής δόνησης και την ποιότητα που χαρακτηρίζεται η θεμελίωση του εδάφους. Η ανατροπή των στοιχείων αυτών των μη δομικών ίσως οδηγήσει σε τραυματισμό των περαστικών ή στην καταστροφή οχημάτων που είναι σταθμευμένα.

Πολύ επιρρεπείς στους σεισμούς είναι οι ψευδοροφές και οι ζημιές δημιουργούνται λόγω της παραμόρφωσης του σκελετού εξαιτίας στήριξης ακατάλληλης ή εξαιτίας της πτώσης των πλακών των επιμέρους λόγω της ταλάντωσης του σεισμού. Η κατάρρευση ψευδοροφών ολόκληρων ή κάποιων τμημάτων τους ίσως δημιουργήσουν τραυματισμούς ή βλάβες σοβαρές στον εξοπλισμό που διέρχονται από αυτές όπως σωληνώσεις, φωτιστικά κ.λπ.. Αυτά τα φωτιστικά που είναι ενσωματωμένα στις ψευδοροφές που όμως δεν έχουν στήριξη ανεξάρτητη στον οργανισμό αυτόν ή δεν είναι αναρτημένα επαρκώς στην οροφή ίσως δημιουργήσουν πανικό εξαιτίας της διακοπής του ρεύματος ή προκαλέσουν αρκετούς τραυματισμούς.

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές που δεν είναι καλά στηριγμένοι στα γραφεία ίσως μετά από μια σεισμική δόνηση να ανατραπούν με αποτέλεσμα την απώλεια σοβαρών ηλεκτρονικών αρχείων και συνεπώς την διακοπή της υπηρεσίας ή της επιχείρησης.

Τα έπιπλα όπως τα ράφια ,τα ντουλάπια ,οι βιβλιοθήκες κ.λπ. που δεν στηρίζονται στην τοιχοποιία πλήρωσης ίσως ανατραπούν και δημιουργήσουν εγκλωβισμό και τραυματισμούς των εργαζομένων στους χώρους που εργάζονται. Τα

ράφια που πέφτουν με υλικά επικίνδυνα αυξάνουν την επικινδυνότητα για πυρκαγιά και προκαλεί διαρροή σε αέρια επικίνδυνα για την υγεία του ανθρώπου.

Επίσης υπάρχει και ο κίνδυνος για την λειτουργία μιας κατασκευής και την ζωή του ανθρώπου που ίσως δημιουργηθούν ζημιές στους ανελκυστήρες και στις εγκαταστάσεις τις ηλεκτρομηχανολογικές κατά την διάρκεια ενός ισχυρού σεισμού.

Ότι έχει να κάνει με τους ανελκυστήρες, οι βλάβες οι μεγαλύτερες προκύπτουν όχι τόσο στους υδραυλικούς ανελκυστήρες αλλά στους μηχανικούς. Οι υδραυλικοί ανελκυστήρες είναι πιο λίγο τρωτοί σε μία σεισμική δόνηση, όπου ακόμα και όταν δημιουργείται διακοπή ηλεκτρικού ρεύματος, ο θάλαμος έχει την δυνατότητα να πάει στον αμέσως υποκείμενο όροφο. Οι ανελκυστήρες οι μηχανικοί είναι πιο επιρρεπείς στις δονήσεις τις σεισμικές με βλάβες που γίνονται κυρίως στα καλώδια τα ηλεκτρικά

1.3.5 Τυπικοί βαθμοί βλάβης σε οργανισμούς από οπλισμένο σκυρόδεμα

Υστέρα μία μεγάλη σεισμική δόνηση, οι βλάβες που έχουν δημιουργηθεί στα τοιχώματα, στα υποστυλώματα και στους κόμβους μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι από τις συχνότερες αλλά και ταυτόχρονα από τις σοβαρότερες σεισμικές βλάβες. Η σοβαρότητα των βλαβών στα στοιχεία τα παραπάνω χρειάζεται αξιολόγηση καθώς αποτελεί σαν προτεραιότητα πρώτη η εκτίμηση της ασφάλειας της κατασκευής αφού τέτοιες βλάβες έχουν την δυνατότητα να προκαλέσουν κατάρρευση τμηματική ή ολική του δομήματος. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει ο Μηχανικός να εκτιμήσει κατευθείαν το επίπεδο βλάβης μετά από την σεισμική δόνηση και έχει πολύ λίγο χρόνο για να αποφασίσει τα μέτρα απομάκρυνσης των κατοίκων και της υποστύλωσης. Από το παρελθόν γνωρίζουμε πόσο σημαντικό είναι το διάστημα το χρονικό κατευθείαν μετά της κύριας σεισμικής δόνησης ακολουθείται μία ισχυρή μετασεισμική δόνηση που ίσως είναι και πιο καταστρεπτική από την κύρια σεισμική δόνηση.

Για κτήρια που έχουν προκύψει σεισμικές βλάβες από μία ισχυρή σεισμική δόνηση, η εικόνα που έχουν οι βλάβες αποτελούν ένα στοιχείο αδιάψευστο μιας ικανότητας του σεισμού που επηρεάζει σημαντικά την απόφαση για το πώς θα ανακατασκευαστούν τα κτίρια. Και η άποψη που ισχύει είναι οι εξής:

1. Σε κατασκευές με τοπικές και μικρές βλάβες, η επέμβαση στις σεισμικές βλάβες γίνεται μόνο με την επισκευή.
2. Οι κατασκευές με βλάβες βαριές ή εκτεταμένες, με άλλα λόγια γενικού χαρακτήρα βλάβες, στην επέμβαση γίνεται και ενίσχυση της κατασκευής.

Βαθμός βλάβης τύπου Α

Έχει να κάνει με οριζόντιες μεμονωμένες ρωγμές με λιγότερο πλάτος από 1-2 mm, προϋποθέτοντας ότι ένας υπολογισμός απλός έχει δείξει ότι οι ρωγμές αυτές δεν έχουν να κάνουν με την μη επάρκεια της διατομής σε κάμψη αλλά ίσως σε αδυναμίες τοπικές όπως ανεπάρκεια στην αγκύρωση οπλισμών, επίδραση στην τοιχοπλήρωση κ.τ.λ.

Βαθμός βλάβης τύπου Β

Αφορά μεμονωμένες διατμητικές ρωγμές λοξές ή καμπτικές ρωγμές με πλάτος όχι μεγαλύτερο από 0,5 mm, σύμφωνα με τον όρο ότι δεν εμφανίζονται μετακινήσεις εναπομένουσες.

Βαθμός βλάβης τύπου C

Αφορά μεγάλη σύνθλιψη τοπική ή διατμητικές ρωγμές χιαστί που εμφανίζονται λοξά και έχει δημιουργηθεί αποδιοργάνωση στο σκυρόδεμα όμως δεν πρέπει να παρατηρούνται μετακινήσεις εναπομένουσες μεγάλες. Επιπλέον οι ρηγματώσεις στους κόμβους είναι βλάβη τύπου C.

Βαθμός βλάβης τύπου D

Αφορά την αποδιοργάνωση σε πλήρη μορφή του σκυροδέματος στην περιοχή που έχει προκληθεί η σεισμική βλάβη, έχει δημιουργηθεί λυγισμός στις ράβδους που είναι διαμήκης, θραύση ή διαρροή στους συνδετήρες της περιοχής, ασυνέχεια στην περιοχή χωρίς να έχει δημιουργηθεί κατάρρευση στο υποστύλωμα. Βασική προϋπόθεση είναι ότι οι μετακινήσεις οι εναπομένουσες που έχουν παρατηρηθεί οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες και ιδιαίτερα οι κατακόρυφες είναι μικρές σχετικά. Βλάβη τύπου D θεωρείται και η σημαντική αποδιοργάνωση στους κόμβους.

Βαθμός βλάβης τύπου E

Έχει να κάνει με την ολική κατάρρευση του υποστυλώματος η όταν υπάρχουν μεγάλες μετακινήσεις κατακόρυφες.

Αναλύοντας αυτούς τους παράγοντες και συνδυάζοντάς τους σε μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση, οι ειδικοί μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα τον σεισμικό κίνδυνο σε μια περιοχή και να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα για τον μετριασμό των κινδύνων και την ενίσχυση της ετοιμότητας για πιθανούς σεισμούς. Αναφέρεται στην πιθανότητα ότι ένας σεισμός συγκεκριμένου μεγέθους ή μεγαλύτερου θα συμβεί σε μια συγκεκριμένη περιοχή μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο. Οι εκτιμήσεις σεισμικής επικινδυνότητας βοηθούν τους επιστήμονες και τους μηχανικούς να εκτιμήσουν τους πιθανούς κινδύνους που ενέχουν οι σεισμοί σε κτίρια, υποδομές και κοινότητες. Κατανοώντας τους σεισμικούς κινδύνους, οι ειδικοί μπορούν να αναπτύξουν στρατηγικές για τον μετριασμό του κινδύνου, όπως η εφαρμογή οικοδομικών κωδίκων, η μετασκευή κατασκευών και η δημιουργία σχεδίων αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Αυτοί οι χάρτες είναι απαραίτητα εργαλεία για τον πολεοδομικό σχεδιασμό, την εκτίμηση κινδύνου και την ετοιμότητα για καταστροφές.

Η Ελλάδα βρίσκεται σε μια σεισμικά ενεργή περιοχή γνωστή ως Ελληνικό Τόξο, η οποία εκτείνεται από τη δυτική Τουρκία έως τη νότια Ιταλία. Η χώρα παρουσιάζει συχνή σεισμική δραστηριότητα λόγω της αλληλεπίδρασης της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής Πλάκας, μια ζώνη καταβύθισης όπου η Αφρικανική Πλάκα καταβυθίζεται κάτω από την Ευρασιατική Πλάκα που εκτείνεται κατά μήκος της δυτικής ακτής της Ελλάδας. Η Ελλάδα έχει μακρά ιστορία καταστροφικών σεισμών, με σημαντικά γεγονότα να έχουν συμβεί στο παρελθόν, όπως ο σεισμός του Ιονίου του 1953 και ο σεισμός της Αθήνας το 1999. Αυτοί οι σεισμοί προκάλεσαν εκτεταμένες καταστροφές και απώλειες ζωών. Η σεισμική επικινδυνότητα στην Ελλάδα θεωρείται υψηλή, με την πιθανότητα να συμβούν μεγάλοι σεισμοί κατά μήκος διαφόρων συστημάτων ρηγμάτων σε όλη τη χώρα. Το Ελληνικό Τόξο είναι γνωστό ότι προκαλεί σεισμούς μεγέθους 7,0 και άνω, οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στα κτίρια, τις υποδομές και το περιβάλλον. Προκειμένου να μετριάσει τις επιπτώσεις των σεισμικών κινδύνων, η Ελλάδα έχει εφαρμόσει οικοδομικούς κώδικες και κανονισμούς για να διασφαλίσει ότι οι κατασκευές έχουν σχεδιαστεί για να αντέχουν σε σεισμούς. Επιπλέον, η χώρα έχει δημιουργήσει συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης και σχέδια αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης για να βοηθήσει στην προετοιμασία και την απόκριση σε μελλοντικά σεισμικά συμβάντα.

Είναι γεγονός ότι η σεισμικότητα είναι διαφορετική από περιοχή σε περιοχή επίσης στον χρόνο μέσα υπάρχουν χρονικές περίοδοι με σεισμικότητα έντονη σε περιοχές συγκεκριμένες και σε περιόδους με σεισμικότητα που είναι σε ύφεση. Οι αβεβαιότητες που έχουν να κάνουν με την εκτίμηση της σεισμικότητας αποτελούν παραμέτρους του χρόνου πολύ μεγάλες και του χώρου που εκδηλώνεται και ταυτόχρονα με την ένταση. Για να γίνει η εκτίμηση της τρωτότητας δεν φτάνει μόνο η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση σε συγκεκριμένη περιοχή. Για κάποιους τύπους πιο σημαντική παράμετρος είναι η φασματική επιτάχυνση S_a που εξαρτάται από την T περίοδο. Σε σχέση με τις αντιστοιχίες που υπάρχουν στα κατάλληλα μέτρα έντασης μιας σεισμικής δραστηριότητας με αυτούς τους τύπους κτιρίων που υπάρχουν στην Ελλάδα μας αποδεικνύει ότι είναι ο υπολογισμός των φασματικών τιμών S_a (0,3 s), S_a (0,6)s, S_a (1s), φασματικές επιταχύνσεις που έχουν μεγάλες, μικρές και μεσαίες περιόδους της κίνησης.

1.4.1 Επικινδυνότητα του σεισμού σύμφωνα με τις διατάξεις του EC 8

Σε σχέση με των Ευρωκώδικα 8, τα εδάφη διακρίνονται σε ομάδες A,B,C,D,E που εξαρτώνται από τις παρακάτω παραμέτρους:

Vs,30: Η ταχύτητα η μέση των κυμάτων των διατμητικών στα 30 μ τα πρώτα.

$$Vs, 30 = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}}$$

Η Vs,30 ισούται με:

Το Nspt ισούται με τους χτύπους της δοκιμής της διεύθυνσης της πρότυπης ανά 30cm, του σχηματισμού του εδαφικού.

Το Su ισούται με την διατμητική αντοχή την αστράγγιστη

Ground type	Description of stratigraphic profile	Parameters		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT}	S_u (kPa)
A	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface.	>800	-	-
B	Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of meters in thickness, characterized by a gradual increase of mechanical properties with depth.	360-800	>50	>250
C	Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of meters.	180-360	15-50	70-250
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil.	<180	<15	<70
E	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with Vs values of type C or D and thickness varying between about 5 m and 20 m, underlain by stiffer material with Vs>800 m/s.			
S1	Deposits consisting, or containing a layer at least 10 m thick, of soft clays/silts with a high plasticity index (PI>40) and high water content.	<100 (indicative)	-	10-20
S2	Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A – E or S1.			

Πίνακας 1:Κατηγορίες των εδαφών σε σχέση με τον Ευρωκώδικα 8

Το φάσμα το οριζόντιο το ελαστικό της απόκρισης σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα προκύπτει από τις σχέσεις:

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

Όπου a_g : είναι η επιτάχυνση του εδάφους του σχεδιασμού και ισούται με $\gamma_1 \cdot a_{gR}$

T: η περίοδος μιας ταλάντωσης ενός συστήματος γραμμικού μιας κίνησης ελευθερίας

S: ο συντελεστής του εδάφους

TB,TC, TD : ιδιοπερίοδοι χαρακτηριστικές

Eurocode 8					
Κατηγορία εδάφους	$V_{s,30}$	S	TB (s)	TC (s)	TD (s)
A	>800	1	0.15	0.4	2.5
B	360-800	1.2	0.15	0.5	2.5
C	180-360	1.15	0.2	0.6	2.5
D	<180	1.35	0.2	0.8	2.5
E		1.4	0.15	0.5	2.5

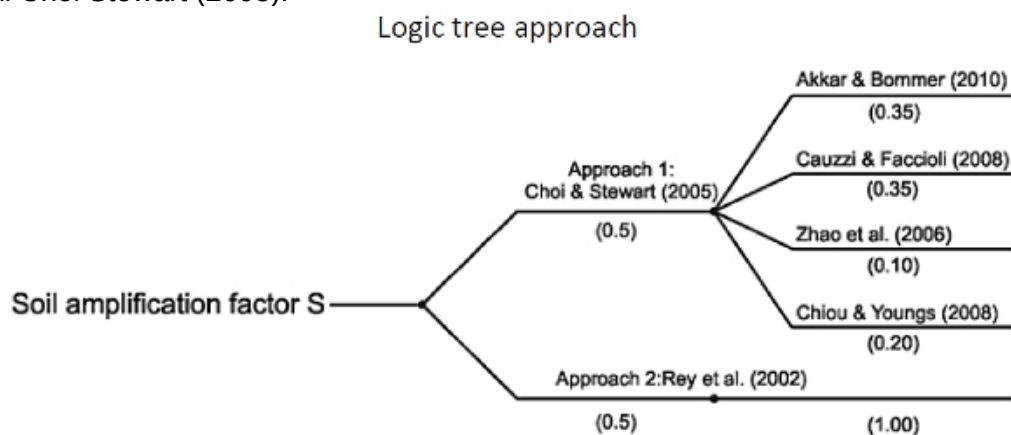
Πίνακας 2: Τιμές χαρακτηριστικές V_s 30, συντελεστής ενίσχυσης της εδαφικής επιτάχυνσης της μέγιστης και περίοδοι χαρακτηριστικές σε εδαφικές κατηγορίες σε σχέση με το EC8

Site class/ S_a	B	C	D	E
S_a (0,3 s)	1,2	1,15	1,35	1,4
S_a (0,6 s)	1,5	1,725	2,025	1,75
S_a (1 s)	1,5	1,725	2,7	1,75

Πίνακας 3: Συντελεστές που ενισχύονται οι τιμές οι φασματικές σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8.

1.4.2 Επικινδυνότητα του σεισμού σε σχέση με τους Pitilakis (2012)

Η επικινδυνότητα Pitilakis είναι μια πρόταση βελτιωμένη του Ευρωκώδικα 8 που έχει να κάνει με τους συντελεστές ενίσχυσης του εδάφους. Συγκεκριμένα έχει να κάνει με την βελτίωση του συντελεστή της εδαφικής ενίσχυσης των εδαφών που είναι στην B κατηγορία, αλλά και την βελτίωση του συντελεστή της ενίσχυσης των εδαφών που βρίσκονται στην κατηγορία C όπως φαίνονται στον από κάτω πίνακα. Η πρόταση συσχετίζεται με το Logic tree approach βασισμένο στις προσεγγίσεις Ray et al.(2002) και Choi Stewart (2005).



Pitilakis et al. (2012)

Σχήμα 1-9: Δέντρο κατά Ray et al. (2002) και Choi Stewart (2005)

Για να ορισθεί το ελαστικό φάσμα απόκρισης το οριζόντιο κατά Pitilakis et al.(2012) χρησιμοποιούνται οι σχέσεις του Ευρωκώδικα 8.

Κατηγορία εδάφους	Pitilakis et al. (2012)	EC8
	Τύπος 1, ($M_s > 5.5$)	Τύπος 1, ($M_s > 5.5$)
A	1	1
B	1,3	1,2
C	1,7	1,15
D	1,35	1,35
E	1,4	1,4
Κατηγορία εδάφους	Pitilakis et al. (2012)	EC8
	Τύπος 2, ($M_s < 5.5$)	Τύπος 2, ($M_s < 5.5$)
A	1	1
B	1,4	1,35
C	2,1	1,5
D	1,8	1,8
E	1,6	1,6

Πίνακας 4: Συντελεστές εδαφικής ενίσχυσης ανά κατηγορία εδάφους σύμφωνα με τον EC8 και με το Pitilakis ET AL. (2012)

2.ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ

2.1 Μέθοδοι και εκτίμηση σεισμικών απωλειών

Σύμφωνα με διεθνής έρευνες μεγάλο μέρος των εργασιών έχει σκοπό την ανάλυση της τρωτότητας με στόχο την σωστή εκτίμηση απωλειών καθώς και των βλαβών που προκύπτουν από τους σεισμούς έτσι ώστε να απομονωθούν και να αναλυθούν ένα σωρό παράγοντες, οι οποίοι είναι η αιτία εκδήλωσης κτιριακής τρωτότητας και δημιουργίας βλαβών με σκοπό την καταγραφή έμψυχων και κτιριακών απωλειών.

Ανάλογα με το μέγεθος που έχει η συγκεκριμένη περιοχή που πραγματοποιούνται οι αναλύσεις και ανάλογα με το αντικείμενο με το οποίο διαθέτουν, η τρωτότητα χωρίζεται σε κτηριακή και σε χωρική. Την απώλεια ορισμένων κατασκευών που προκύπτει από μιας συγκεκριμένης περιοχής εξετάζονται από τις χωρικές μεθόδους ,ενώ οι κτιριακές μέθοδοι δίνουν έναν πιο ακριβή προσδιορισμό των εκτιμώμενων απωλειών εντός ενός συγκεκριμένου κτηρίου που βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Ανεξάρτητα ποια μέθοδος τρωτότητας ακολουθείται ,κατόπιν της διαπίστωσης της επικινδυνότητας του σεισμού του συγκεκριμένου κτιρίου ή της συγκεκριμένης περιοχής που μελετάμε, γίνεται η ανάλυση τρωτότητας βάση των καμπυλών τρωτότητας ή των μητρώων πιθανοτήτων βλάβης. Οι δύο αυτές προσεγγίσεις αν και διαφορετικές μπορεί να ταυτιστούν αν απλοποιήσουμε την αναλυτική διαδικασία.

2.1.1Εργασίες εκτίμησης κτιριακών απωλειών

Αυτές οι εργασίες ασχολούνται με συγκεκριμένους χώρους κτηρίων ή χώρους συγκεκριμένων τύπων κτιρίων. Με αυτή την ειδίκευση ευνοείται η λεπτομερής ανάδειξη των τρωτών στοιχείων του συγκεκριμένου αντικείμενου που μελετάμε και ταυτόχρονα ευνοεί την ανάλυση τους στην απόδοση απωλειών στο σεισμό. Η μέθοδος αυτή καθιστά τα αποτελέσματα της επεκτάσιμα ακόμη και αν τα κτίρια που εξετάζουμε εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά.

Σύμφωνα με τις διεθνής έρευνες, οι κτηριακές εργασίες αποτελούνται από την ανάλυση των πολυωρόφων κτιρίων που έχουν μεγάλο ύψος με στόχο την αξιολόγηση ,τον συσχετισμό καθώς και την διατύπωση του μελετώμενου κτιρίου με την επιτάχυνση του εδάφους. Ένα παράδειγμα είναι η εργασία του Scholl, όπου η έρευνα του λειτούργησε σαν αφετηρία από βάσεις δεδομένων σύμφωνα με στοιχεία από παλαιότερα γεγονότα, τα οποία περιείχαν τιμές από διάφορες παραμέτρους επιτάχυνσης του εδάφους και τα οποία συνδυαζόντουσαν με σχέσεις της κίνησης σχετικά με τις βλάβες για τις κατασκευές διαφορετικών τύπων και υψών.

Στην συνέχεια έγινε η προσαρμογή καθώς και η εκτίμηση αυτών των σχέσεων σε κτίρια πολύ ψηλά, σύμφωνα με μια διαδικασία αναλυτική που υπολογίζεται η μέγιστη κτιριακή απόκριση σε συνθήκες σεισμική διέγερσης. Έπειτα καταγράφεται το κόστος αντικατάστασης σε ποσοστιαία μορφή στοιχείων μη δομικών και δομικών βλαβών, σύγχρονος ακολουθεί και οικονομική εκτίμηση των βλαβών της κίνησης. Στο τέλος πραγματοποιείται η εκτίμηση όλων των απωλειών ενός κτιρίου σαν άθροισμα των απωλειών που βρίσκονται επιμέρους.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι η ερευνητική εργασία του Gunturi που προσπάθησε να προσδιορίσει επακριβώς την οικονομική απώλεια ενός κτιρίου που έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τα οποία έχουν υποστεί σεισμική φόρτιση ως αποτέλεσμα σεισμού. Στα πρώτα στάδια γίνεται η ανάλυση και η καταγραφή μη δομικών και δομικών στοιχείων όπως ο εξοπλισμός ενός κτιρίου για την κατάρτιση της βλάβης ανά κτιριακή στάθμη.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία σε διεθνές επίπεδο για να γίνει ο προσδιορισμός των δεικτών της βλάβης των μη δομικών στοιχείων λαμβάνεται ως δείκτης βλάβης τόσο η μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους όσο και η σχετική μετατόπιση των ορόφων ενώ για τον ορισμό των δεικτών των δομικών μελών μιας κατασκευής, πραγματοποιείται γραμμική ανάλυση ιστορίας φορέως. Έπειτα γίνεται μια οικονομική εκτίμηση των απωλειών του κτιρίου, χρησιμοποιώντας την σχέση που σχετίζεται με την απώλεια της κτιριακής λειτουργίας που γίνεται ως άθροισμα των ποσοστών της απώλειας της λειτουργίας ανά στάθμη του κτιρίου.

Ένα σοβαρό μειονέκτημα των ερευνητικών εργασιών που αφορά τα κτίρια είναι η αβεβαιότητα, η οποία διέπει την επιτάχυνση του εδάφους στην σεισμική σύμφωνα με ένα σενάριο της εκτίμησης των απωλειών.

Η προσομοίωση του Monte Carlo αποτελεί την αρχή της ανάπτυξης των σχέσεων που έχουν να κάνουν με την σύνδεση των βλαβών και την κίνηση του εδάφους, συγκριτικά με 3 διαφορετικούς τύπους πλαισίου του οπλισμένου Σκυροδέματος που έχουν να κάνουν με κτίρια χαμηλά από 1-3 στάθμες, μεσαία από 4-7 στάθμες και τέλος ψηλά κτίρια από στάθμες οκτώ και πάνω, ενώ η καταγραφή των δεικτών της βλάβης πραγματοποιείται σύμφωνα με τους Park and Ang καταλήγοντας την ανάλυση σε καμπύλες Τρωτότητας πιθανότητας βλάβης ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου.

Στην συνέχεια οι Porter & Kiremidjian το 2001 συνέχισαν την έρευνα σε σχέση με την επίδραση των αβεβαιοτήτων σε σχέση με την εκτίμηση των σεισμικών απωλειών χρησιμοποιώντας μια μέθοδο η οποία πρόσφερε την δυνατότητα της εκτίμησης του αθροίσματος των απωλειών αυτών εκτιμώντας ένα μεγάλο φάσμα αβεβαιότητας σχετικά με παλιές εργασίες. Με την ανάλυση αντιμετωπίζεται η μεταβολή της εδαφικής κίνησης σε όλη την διάρκεια του σεισμού βάζοντας έναν μεγάλο αριθμό επιταχυνσιογραφημάτων, επίσης γίνεται η εκτίμηση του κόστους αποκατάστασης κάθε στοιχείου σε σχέση με τις βλάβες καθώς και με την αβεβαιότητα που υπάρχει σε σχέση με την βλάβη κάθε δομικού ή μη δομικού

στοιχείου. Στην μέθοδο αυτή γίνεται η χρήση της προσομοίωσης του Monte Carlo ώστε να διατυπωθούν πιθανοτικές συναρτήσεις τρωτότητας, όπου έτσι πραγματοποιείται ο υπολογισμός του κόστους των στατιστικών παραμέτρων που απαιτείται για την αποκατάσταση του συγκεκριμένου κτιρίου σε σχέση με την κίνηση του εδάφους. Σημαντικό είναι ότι οι παράμετροι αυτοί υπεβλήθησαν σε ανάλυση ευαισθησίας για την διαπίστωση του βαθμού επιρροής τους σε σχέση με το συνολικό κόστος αποκατάστασης του συγκεκριμένου κτιρίου.

2.1.2 Εργασίες εκτίμησης χωρικών απωλειών

Οι χωρικές απώλειες είναι μία διευρυμένη κατηγορία σε σχέση με τις κτιριακές απώλειες. Ουσιαστικά περιλαμβάνουν την εκτίμηση των σεισμικών απωλειών σε όλα τα κτίρια, τα οποία είναι σε μεγάλο χώρο. Η μεθοδολογία αυτή προέκυψε ως εξέλιξη των παλαιών ερευνητικών μεθόδων του 20ου αιώνα, οι οποίες δημιουργήθηκαν για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες των ασφαλιστικών εταιρειών για αξιόπιστες εκτιμήσεις των οικονομικών απωλειών και αποζημιώσεων στους δικαιούχους στην περίπτωση σεισμού.

Παράδειγμα μιας τέτοιας εργασίας είναι οι εκτιμήσεις μέσω των όρων πιθανοτικών απωλειών των σεισμών διάφορων περιοχών και διάφορων τύπων κτηριακών βάση δεδομένων όπου δημιουργήθηκε από τον Freeman το 1932.

Ο χαρακτήρας των εκτιμήσεων αυτών εκφράζει τις εργασίες που επακολούθησαν. Η περιοχή, το είδος τοιχοπληρώσεων, το κόστος αντικατάστασης, ο τύπος θεμελίωσης καθώς και η χρονολογία κατασκευής της χρησιμοποίησε ο Steinbrugge το 1969 για να διαμόρφωση ένα μοντέλο. Για την απεικόνιση αυτών των στοιχείων δημιουργήθηκε ένας πίνακας που είχε 24 τύπους κτιρίων με τιμές έντασης της κλίμακας Μερκάλλι και έτσι παρέχονταν ένας δείκτης βλάβης με αντίστοιχα ένα ποσοστό βλάβης με αποτέλεσμα να μπορούσε να εκτιμηθεί η αποζημίωση της ασφαλιστικής εταιρείας επί του ποσού απωλειών κάθε κτιρίου.

Ο Whitman στην εργασία του το 1973 ανέλυσε κτίρια πέντε ορόφων μεταλλικών φορέων ή Οπλισμένου Σκυροδέματος έτσι ώστε να συσχετίσει το ποσοστό βλάβης με τις τιμές της κίνησης του εδάφους σε σχέση με την κλίμακα Μερκάλλι.

Στα επόμενα χρόνια η ανάγκη για να δημιουργηθεί μια μέθοδος εκτίμησης των απωλειών σε επίπεδο χωρικό είχε σαν αποτέλεσμα την επεξεργασία σε συστηματική βάση καθώς και την ομαδοποίηση σε επίπεδο μεθοδολογικό προηγούμενων εργασιών. Οι πιο πολλές προσπάθειες έγιναν στους διάφορους τύπους κτηρίων τα οποία αποτελούσαν τα πρώτα δεδομένα με τα αντίστοιχα κόστη αντικατάστασης κάθε τύπου που ήταν τα τελικά παραγόμενα, διαμέσου κατάλληλων γραφημάτων τα οποία περιείχαν τιμές εντάσεως της κίνησης του εδάφους. Σε ορισμένες περιπτώσεις η μέθοδος αυτή τεκμηριώθηκε και αναλύθηκε με διάφορες απόψεις

εμπειρογνωμόνων και επιπλέον επεκτάθηκε έτσι ώστε να περιλαμβάνει κτίρια βιομηχανικά, εμπορικά και άλλων χρήσεων καθώς και άλλων υποδομών διαφορετικών από τα συνηθισμένα κτήρια. Έτσι δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων που αποτελείται από Πίνακες Πιθανότητας Βλάβης για 78 τύπους κτιρίων στην Καλιφόρνια με αποτέλεσμα με αυτόν τον τρόπο να μπορούν να εκτιμηθούν οι οικονομικές απώλειες και να προσδιοριστεί ο χρόνος αποκατάστασης κάθε κτιρίου στην προ σεισμική κατάσταση σε χωρικό επίπεδο.

Η συνέχεια της φιλοσοφίας αυτής ήταν ο κανονισμός FEMA 177 καθώς και ο FEMA 249 οι οποίες είχαν σαν στόχο να τυποποιήσουν την εκτίμηση των σεισμικών απωλειών στο χωρικό επίπεδο στο μέγιστο βαθμό με σκοπό να βελτιστοποιήσουν με τον τρόπο αυτό την αξιοπιστία και την συνέπεια των αποτελεσμάτων της. Καινούργιο στοιχείο των κανονισμών αυτών είναι η συνεκτίμηση των διάφορων αβεβαιοτήτων που συνδέεται με τον κίνδυνο του σεισμού οι οποίες αγνοούντουσαν από τις προηγούμενες μεθοδολογίες.

Οι δύο κανονισμοί FEMA 177 και FEMA 249 αποτέλεσαν την ανάπτυξη της τυποποιημένης μεθοδολογίας που εκτιμά την σεισμική απώλεια σε χωρικό επίπεδο όπου ονομάστηκε HAZUS. Η καινοτομία αυτής της μεθοδολογίας εκφράζει την μέτρηση της έντασης της κίνησης του εδάφους με ποσοτικοποιημένες τιμές (ελαστικές φασματικές) και όχι με ποιοτικές. Αυτό έγινε για να μειωθεί η επίδραση που ασκούσε η εμπειρική κρίση στην μέθοδο ATC-13, η οποία επηρέαζε πολύ τα αποτελέσματα. Ακόμα σημαντική είναι η προσπάθεια των δυο αυτών κανονισμών για να πραγματοποιηθεί μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση των διάφορων αβεβαιοτήτων ιδιαίτερα σε αυτές που συνδέονται με την σεισμική επικινδυνότητα.

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 5: Οι τύποι των κτιρίων σύμφωνα με την μέθοδο HAZUS, (Πηγή: HAZUS MR4 Technical manual, 2003)

Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει με ακριβή μέθοδο τις εκτιμώμενες βλάβες καθώς και την απώλεια με την χρήση των δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά προκύπτουν από τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα των σεισμικών συμπεριφορών όπως προκύπτει από τους 36 τύπους κτιρίων και από τις 33 χρήσεις των κτιρίων. Επιπλέον το ύψος του κτιρίου καθώς και το υλικό δόμησης του οργανισμού διαμορφώνουν τον τύπο ανάλυσης στα πλαίσια ανάπτυξης και διαμόρφωσης της μεθόδου με βάση που υπολογίζουν απώλειες λειτουργικές και βλάβες κτιρίων.

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 6: Οι κατηγορίες χρήσεων της μεθοδου HAZUS, (Πηγή:HAZUS MR4 Technical manual, 2003)

Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο αυτή, γίνεται ο υπολογισμός των οικονομικών απωλειών και των διάφορων κατηγοριών χρήσεων. Οι απώλειες αυτές αυξάνονται σύμφωνα με τις ποιοτικές προδιαγραφές και της σημαντικότητας του κτιρίου καθώς και του εξοπλισμού.

2.2Η μέθοδος SLaMA-URM

Η ευαισθησία των κτιρίων της Μη Ενισχυμένης Τοιχοποιίας (URM) σε σεισμούς έχει αποδειχθεί τόσο από ιστορικά όσο και από σύγχρονα σεισμικά γεγονότα, συμπεριλαμβανομένων των σεισμών της Κεντρικής Ιταλίας του 2016. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε αρχικά την πραγματική συμπεριφορά των κατασκευών τοιχοποιίας, να εντοπίσουμε τα κρίσιμα τρωτά τους σημεία (διαγνωστικά), να αξιολογήσουμε την ευαισθησία τους στη σεισμική δραστηριότητα (πρόγνωση) και να εφαρμόσουμε αποτελεσματικά προληπτικά μέτρα.

Η τοιχοποιία είναι ένας τύπος σύνθετου υλικού που μπορεί να προσομοιωθεί χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνικές μοντελοποίησης που βασίζονται στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (FE). Αυτές οι τεχνικές έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να αναπαράγουν με ακρίβεια την περίπλοκη συμπεριφορά της τοιχοποιίας. Ενώ αυτή η προσέγγιση έχει τη δυνατότητα να αποφέρει εξαιρετικά ακριβή αποτελέσματα, οι υπολογιστικές της απαιτήσεις την καθιστούν κατάλληλη μόνο για περιορισμένο εύρος εφαρμογών σε μελέτες εκτίμησης σεισμικής τρωτότητας. Συνήθως, χρησιμοποιούνται απλοποιημένα μοντέλα επειδή επιτυγχάνουν μια ισορροπία μεταξύ της υπολογιστικής πολυπλοκότητας και της ακρίβειας των αποτελεσμάτων, όπως αποδεικνύεται από έρευνες. Η προσέγγιση ισοδύναμου πλαισίου (EF) θεωρείται ευρέως ότι είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη. Κατά τη χρήση της τεχνικής EF για δομές URM, η πρόσκρουση της άρθρωσης (υποτίθεται ότι είναι άκαμπτη) συνήθως αγνοείται, τόσο ως προς την αντοχή όσο και ως προς την παραμορφωσιμότητα, όπως αρχικά προτάθηκε από τον Dolce.

Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει μια απλοποιημένη μηχανική αναλυτική τεχνική, χρησιμοποιώντας τη διακριτοποίηση EF, για την αξιολόγηση της σεισμικής επιδεκτικότητας κατασκευών URM. Αυτή η στρατηγική ενισχύει και επεκτείνεται στην τεχνική SLaMA (Απλοποιημένη Ανάλυση Πλευρικού Μηχανισμού) που περιγράφεται στις κατευθυντήριες γραμμές για τη Σεισμική Αξιολόγηση της Νέας Ζηλανδίας (NZSEE Μέρος C5 [17]) και τα πιο πρόσφατα ολλανδικά πρότυπα NPR 9998-18. Η μέθοδος SLaMA χρησιμοποιεί μια αναλυτική μη γραμμική προσέγγιση για τον προσδιορισμό της καμπύλης χωρητικότητας μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα (RC) ή ενός κτιρίου τοιχοποιίας. Αυτό επιτυγχάνεται με απλούς χειροκίνητους υπολογισμούς για κατασκευές RC και πιο πρόσφατες εξελίξεις για κατασκευές τοιχοποιίας.

Η συνολική σεισμική απόκριση της κατασκευής προσδιορίζεται συνδυάζοντας τις χωρητικότητες των εξαρτημάτων της, λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά γεγονότων αστοχίας που συμβαίνουν μέσα στα δομικά υποσυστήματα. Η ακολουθία των διεργασιών βασίζεται στη σχετική αντοχή των δομικών στοιχείων, η οποία προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας έναν τομέα απόδοσης Moment-Axial load (M–N). Η προσέγγιση ισορροπίας βασίζεται στην κατανομή της εσωτερικής «χωρητικότητας ροπής» σε κάθε υποσυγκρότημα προκειμένου να υπολογιστεί η ισοδύναμη ροπή

ανατροπής πλαισίου (OTM) και στη συνέχεια να προσδιοριστεί η καμπύλη ικανότητας διάτμησης βάσης έναντι πλευρικής μετατόπισης.

Η προσέγγιση SLaMA-URM, που προτείνεται σε αυτό το πλαίσιο, χρησιμεύει ως εργαλείο ταχείας αξιολόγησης για την αξιολόγηση της σεισμικής ικανότητας των κατασκευών URM. Η εφαρμογή της προσέγγισης στοχεύει στην παροχή μιας διεξοδικής και περιεκτικής ανασκόπησης της μεθοδολογίας. Οι ακόλουθες παραμετρικές αναλύσεις διεξάγονται για τη διερεύνηση της επίδρασης των διαστάσεων διασταύρωσης αποβάθρας-αναδέλφου και πάνελ στη συνολική συμπεριφορά μιας βασικής μη οπλισμένης τοιχοποιίας (URM).

Η μέθοδος SLaMA συνιστάται επί του παρόντος σε πολλαπλά πρότυπα (όπως το NZSEE Part C5 [17] και το NPR 9998-18) για την αξιολόγηση της σεισμικής απόδοσης υφιστάμενων κτιρίων. Θεωρείται απαραίτητο βήμα στη διαδικασία πριν από τη χρήση πιο προηγμένων μοντέλων υπολογιστών.

Η προσέγγιση περιλαμβάνει μια σειρά διαδοχικών βημάτων:

1) Απόκτηση συγκεκριμένων πληροφοριών σχετικά με τα φυσικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, όπως το σχήμα, τα υλικά και συγκεκριμένες λεπτομέρειες, καθώς και τα δεδομένα για τη δυνατότητα σεισμικής δραστηριότητας.

2) Εκτίμηση της ικανότητας μεμονωμένων εξαρτημάτων να αντέχουν τις δυνάμεις κάμψης και διάτμησης.

3) Καθορισμός της σειράς αντοχής μεταξύ της κολόνας, της δοκού και της άρθρωσης στο επίπεδο υποσυγκρότησης.

4) Αξιολόγηση της ικανότητας της κατασκευής να αντιστέκεται σε ροπές ανατροπής και ανάλυση της συνολικής απόκρισης ως προς τη δύναμη και τη μετατόπιση, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει διάφορους μηχανισμούς όπως ταλάντωση στήλης, ταλάντωση δοκού ή συνδυασμό και των δύο.

Ο προσδιορισμός της ικανότητας των δομικών στοιχείων, όπως οι αντοχές σε κάμψη και διάτμηση εντός του επιπέδου, καθορίζεται με βάση τις οδηγίες που παρέχονται στη βιβλιογραφία ή/και τους κανονισμούς κάποιου κώδικα. Η προτεινόμενη μέθοδος βασίζεται στην υπόθεση κατασκευής της συμπεριφοράς του κιβωτίου, παραβλέποντας επομένως την επίδραση της αντίδρασης εκτός επιπέδου των τοίχων και της παραμορφωσιμότητας των δαπέδων. Επί του παρόντος, η μέθοδος έχει περιορισμούς. Ωστόσο, μπορεί εύλογα να χρησιμοποιηθεί σε κτίρια που ακολουθούν την υπόθεση της συμπεριφοράς του κουτιού. Αυτό σημαίνει ότι τα κτίρια έχουν καλές συνδέσεις τοίχο με τοίχο και τοίχο με δάπεδο, καθώς και άκαμπτα διαφράγματα. Σε αυτό το σενάριο, η απόκριση του κτιρίου προς κάθε κατεύθυνση μπορεί να προσδιοριστεί αθροίζοντας τις αποκρίσεις των διαφόρων τοίχων που είναι προσανατολισμένοι προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση. Προκειμένου να ληφθεί

υπόψη η απόκριση εκτός επιπέδου των τοίχων και η ευελιξία των δαπέδων, έχουν πραγματοποιηθεί πειραματικές μελέτες , για την επικύρωση των προτεινόμενων αλλαγών.

2.2.1 Ιστορικό των κριτηρίων αντοχής

Διάφορα μοντέλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της εσωτερικής αντοχής των προβλητών URM μπορούν είναι διαθέσιμα σε δημοσιευμένες έρευνες. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η αντοχή σε κάμψη που σχετίζεται με τον μηχανισμό παλινδρόμησης ορίζεται υποθέτοντας ότι υπάρχει ένα ισοδύναμο ορθογώνιο μπλοκ θλιπτικής τάσης (NTC 2018 , NZSEE Μέρος C8). Είναι δυνατόν να ληφθούν υπόψη οι διάφοροι μηχανισμοί της διαγώνιας ρωγμής και της ολίσθησης της άρθρωσης της βάσης κατά τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής. Υπάρχουν πολλές φόρμουλες διαθέσιμες για αυτό το σκοπό. Τόσο το κριτήριο Turnsek και Cacovic , στο οποίο η αντοχή ορίζεται με βάση την αντοχή σε εφελκυσμό της τοιχοποιίας, όσο και το μοντέλο Mann and Muller , το οποίο υποθέτει τη διατμητική αντοχή με βάση τη συνοχή και τον συντελεστή τριβής των αρμών, είναι οι δύο πιο κοινές προσεγγίσεις στους κώδικες τοιχοποιίας. Και τα δύο αυτά μοντέλα κριτηρίων χρησιμοποιούνται για την εξέταση της διαγώνιας ρωγμής. Είναι κοινή πρακτική να υποθέτουμε ότι το κριτήριο Mohr-Coulomb ισχύει όταν πρόκειται για ολίσθηση με άρθρωση, όπως συνιστάται από τον ιταλικό κώδικα (NTC 2018).

Υπάρχει περιορισμένος αριθμός διαθέσιμων πληροφοριών σχετικά με τη συμπεριφορά των υλικών URM και οι πειραματικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί σε αυτά είναι λίγες και σχετικά πρόσφατες (για παράδειγμα, Beyer and Dazio , Parisi et al. , Knox et al.). Εάν μια σπανδρέλα συνδέεται με ένα αποτελεσματικό περβάζι ή με ράβδους σύνδεσης, μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μια προβλήτα περιστρεφόμενη κατά 90 μοίρες, όπως ορίζεται από ορισμένους οικοδομικούς κανονισμούς (για παράδειγμα, η Εθνική Τεχνική Επιτροπή 2018 και η Ευρωπαϊκή Ένωση 1998-3). Αυτό αντιμετωπίζεται ρητά στο NTC 2018 , το οποίο ισχύει σε περιπτώσεις όπου το οριζόντιο αξονικό φορτίο είναι γνωστό. Σε άλλες περιπτώσεις, θεωρείται ένας ανάλογος στύλος (στην περίπτωση που υπάρχει συνδεδεμένο ανθεκτικό σε εφελκυσμό στοιχείο) και η αντοχή σε διάτμηση εξαρτάται από τη συνοχή. Ελλείψει οποιουδήποτε συγκεκριμένου ανθεκτικού στοιχείου συνδεδεμένου με τη σπανδρέλα, είναι δυνατό να ληφθεί υπόψη το φαινόμενο σύμπλεξης των τούβλων στα άκρα με την γειτονική τοιχοποιία (FEMA 306 , Cattari και Lagomarsino). Αυτό γίνεται για να αποφευχθεί η αδικαιολόγητη υποτίμηση της ικανότητας κάμψης.

Η διαπίστωση χαμηλής ζημιάς στους αρμούς στους τοίχους URM που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια σεισμών οδήγησε στην υπόθεση ότι αυτοί οι σύνδεσμοι είναι άκαμπτοι και ατελείωτα ανθεκτικοί. Αυτή η υπόθεση βασίζεται στην προσέγγιση μοντελοποίησης EF. Από την άλλη πλευρά, ανάλογα με το σχήμα των

υποσυστημάτων, οι αρμοί μπορεί να παίζουν σημαντικό ρόλο στην ακαμψία και την ικανότητα και των κτιρίων. Ωστόσο, αυτό έχει επίσης παρατηρηθεί σε πρόσφατη υπολογιστική έρευνα, εκτός από το ότι παρατηρήθηκε πειραματικά σε αναφορές.

Μια υπόθεση άκαμπτου κόμβου είναι μια χονδρική προσέγγιση του περίπλοκου μηχανισμού μεταφοράς τάσης που συμβαίνει μεταξύ των δοκών και των πυλώνων. Δεδομένου ότι η υπόθεση των παραμορφώσιμων αρμών μπορεί να αντικατοπτρίζει καλύτερα την πραγματική συμπεριφορά των κτιρίων, αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι μια υπόθεση άκαμπτου κόμβου είναι μια πρόχειρη προσέγγιση. Σε αυτή τη συγκεκριμένη ρύθμιση, είναι δυνατό να ληφθεί υπόψη η πραγματική χωρητικότητα των αρθρώσεων υποθέτοντας ότι διαθέτουν μηχανισμό αντοχής «ισοδύναμου αντηρίδας» (Bertoldi et al.). Για την τεχνική EF, ένας αριθμός μελετών έχει διεξαχθεί προκειμένου να προσδιοριστεί το αποτελεσματικό παραμορφώσιμο ύψος και το μήκος των δακτύλιων και των πυλώνων, αντίστοιχα (για παράδειγμα, Dolce και Lagomarsino et al.).

Στη μέθοδο SLAMA, εφαρμόζεται μια συγκεκριμένη διαδικασία ανάλυσης τομής σύμφωνα με τη μεθοδολογία της Μονολιθικής Αναλογίας Δοκών (MBA). Ο στόχος αυτής της διαδικασίας είναι η εκτίμηση της ικανότητας ροπής περιστροφής των εξαρτημάτων. Ο υπολογισμός της ισορροπίας των παραμορφώσιμων σωμάτων είναι το θεμέλιο αυτής της προσέγγισης. Για παράδειγμα, στην περίπτωση προκατασκευασμένων αρμών από σκυρόδεμα όλκιμων λικνιζόμενων-διασκορπιστικών συνδέσεων που βασίζονται σε τεχνικές μη συνδεδεμένης μετατόνωσης, αυτή η προσέγγιση βασίζεται στον υπολογισμό της ισορροπίας του παραμορφώσιμου σώματος.

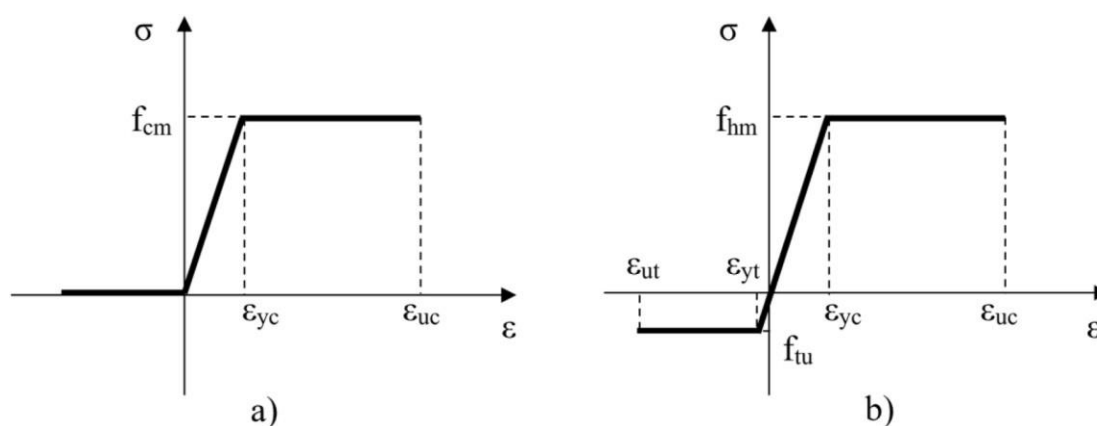
2.2.2 Καμπύλες ροπής-περιστροφής

Η ικανότητα κάμψης των πυλώνων προσδιορίζεται με βάση την υπόθεση της σχέσης ελαστικής-απόλυτα πλαστικής τάσης-παραμόρφωσης στη συμπίεση και χωρίς αντίσταση στην τάση (EPP-NTR). Τα δοκάρια αναλύονται χρησιμοποιώντας ένα ελαστικό-τέλεια πλαστικό μοντέλο τάσης-παραμόρφωσης που είναι ανθεκτικό τόσο στη συμπίεση όσο και στην τάση, γνωστό ως μοντέλο EPP-TR. Η ροπή κάμψης υπολογίζεται χρησιμοποιώντας ανάλυση τομής χρησιμοποιώντας ισοδύναμη αντοχή εφελκυσμού f_{tu} , η οποία σχετίζεται με το φαινόμενο σύμπλεξης. Η ισοδύναμη αντοχή σε εφελκυσμό υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1), λαμβάνοντας υπόψη το ύψος (Δy) και το πλάτος (Δx) των τούβλων, καθώς και το 65% της μέσης κατακόρυφης θλιπτικής τάσης (σ_v):

$$f_{tu} = \frac{\Delta x}{2\Delta y} \mu 0,65 \sigma_v \quad (2.1)$$

Όπου μ είναι ο συντελεστής τριβής.

Η Εικόνα 1 δείχνει τις σχέσεις τάσης-παραμόρφωσης για συμπίεση και τάση που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση τομής για να περιγράψουν την απόκριση περιστροφής ροπής. Περιλαμβάνει τις τιμές ελαστικής (ϵ_{yc} και ϵ_{yt}) και τελικής (ϵ_{uc} και ϵ_{ut}) παραμόρφωσης.



Σχήμα 1.9 Σχέσεις τάσης-καταπόνησης: (α) ελαστικό-τέλειο πλαστικό στη συμπίεση και ανθεκτικό σε εφελκυσμό (EPP-NTR) για πύλες και (β) ελαστικό-τέλειο πλαστικό σε συμπίεση και ανθεκτικό σε εφελκυσμό (EPP-TR) για δοκάρια (Sansoni et al 2023).

Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι οι αντιδράσεις καθορίζονται με βάση μεμονωμένα στοιχεία της πλινθοδομής, αντί να χρησιμοποιείται κάποιος όγκος δείγματος. Σε μικρή κλίμακα, υπάρχουν στοιχεία που υποδηλώνουν ότι είναι σκόπιμο να υποθέσουμε ένα μοντέλο EPP με σημαντική ελαστικότητα σε εφελκυσμό για τα δοκάρια. Αυτή η υπόθεση υποστηρίζεται από το έργο των Cattari και Lagomarsino . Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η απόκριση αντοχής στην τάση λαμβάνεται αποκλειστικά υπόψη για τα δοκάρια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1b. Πράγματι, όταν η φθορά των δακτυλίων προκαλείται ως επί το πλείστο από ρωγμές διάτμησης των αρμών της κλίνης κονιάματος, η αστοχία παρουσιάζει μια ιδιαίτερα όλκιμη συμπεριφορά. Η ρηγμάτωση σε εφελκυσμό των μονάδων είναι η κύρια αιτία εύθραυστης αστοχίας σε κατασκευές τοιχοποιίας με αδύναμες μονάδες και ισχυρούς αρμούς .

Το σκεύασμα MBA, όπως προτείνεται από τους Pampanin et al. , τροποποιείται σε αυτή τη μελέτη για να αναλύσει την απόκριση σταδιακής ταλάντωσης/περιστροφής των πυλών και των δοκών σε δομές URM. Συγκεκριμένα, τα εξαρτήματα θεωρούνται εύκαμπτα σώματα με μη αναστρέψιμες παραμορφώσεις που εμφανίζονται κυρίως στα άκρα τους, οι οποίες καθορίζονται από τα προϋπάρχοντα ανοίγματα. Ως εκ τούτου, η εξίσωση μπορεί να συναχθεί από μια σύγκριση με βάση τη μετατόπιση (κριτήριο συμβατότητας μέλους) μεταξύ του στοιχείου προβόλου URM και ενός αντίστοιχου μονολιθικού στοιχείου RC.

$$\theta_i = \frac{\left(\frac{\varepsilon_i}{c_i} - x_y\right) \left(L_{cant} - \frac{L_p}{2}\right) L_p}{L_{can}} \quad (2.2)$$

Όπου:

ε_i : η τιμή παραμόρφωσης στο αντίστοιχο βάθος του ουδέτερου άξονα c_i ,

$x_y = 2 \varepsilon_{yc}/B$: η ελαστική καμπυλότητα (όπου B λαμβάνεται ως το μήκος B_p για τους πυλώνες και το ύψος h_{sp} για τα δοκάρια),

L_{cant} : η απόσταση από το ακροτελικό στοιχείο στο σημείο σύγκρουσης (υποτίθεται ως το ήμισυ του ενεργού ύψους για τις πύλες, $h_{p,eff}/2$, και ως το ήμισυ του διαφανούς ανοίγματος για τα δοκάρια, $L_{sp}/2$), και

L_p : το υποτιθέμενο βάθος ρωγμής (θεωρητικό ισοδύναμο πλαστικό μήκος άρθρωσης) στο άκρο στοιχείου, το οποίο λαμβάνεται περίπου ως $0,1 L_{cant}$.

Η τελευταία προσέγγιση του L_p είναι κατάλληλη για καταστάσεις όπου υπάρχει περιορισμένη κατανόηση της διαμόρφωσης τοιχοποιίας. Για ευρέως αναγνωρισμένες περιπτώσεις, το L_p μπορεί να προσεγγιστεί λαμβάνοντας υπόψη τις διαστάσεις των μονάδων τοιχοποιίας, χρησιμοποιώντας στοιχεία βλάβης από πειραματικά προγράμματα που πραγματοποιήθηκαν σε πύλες και δοκάρια. Για να επιτύχετε μια ισορροπία, συνιστάται να λαμβάνονται υπόψη οι τιμές L_p εντός του εύρους $[h_{unit}, 2h_{unit}]$ για τις πύλες και $[l_{unit}, 2l_{unit}]$ για τα δοκάρια. Εδώ, η μονάδα l αντιπροσωπεύει το μήκος των μονάδων και το h_{unit} αντιπροσωπεύει το ύψος των μονάδων. Η εξίσωση 2.2 ορίζει συγκεκριμένα την περιστροφική κίνηση του στοιχείου που προκαλείται από τον μηχανισμό παλινδρόμησης, ο οποίος αντιπροσωπεύει το "πλαστικό" στοιχείο. Ωστόσο, η ελαστική συνιστώσα, η οποία περιλαμβάνει τις παραμορφώσεις κάμψης και διάτμησης του μέλους εκτός των κρίσιμων τμημάτων ταλάντωσης, ενσωματώνεται στον υπολογισμό προσθέτοντας την αρχική ακαμψία K_{el} σύμφωνα με την Εξίσωση 2.3.

$$K_{el} = \left(\frac{h_{eff}^3}{12 E_m I} + 1.2 \frac{h_{eff}}{E_p t_p G_m} \right)^{-1} \quad (2.3)$$

Το ενεργό ύψος, που συμβολίζεται ως h_{eff} , προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας τον κανόνα του Dolce για πυλώνες, $h_{p,eff}$, και υπολογίζεται με βάση το καθαρό άνοιγμα για τα δοκάρια, L_{sp} . Το μήκος και το πάχος του στοιχείου συμβολίζονται ως B_p και t_p , ενώ οι συντελεστές ελαστικότητας και διάτμησης της τοιχοποιίας αντιπροσωπεύονται με E_m και G_m , αντίστοιχα. Η ροπή αδράνειας συμβολίζεται ως I . Η καμπύλη χωρητικότητας ροπής για τα δοκάρια ορίζεται με δύο διαφορετικούς τρόπους στο μοντέλο EPP-TR. Ο πρώτος τρόπος χαρακτηρίζεται από ολκιμότητα στην τάση που περιορίζεται σε $\mu_{et} = \varepsilon_{ut}/\varepsilon_{yt} = 50$, που σημαίνει ότι διέπεται από τάση

και αναφέρεται ως αστοχία που καθορίζεται από τάση (TF). Ο δεύτερος τρόπος χαρακτηρίζεται από πλαστικότητα στη συμπίεση περιορισμένη σε $\mu_{ec} = \epsilon_{uc}/\epsilon_{yc} = 1,2$, με άπειρη πλαστικότητα στην τάση. Αυτός ο δεύτερος τρόπος διέπεται από συμπίεση και αναφέρεται ως αστοχία που καθορίζεται από συμπίεση (CF). Η ολκιμότητα της τάσης παραμόρφωσης $\mu_{et} = 50$ προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας το γενικευμένο μοντέλο τάσης τάσης-παραμόρφωσης EPP για δοκάρια, όπως ορίζεται από τον Κnoch.. Αυτό το μοντέλο λαμβάνει υπόψη ότι η κύρια αιτία της ζημιάς είναι η διάτμηση των αρμών της κλίνης κονιάματος. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τα ϵ_{yt} και ϵ_{ut} ήταν 0,04% και 2% αντίστοιχα. Η πρόταση του Κnoch βασίζεται σε ευρήματα από επιτόπου πειράματα διάτμησης άρθρωσης κλίνης που πραγματοποιήθηκαν σε αντιπροσωπευτικές δομές τοιχοποιίας στη Νέα Ζηλανδία.

Η ανάλυση λαμβάνει υπόψη τρεις διακριτές συνθήκες οριακής κατάστασης: αποσυμπίεση, κορυφή και τελική. Πραγματοποιείται ανάλυση τομής για τον ακριβή προσδιορισμό της απόκρισης ροπής-περιστροφής. Η συνθήκη αποσυμπίεσης βασίζεται στην προϋπόθεση ότι η περιστροφή θ_{dec} είναι ισοδύναμη με την ελαστική περιστροφή που προσδιορίζεται από την αρχική ακαμψία K_{el} . Ως αποτέλεσμα, η ροπή αποσυμπίεσης M_{dec} ορίζεται ανάλογα. Το μοντέλο EPP-TR-CF ορίζει τη ροπή κορυφής M_p και την τελική ροπή M_u , καθώς και τις αντίστοιχες περιστροφές (ελαστικό συν πλαστικό) θ_p και θ_u , για πύλες και δοκάρια, καθορίζοντας τις τιμές της θλιπτικής κορυφής ϵ_{yc} και των τελικών παραμορφώσεων ϵ_{uc} . Ωστόσο, χρησιμοποιώντας το μοντέλο EPP-TR-TF για τα αδράχια, μπορούμε να προσδιορίσουμε τις τιμές της κορυφής εφελκυσμού ϵ_{yt} και των τελικών τάσεων ϵ_{ut} , καθώς και τις ροπές M_p και M_u και τις σχετικές περιστροφές θ_p και θ_u .

Η διατμητική αντοχή προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας το κριτήριο Turnsek και Ciconic [27], το οποίο βασίζεται στη διαγώνια ρωγμή. Αυτό το κριτήριο αντιπροσωπεύεται από την Εξίσωση 2.4.

$$V_{s,dc} = \frac{B_p t_p f_t}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_v}{f_t}} \quad (2.4)$$

Η μεταβλητή b αντιπροσωπεύει τον λόγο διαστάσεων, ο οποίος υπολογίζεται διαιρώντας την πραγματική οριζόντια πίεση με την πίεση βάσης. Ο λόγος διαστάσεων μπορεί να κυμαίνεται από 1 έως 1,5. Η μεταβλητή f_t αντιπροσωπεύει την αντοχή σε εφελκυσμό της τοιχοποιίας, ενώ το σ_v αντιπροσωπεύει τη θλιπτική κατακόρυφη τάση στην προβλήτα.

Η εξίσωση 2.5 είναι η εφαρμογή του κριτηρίου Mohr-Coulomb στην ολίσθηση της άρθρωσης.

$$V_{s,bdj} = l' t_p (f_v + \mu \sigma_v) \quad (2.5)$$

Η μεταβλητή l' αντιπροσωπεύει το συμπιεσμένο μήκος, το f_v αντιπροσωπεύει τη διατμητική αντοχή τοιχοποιίας όταν δεν υπάρχει αξονική δύναμη και το μ αντιπροσωπεύει τον συντελεστή τριβής της τοιχοποιίας, ο οποίος υποτίθεται

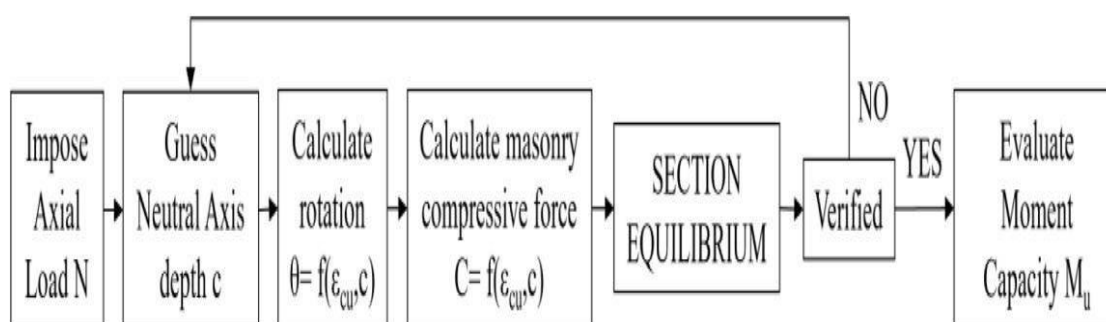
ότι είναι $\mu = 0,7$. Η εξίσωση 2.5 είναι μια άρρητη έκφραση αφού η τιμή του I' εξαρτάται από το πλευρικό διατμητικό φορτίο. Αρκετοί συγγραφείς προσπάθησαν να αντιμετωπίσουν αυτή τη διπλή εξάρτηση [45]. Η διατμητική αντοχή των δακτυλίων προσδιορίζεται πολλαπλασιάζοντας το εμβαδόν της διατομής του στροφείου (ύψος h_{sp} × πάχος t_p) με τη διατμητική αντοχή τοιχοποιίας απουσία αξονικού φορτίου, f_{v0} (NTC 2018 [25]), όπως αναφέρεται στην Εξίσωση 2.6

$$V_{s,dc} = h_{sp} t_p f_{v0} \quad (2.1)$$

Τα κατώφλια αντοχής προσδιορίζονται με τον υπολογισμό της χωρητικότητας ροπής χρησιμοποιώντας την αντίσταση διάτμησης (V_s) και το μήκος προβόλου (L_{cant}) της προβλήτας ή του ανταλλακτικού. Αυτό αντιπροσωπεύεται ως $M = V_s L_{cant}$.

Τομείς απόδοσης ροπής-αξονικού φορτίου (M-N).

Η ικανότητα κάμψης προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας μια μαθηματική εξίσωση που καθορίζεται στους κανονισμούς NTC 2018 [25] και NZSEE Part C8 . Αυτή η εξίσωση υπολογίζει την ικανότητα ροπής κάμψης υποθέτοντας την παρουσία ενός ισοδύναμου μπλοκ θλιπτικής τάσης. Εναλλακτικά, η καμπύλη αλληλεπίδρασης M-N Ροπής-Αξονικού φορτίου μπορεί να προκύψει χρησιμοποιώντας εξισώσεις τομής ισορροπίας, όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκετοί δομικοί νόμοι για την τοιχοποιία. Οι περιοχές αλληλεπίδρασης M–N προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας έναν ελαστικό-τέλεια πλαστικό νόμο υπό συμπίεση και ένα μοντέλο που δεν επιτρέπει αντίσταση εφελκυσμού (EPP-NTR). Η μεθοδολογία MBA μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο της συμβατικής ανάλυσης τομής για τον προσδιορισμό της ικανότητας κάμψης. Η Εικόνα 2 απεικονίζει τη σχηματική αναπαράσταση των αποβάθρων στο διάγραμμα ροής.



Εικόνα 6 Η ανάλυση του τομέα M–N χρησιμοποιώντας την τεχνική MBA σε υπολογισμούς τομής.

2.3 Λογισμικά Προγράμματα εκτίμησης απωλειών

Πέρα από την κάθε μέθοδο που επιλέγεται, οι απώλειες κάθε είδους και σοβαρότητας που προκύπτουν από μια σεισμική δόνηση υπολογίζονται βάση ενός ειδικού λογισμικού. Είναι απαραίτητη η διαθεσιμότητα ενός λογισμικού συγκεκριμένου τύπου με το οποίο θα γίνεται επεξεργασία των πληροφοριών που έχουν να κάνουν τόσο με τον τύπο της τρωτότητας του συγκεκριμένου κτηρίου ή της ομάδας των κτηρίων όσο και με τα χαρακτηριστικά της κίνησης του εδάφους. Τις περισσότερες φορές, ή ανάλυση γίνεται με χρήση υποβοηθητική ενός από τα υφιστάμενα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ-GIS), το οποίο έχει την δυνατότητα είτε να χρησιμοποιείται ανεξάρτητα από αυτό είτε να είναι ενσωματωμένο στο παραπάνω λογισμικό εκτίμησης απωλειών.

Πολλά από τα λογισμικά που χρησιμοποιούνται σήμερα για την εκτίμηση απωλειών είναι ανοιχτού κώδικα (Open Source Software-OSS), όπου η χρήση τους δεν δεσμεύεται από κάποιο περιορισμό ή από κάποιο είδος άδειας. Η μελέτη του χρησιμοποιούμενου αλγόριθμου αλλά και η ελεύθερη πρόσβαση του κώδικα σκοπεύει να δυναμώσει την πραγματοποίηση των αλλαγών σε αυτόν από τους άλλους χρήστες, όπου αυτό είναι απαραίτητο, με σκοπό την συνεχή βελτίωση της αξιοπιστίας των λογισμικών καθώς και να διευκολύνει την διάδοση μεταξύ ενδιαφερόμενων χρηστών. Είναι αξιοσημείωτο ότι η ύπαρξη ανοικτού κώδικα δεν σημαίνει και δωρεάν χρήση του λογισμικού, αντίθετα με τα λογισμικά κλειστού κώδικα όπου στην πλειοψηφία τους παρέχεται δωρεάν, όμως δεν γίνεται αλλαγή στους αλγόριθμους του. Έτσι ανάλογα με την δέσμευση που έχει η χρήση των λογισμικών και η διάθεση τους, τα λογισμικά που υπολογίζουν τις σεισμικές απώλειες ταξινομούνται σε εμπορικά (δηλαδή η χρήση τους γίνεται με πληρωμή, ελεύθερης χρήσης που γίνεται έπειτα από αποστολή σχετικού αιτήματος, ελεύθερης διανομής αλλά κλειστού κώδικα και τέλος ανοικτού κώδικα.

Τα πιο διαδεδομένα λογισμικά βάση των παραπάνω κατηγοριών είναι τα λογισμικά ελεύθερης διανομής και χρήσης. Αυτό έχει να κάνει με το πανεπιστημιακό περιβάλλον καθώς εξελίσσονται και διαμορφώνονται εκεί τα περισσότερα άπαυτά. Το πανεπιστημιακό περιβάλλον συνήθως επιβάλλει απαγορεύσεις νομικής μορφής στην ανάπτυξη λογισμικού εμπορικής χρήσης. Επίσης, είναι αναγκαίο να εκτιμηθεί και ο μικρός αριθμός χρηστών οι οποίοι χειρίζονται λογισμικά τέτοιου είδους, που σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση θα ήταν φοβερά δαπανηρά τόσο για την χρήσης τους όσο και για την απόκτηση τους. Τέλος ανεξάρτητα από την τιμή τους, άλλοι παράγοντες που έχουν να κάνουν με την χρήση και την διάδοση ενός λογισμικού που υπολογίζει τις σεισμικές απώλειες και αφορά την ευκολία της εύρεσής του ιδίως

εάν μπορεί να ληφθεί από το διαδίκτυο, στη συνέργεια με άλλα λογισμικά και τέλος στο εύρος των εγγράφων τεκμηρίωσης που υπάρχουν διαθέσιμα.

2.3.1. CAPRA (Central American Probabilistic Risk Assessment)

Αυτό το λογισμικό δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της ανάλυσης του κινδύνου καθώς και για την εκτίμηση απωλειών που οφείλονται στα φυσικά φαινόμενα της συγκεκριμένης περιοχής της Κεντρικής Αμερικής. Ουσιαστικά η ανάπτυξη του προκύπτει από μία κοινή προσπάθεια μεταξύ των UNISDR, CEPREDENAC και Παγκόσμιας Τράπεζας σε συνεργασία με τους τοπικούς φορείς και τις κυβερνητικές αρχές. Το αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας ήταν τέτοια που παρότι το αρχικό λογισμικό διαμορφώθηκε για να ανταποκρίνεται στις συνθήκες των χωρών της συγκεκριμένης περιοχής, στην συνέχεια επεκτάθηκε και σε άλλες χώρες εκτός της Αμερικής.

Το Carpa είναι ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα και δομείται σε πλατφόρμα ΓΣΠ, μέσο του οποίου έχει την δυνατότητα η αναλυόμενη περιοχή να χαρτογραφηθεί η έκθεση, ο κίνδυνος που μπορεί να αντιμετωπίσει και τέλος η επικινδυνότητα που διατρέχει. Καθώς γίνεται η διαδικασία της εκτίμησης των απωλειών, ταυτόχρονα με το βασικό λογισμικό που δίνεται ως τυποποιημένο μορφότυπο έκθεσης διάφορων στοιχείων της συγκεκριμένης υποδομής χρησιμοποιούνται παράλληλα και άλλα πρόσθετα εργαλεία με μορφή διαφορετικών ενοτήτων λογισμικού, όπου κάθε μία από αυτές μπορεί να δώσει την δυνατότητα ανάλυσης πολλών διαφορετικών απωλειών και κινδύνων που μπορεί να προκληθούν από αυτό. (Marulanda et al, 2013)

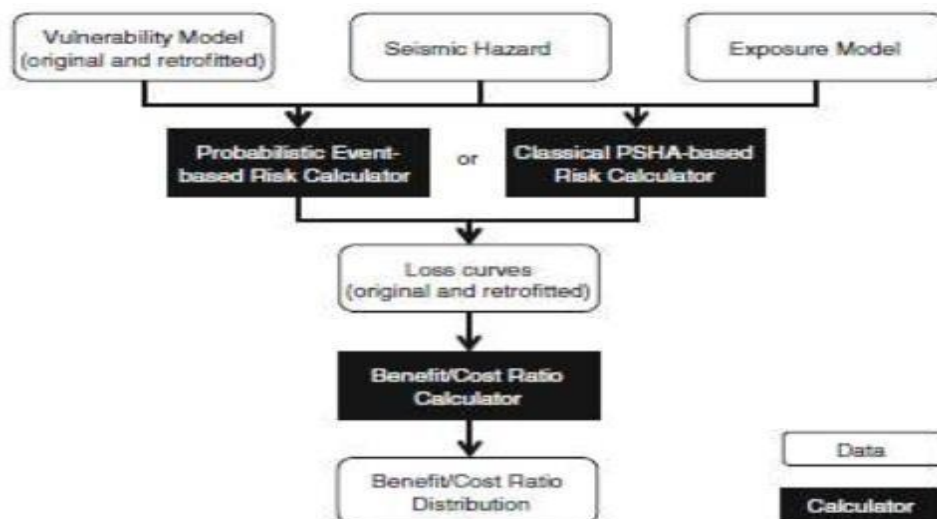


Εικόνα 7: Μοντέλο πιθανοτικής ανάλυσης και εφαρμογές διαχείρισης κινδύνου (Cardona et al, 2012)

Η μεθοδολογία του Carpa χρησιμοποιεί στοχαστικές και ιστορικές προσεγγίσεις με σκοπό να προσομοιώσει την ένταση και τη συχνότητα της επικινδυνότητας που χαρακτηρίζει την συγκεκριμένη υποδομή. Έπειτα η πληροφορία που προκύπτει έχει την δυνατότητα να συνδυαστεί με δεδομένα που έχουν να κάνουν με την έκθεση και την τρωτότητα της υποδομής και να αναλυθεί σε επίπεδο χωρικό με σκοπό να γίνει εκτίμηση των απωλειών. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν δίνονται σε όρους κινδύνου, όπως είναι η καμπύλη πιθανότητας υπέρβασης, οι πιθανές μέγιστες απώλειες για οποιαδήποτε περίοδο επαναφοράς και οι αναμενόμενες ετήσιες απώλειες. Η συγκεκριμένη προσέγγιση καθιστά το CARPA ιδιαίτερα χρήσιμο στο να γίνει σωστά η ανάλυση κινδύνου εξαιτίας πολλαπλής επικινδυνότητας.

2.3.2 OpenQuake

Το συγκεκριμένο λογισμικό δημιουργήθηκε από την GEM (Global Earthquake Model), ουσιαστικά είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός ιδρύθηκε το 2009 στην Ιταλία και είχε την μορφή σύμπραξης Δημοσίου-Ιδιωτικού τομέα. Πρόκειται για μία διαρκεί εξέλιξη που είναι αποτέλεσμα μιας παγκόσμιας συλλογικής προσπάθειας μεγαλύτερη των 300 ερευνητών και επιστημόνων και στόχο έχει την διαμόρφωση ενός εύχρηστου και υψηλού επιπέδου εργαλείου που αναλύει την εκτίμηση και την επικινδυνότητα ενός σεισμικού κινδύνου, έτσι ώστε να δίνει ενιαίους υπολογισμούς με αποτελέσματα αξιόπιστα για κάθε χώρα.



Εικόνα 8:Ανάλυση κόστους-Όφελός. Διάγραμμα ροής ανασχεδιασμού των υφιστάμενων υποδομών (Silva,2004)

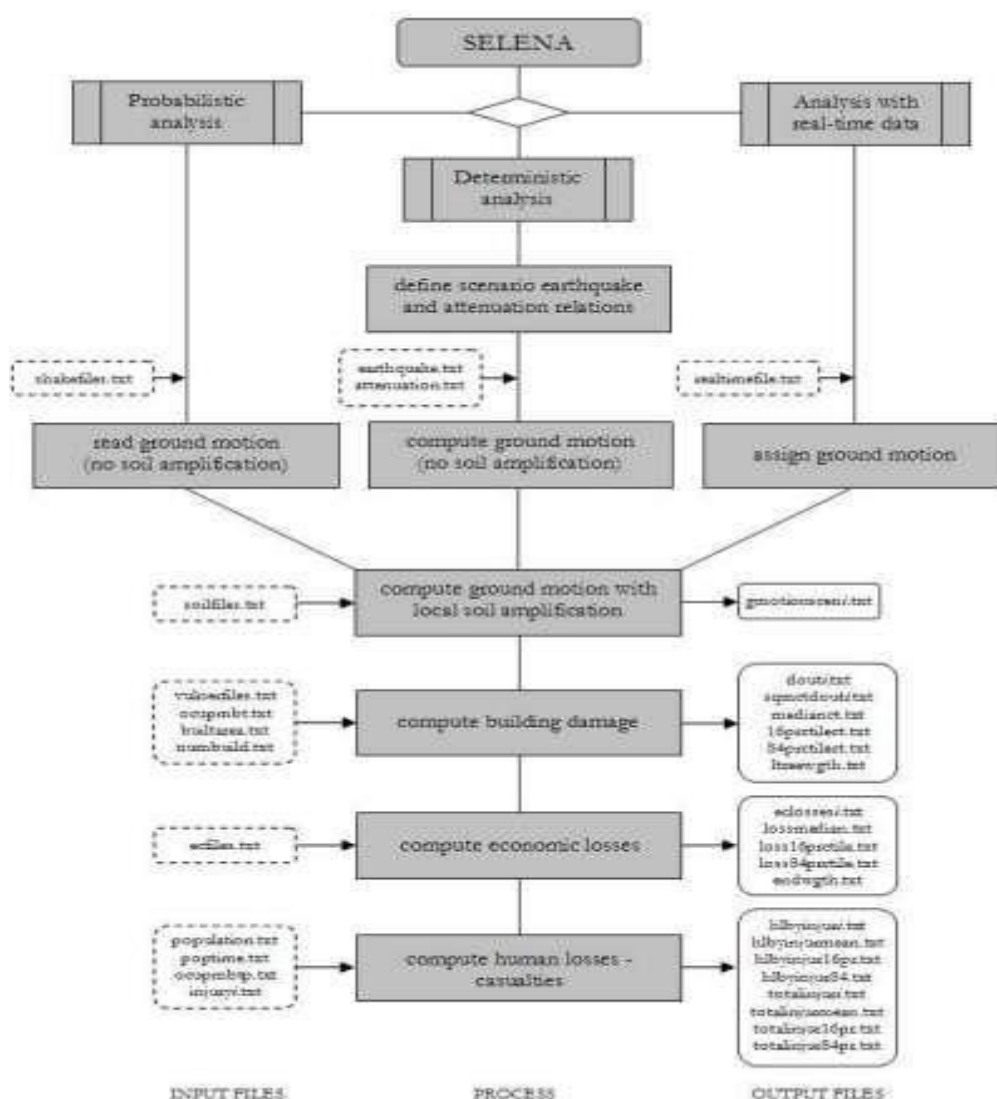
Για την ανάπτυξη του το πρώτο βήμα έγινε το 2009 που ήταν επακόλουθο μιας επισκόπησης αρχικής μορφής ενός σημαντικού αριθμού μη εμπορικών λογισμικών που ανέλυαν τους σεισμικούς κινδύνους, με σκοπό να εντοπιστούν οι περιορισμοί τους και οι δυνατότητές τους, με αποτέλεσμα να τεθούν οι αντίστοιχες προδιαγραφές στο OpenQuake.

Το OpenQuake ανήκει στην κατηγορία των λογισμικών με κώδικα γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού Python, που είναι ανοικτό και προσβάσιμο μέσω διαδικτύου σε αποθετήριο δημόσιο (<http://github.com/gem/oq-engine>). Βασικά αποτελείται από πέντε κύρια υπολογιστικά τμήματα όπου το καθένα άπ'αυτά συμβάλλει με μοναδικό τρόπο στην αναλυτική διαδικασία της εκτίμησης οικονομικών και ταυτόχρονα έμψυχων απωλειών που είναι δυνατόν να προκληθούν είτε από ένα σεισμό είτε από πολλά πιθανά σεισμικά γεγονότα σε μια περιοχή μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Αντίθετα με άλλα παρόμοια λογισμικά, η εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου και η ανάλυση της επικινδυνότητας γίνεται με το ίδιο λογισμικό, ενώ ταυτόχρονα δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να πραγματοποιήσει μεμονωμένους υπολογισμούς για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις, καθώς και μπορεί να χρησιμοποιήσει δικά του ήδη διαμορφωμένα μοντέλα τρωτότητας και έκθεσης, κινδύνου, ανεξαρτήτως γεωγραφικών συντεταγμένων. Ένα άλλο συγκριτικό πλεονέκτημα είναι και η ευελιξία του λογισμικού αφού αυτό δεν λειτουργεί μόνο σε φορητό υπολογιστή αλλά λειτουργεί και σε μεγαλύτερα ομαδοποιημένα υπολογιστικά συστήματα, ενώ παράλληλα δίνει αμέτρητες επιλογές μοντελοποίησης, πληθυσμού, και πολλών άλλων πόρων. Τελικά το πιο βασικό πλεονέκτημα του λογισμικού είναι ότι δίνει την δυνατότητα αξιοποίησης των αποτελεσμάτων της διαδικασίας του υπολογισμού ανάλυση κόστους-οφέλους, καθιστώντας το σαν εργαλείο που υποστηρίζει τις αποφάσεις σε ότι έχει να κάνει με την λήψη μέτρων ενίσχυσης ή ανασχεδιασμού στο σύνολο των συγκεκριμένων υποδομών από οικονομικής πλευράς.

2.3.3 SELENA (Seismic Loss Estimation using a Logic Tree Approach)

Αυτό το λογισμικό δημιουργήθηκε το 2004 και προέκυψε από την συνεργασία μεταξύ του πανεπιστημίου Αλικάντε (Ισπανία), του Διεθνούς Κέντρου Γεωλογικών Κινδύνων (International Centre for Geohazards- ICG) και του μη κερδοσκοπικού σεισμολογικού-γεωεπιστημονικού ερευνητικού οργανισμού NORSAR (Νορβηγία). Στην περίπτωση αυτή, ο βασικός σκοπός αυτής της συνεργασίας ήταν η προσπάθεια να αναπτυχθεί ένα σημαντικό εργαλείο που υπολογίζει τις απώλειες, έχοντας την δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων σε οποιαδήποτε μορφή ο χρήστης επιθυμεί. Παλιότερα ο κώδικας είχε γραφτεί σε γλώσσα matlab, όμως από το 2009 έως σήμερα γράφεται σε γλώσσα προγραμματισμού C, έτσι ώστε να είναι πλήρως ανοικτός και η λειτουργία του λογισμικού να είναι ανεξάρτητη από οποιαδήποτε

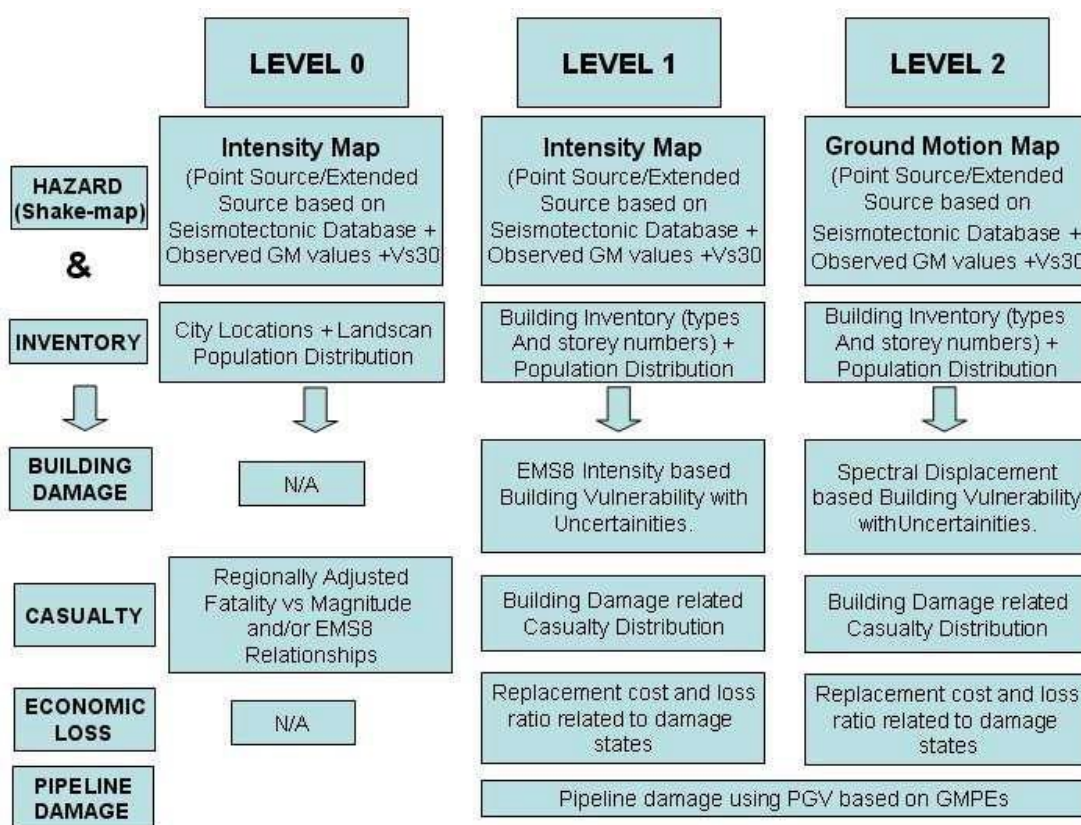
εμπορική άδεια χρήσης. Αντίθετα με άλλα λογισμικά όμοιου είδους, το SELENA δεν ενσωματώνει συγκεκριμένη πλατφόρμα ΓΣΠ, έτσι ώστε να προσαρμόζεται με ευκολία σε κάθε λειτουργικό σύστημα. Τα δεδομένα εισαγωγής και τα αντίστοιχα αποτελέσματα της ανάλυσης πρέπει να είναι σε μορφή ASCII (.txt), ενώ είναι δυνατόν να απεικονιστούν σε οποιοδήποτε ΓΣΠ επιλέγει ο χρήστης και έτσι η χρήση του SELENA είναι ευέλικτη και απλή. Εκτός από την απεικόνιση των αποτελεσμάτων του SELENA σε μορφή χαρτών και με το κυρίως λογισμικό της εκτίμησης των απωλειών, αναπτύχθηκε και ένα σχετικό λογισμικό ΓΣΠ που έχει βοηθητικό σκοπό και ονομάζεται RISE (Risk illustrator for SELENA). Όπως λειτουργεί το SELENA, έτσι λειτουργεί και το RISE και διαθέτει και αυτό ανοικτό κώδικα και λειτουργεί σαν ενδιάμεσο στάδιο της διαδικασίας της ανάλυσης καθώς μετατρέπει τα αρχεία εισόδου και εξόδου που παράγονται από το SELENA στο πρώτο στάδιο σε αρχεία με μορφή KML, τα οποία τελικά είναι ικανά να απεικονισθούν στην εφαρμογή Google Earth με την μορφή δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης.



Εικόνα 9: Διάγραμμα ροής SELENA (User manual SELENA, 2010)

2.3.4 ELER (Earthquake Loss Estimation Routine)

Το ELER βασίζεται και αυτό σε πλατφόρμα ΓΣΠ, και ταυτόχρονα είναι δομημένο σε κώδικα matlab. Το ELER δημιουργήθηκε αρχικά σύμφωνα με μία μεθοδολογία ή οποία επικεντρώνεται σε κάποια συγκεκριμένα σεισμολογικά χαρακτηριστικά και δεδομένα της Ευρώ-Μεσογειακής περιοχής. Έπειτα το λογισμικό διαμορφώθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε οι παράμετροι του να έχουν την ικανότητα να προσαρμόζονται σε συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος, και να ασχολείται μόνο με σεισμικά φαινόμενα. Αυτό είναι ένα επιστέγασμα μιας κοινής προσπάθειας ερευνητών του NORSAR, του Imperial College και του Ευρωπαϊκού Μεσογειακού Σεισμολογικού Κέντρου EMSC, που ήθελαν να δημιουργήσουν ένα λογισμικό γρήγορο για την μετασεισμική εκτίμηση απωλειών. Σήμερα το ELER έχει επεκταθεί τόσο που μπορεί να εκτιμήσει πραγματικά περιστατικά και να προβλέψει απώλειες αναμενόμενες σε μελλοντικό σεισμό.



Εικόνα 10: Τα επίπεδα ανάλυσης ELER (ELER v3.0 manual, 2010)

Τα πιο σημαντικά βήματα της μεθόδου πάνω στην οποία βασίζεται το ELER παρουσιάζονται στο παραπάνω σχήμα και περιληπτικά είναι τα παρακάτω:

1. Η εκτίμηση της χωρικής κατανομής συγκεκριμένων παραμέτρων της κίνησης του εδάφους πραγματοποιείται με πληροφορίες γνωστές που έχουν να κάνουν με το μέγεθος και το επίκεντρο της σεισμικής δόνησης.

2. Προκειμένου να μεγαλώσει η αξιοπιστία των εκτιμήσεων κυρίως των θεωρητικών ενσωματώνονται δεδομένα της ισχυρής εδαφικής κίνησης (αν είναι διαθέσιμα)

3. Βαση των πληροφοριών που δίνονται για το κτηριακό απόθεμα της συγκεκριμένης περιοχής, εκτιμώνται οι βλάβες των δομικών στοιχείων και έτσι υπολογίζονται και οι απώλειες των ανθρώπων και των ζώων για ένα ή περισσότερα από τα τρία καθορισμένα επίπεδα της τρωτότητας του λογισμικού.

4. Οι οικονομικές απώλειες υπολογίζονται σύμφωνα με τις γνωστές βλάβες.

5. Εκτιμώνται ακόμα και οι βλάβες των δικτύων αγωγών διανομής.

Είναι σημαντικό ότι τα επίπεδα 0 και 1 του λογισμικού δίνουν αναλυτικές κατανομές της έντασης και ταυτόχρονα εκτιμήσεις απωλειών που έχουν να κάνουν με τις χωρικές πληροφορίες για περιοχές μη αστικές. Επίσης, το Επίπεδο 2 έχει σκοπό την εκτίμηση των υλικών και των απωλειών των έμψυχων σε περιοχές αστικές χρησιμοποιώντας μέθοδο παρόμοια με αυτή του HAZUS η οποία αναλύεται παρακάτω.

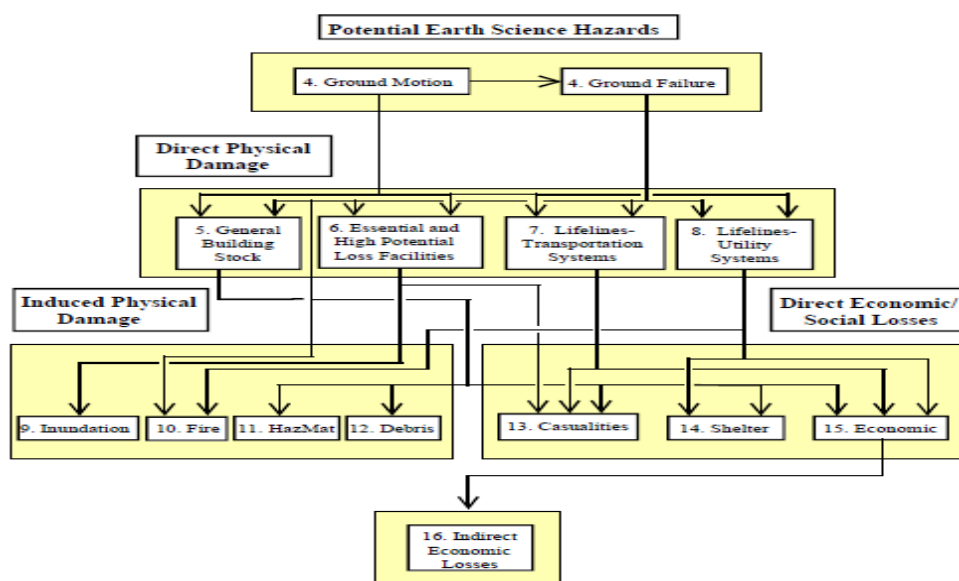
2.3.5 HAZUS-MH

Το HAZUS-MH βασίζεται σε παρόμοια μεθοδολογία με τις άλλες και αποτελεί ένα καινούργιο λογισμικό για την εκτίμηση των απωλειών εξαιτίας των φυσικών καταστροφών (σεισμοί, κυκλώνες, πλημμύρες) και δημιουργήθηκε σύμφωνα με την συνεργασία της FEMA και του Εθνικού Ινστιτούτου Οικοδομικών Επιστημών (National Institute of Building Sciences- NIBS), με σκοπό να έχει την δυνατότητα να εφαρμόζεται με τις ίδιες τυποποιημένες παραμέτρους στο σύνολο των ΗΠΑ. Αυτό το λογισμικό ανήκει σε κατηγορία κλειστού κώδικα λογισμικών και έχει να κάνει κυρίως με τοπικούς ή Πολιτειακούς θεσμικούς φορείς, χωρίς όμως να περιορίζεται η πρόσβαση του και στους ιδιώτες χρήστες.

Το HAZUS χρησιμοποιεί μία πλατφόρμα ΓΣΠ με την οποία παράγει ειδικούς χάρτες σεισμικών βλαβών και σεισμικής επικινδυνότητας, με σκοπό να αναλύσει τρία

επίπεδα πολυπλοκότητας (HAZUS MR4 Technical manual, 2003). Από αυτά τα επίπεδα, το πρώτο επίπεδο χρησιμοποιεί τα υπάρχοντα δεδομένα των εθνικών βάσεων που δίνονται με το λογισμικό. Το δεύτερο επίπεδο αφήνει να γίνει τροποποιήσει των πρώτων δεδομένων ή να γίνει εισαγωγή καινούργιων δεδομένων, ιδιαίτερων δεδομένων κυρίως τοπικών, με σκοπό ο κάθε χρήστης να μπορεί να λάβει όλο και περισσότερα εξειδικευμένα και συγχρόνως γεωγραφικά προσδιορισμένα αποτελέσματα. Στο τρίτο επίπεδο ανάλυσης το λογισμικό δίνει στον χρήστη μεγάλο βαθμό ανεξαρτησίας έτσι ώστε να μπορεί να αξιοποιήσει τεχνικές ιδιαίτερες αλλά και γνώσεις ως προς την ανάλυση και την μελέτη ειδικών φαινομένων όπως θραύση αναχώματος.

Όλα αυτά συνοδεύονται από ένα σύνολο κατηγοριοποίησης κτηρίων. Το σύνολο αυτό αποτελείται από 36 πρότυπες τυπολογίες που είναι διαμορφωμένες βάσει συγκεκριμένων πλαισιακών και δομικών χαρακτηριστικών των κτηρίων συνδυασμένες με 33 είδη χρήσεων. Το Hazus προχωράει στην ζητούμενη ανάλυση καθώς είναι εξοπλισμένο με τα εργαλεία και τις δυνατότητες αυτές. Έτσι υπολογίζει τελικά βλάβες σε κτίρια που χρησιμοποιούνται σαν κατοικία, καθώς και σε βιομηχανικές ή εμπορικές υποδομές, δίκτυα μεταφορών, δίκτυα κοινής ωφέλειας σε συνάρτηση με την ένταση της κίνησης του εδάφους η οποία προσδιορίζεται σύμφωνα με τα μεγέθη του ελαστικού φάσματος



Εικόνα 11: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας εκτίμησης σεισμικών απωλειών (HAZUS MR4 Technical manual, 2003)

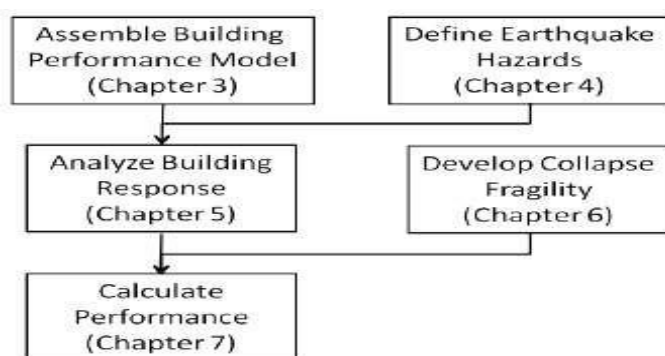
.Τα πιο σημαντικά μειονεκτήματα στην εφαρμογή του λογισμικού εμφανίζονται στον υπολογισμό χωρικών απωλειών για ένα σύνολο κτηρίων. Τα αποτελέσματα

κρίνονται από τους ερευνητές ως μέτρια σε σχέση με την ανάλυση που γίνεται στα μεμονωμένα κτίρια που τα αποτελέσματά τους είναι πιο αξιόπιστα. Επίσης η ανάλυση που γίνεται με χρήση ενσωματωμένων δεδομένων αποδίδει αποτελέσματα με μικρότερη ακρίβεια για τα δίκτυα κοινής ωφέλειας, συγκριτικά με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των κτηρίων. Μεγάλη εκτίμηση δίνεται και στον υπολογισμό χωρικών απωλειών σε μεγάλο αστικό πεδίο που αφορούν σεισμικές δονήσεις με ένταση μικρότερη των M6.0. Τέλος εκτός των παραπάνω είναι σημαντικό να επισημανθεί και η μεγάλη διάρκεια που απαιτεί η διαδικασία της γρήγορης χωρικής ανάλυσης για περιοχές μεγάλες που ολοκληρώνεται σε 1 με 2 ώρες. (HAZUS MR 4, Technical manual, 2003).

2.4 Μέθοδος αποτίμησης συμπεριφοράς και εκτίμησης των απωλειών FEMA

Η πάγια και η συνεχής ανάγκη για βελτίωση τόσο της σεισμικής συμπεριφοράς των ήδη υπάρχοντων κτηρίων όσο και του αντισεισμικού σχεδιασμού των καινούργιων κτηρίων οδήγησε την FEMA στην κατεύθυνση της έρευνας του Αντισεισμικού Σχεδιασμού με Στάθμες Επιτελεστικότητας. Το πρώτο βήμα που έγινε ήταν η ανάπτυξη μιας πρακτικής και εύχρηστης μεθόδου, βάση της οποίας είναι δυνατόν να εκτιμηθεί η συμπεριφορά ενός κτιρίου στον σεισμό κάτω από την επίδραση ενός σεισμού έχοντας υπόψιν τις αβεβαιότητες που υπάρχουν. Το ζητούμενο λοιπόν ήταν η μέθοδος αυτή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κτίριο κάθε κατασκευής, χρήσεως ή ηλικίας.

Η έρευνα αυτή άρχισε το 2001 από μια συνεργασία μίας πολυμελούς ομάδας μεγαλύτερης των 200 επιστημόνων μεταξύ αυτών ήταν η FEMA και το συμβούλιο Εφαρμοσμένης Τεχνολογίας (Applied Technology Council-ATC) η οποία προέκυψε από επεξεργασία παλαιότερων Κανονιστικών Κειμένων όπως ήταν οι FEMA 273, FEMA 349, FEMA 356) και έδωσε μια καινούργια σειρά κατευθυντηρίων οδηγιών με το όνομα ATC-58 (FEMA, 2018).



Εικόνα 12: Διάγραμμα ροής μεθόδου FEMA P-58 (FEMA, 2018)

Κύριος άξονας αυτών είναι ο αντισεισμικός σχεδιασμός ενός κτιρίου βάση της απόδοσης (Performance-Based Seismic Design - PBSD), από την οποία αποτιμάται η πιθανότητα της καταγραφής ποικίλων απωλειών σε διάφορα σεισμικά γεγονότα που ενδεχομένως πλήττουν το συγκεκριμένο κτήριο. Οι προδιαγραφόμενες πιθανότητες έχουν χαρακτήρα πιθανοτικό, αφού με αυτόν τον τρόπο προσδιορίζεται η σεισμική συμπεριφορά των συγκεκριμένων κτιρίων σε όρους πιθανών απωλειών κυρίως ανθρώπινων δηλαδή σοβαρούς έως και θανάσιμους τραυματισμούς, οικονομικών απωλειών άμεσων (δαπάνες ανακατασκευής ή επισκευής) και έμμεσων που αφορούν κυρίως τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθώς και τον απαιτούμενο χρόνο επισκευής).

2.4.1 Seismic Performance Assessment of buildings (FEMA P-58)

Τα δεδομένα που είναι απαραίτητα έτσι ώστε να εφαρμοστεί η μέθοδος αυτή αφορούν κυρίως τα στοιχεία που είναι βασικά για να γίνει ο σχεδιασμός του κτιρίου, όπου εκτιμούν την τρωτότητα των μη δομικών αλλά και των δομικών στοιχείων του. Αρχικά τα δεδομένα αυτά είναι απαραίτητο να εισάγονται σε ορισμένες από τις κατηγορίες που υπάρχουν στους παρακάτω πίνακες (χωρίς να αποκλείει την εξέταση με την χρήση στοιχείων που βρίσκονται εκτός πινάκων, ύστερα από την κατάλληλη προσαρμογή των στοιχείων αυτών) και έχουν να κάνουν ως εξής:

Το δομικό σύστημα καθώς και τα επιμέρους στοιχεία που το συνθέτουν καθώς και τα υλικά που έχουν κατασκευαστεί.

Χρήση του συγκεκριμένου κτηρίου και το αντίστοιχο μοντέλο του πληθυσμού, που περιέχουν πληροφορίες ενσωματωμένες για τα συνήθη μη δομικά στοιχεία και τις περιεχόμενες ποσότητες.

Αφού μαζευτούν όσες από τις παραπάνω πληροφορίες υπάρχουν (γι αυτές που δεν υπάρχουν γίνονται παραδοχές ή σχετικές προσαρμογές), χρησιμοποιούνται με σκοπό της δημιουργίας ενός μοντέλου του κτιρίου, το οποίο περιγράφεται παρακάτω έτσι ώστε να εκτιμηθεί η πιθανότητα εμφάνισης σεισμικών βλαβών στα μη δομικά και στα δομικά στοιχεία του. Έτσι μπορούν να υπολογιστούν οι απώλειες που είναι αναμενόμενες σε όρους κόστους, θυμάτων, κόστους και χρόνου αποκατάστασης καθώς και περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

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 diagonally 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 7:Δομικά στοιχεία κατά FEMA P-58 (FEMA, 2018)

Στο στάδιο της αποτίμησης και της ανάλυσης του κτιρίου, η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιεί τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις όπου έχουν να κάνουν με την ένταση, την περίπτωση και τον χρόνο. Η προσέγγιση της έντασης εκτιμά ότι το κτίριο καταστρέφεται από δόνηση που συμβαίνει από έναν σεισμό συγκεκριμένης έντασης. Η ένταση αυτή προσδιορίζεται με συντελεστή απόσβεσης 5% και την χρησιμοποιούμε στα κτίρια που είναι ανάλογα σχεδιασμένα με συγκεκριμένες προδιαγραφές κανονισμού. Άλλη μία προσέγγιση που είναι το σενάριο έχει να κάνει με περιπτώσεις επαναλαμβανόμενων σεισμικών κινήσεων, η ανάλυση πραγματοποιείται για μια διέγερση του σεισμού μιας συγκεκριμένης έντασης σε μια τοποθεσία συγκεκριμένη και προκύπτει από ένα η περισσότερα ρήγματα δίπλα στην περιοχή του συγκεκριμένου κτιρίου. Η προσέγγιση αυτή μοιάζει πολύ με την αρχική προσέγγισή με την διαφορά ότι έχει να κάνει με την εκδήλωση μιας συγκεκριμένης σεισμικής δόνησης και όχι έντασης συγκεκριμένης, συνδυάζοντας την με την αβεβαιότητα που προκύπτει από αυτήν. Τέλος η τελευταία προσέγγιση είναι η συμπεριφορά του σεισμού σε ένα κτίριο που εκτιμάται για κάποιο χρονικό διάστημα που επιλέγεται λόγω κάποιων αναγκών που έχει ο ιδιοκτήτης, έχοντας υπόψιν την πιθανότητα μια σεισμικής δόνησης που ίσως εκδηλωθεί σ αυτό το χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση αυτή εκτιμάται η αβεβαιότητα που προκύπτει από την εστία και το μέγεθος ενός σεισμού καθώς και από την ένταση της εδαφικής κίνησης.

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 8:Χρήσεις κτιρίων κατά FEMA P-58 (FEMA,2018)

Επιπλέον, ανεξάρτητα από την επιλεγμένη προσέγγιση, θα πρέπει να τονιστεί ότι οι απώλειες που υπολογίζονται έχουν να κάνουν με τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου, καθώς οι απώλειες εκτιμώνται στους χώρους τους εξωτερικούς ή στο ευρύτερο περιβάλλον δεν είναι το αντικείμενο αυτής της μεθόδου.

2.4.2 PACT (Performance Assessment Calculation Tool)

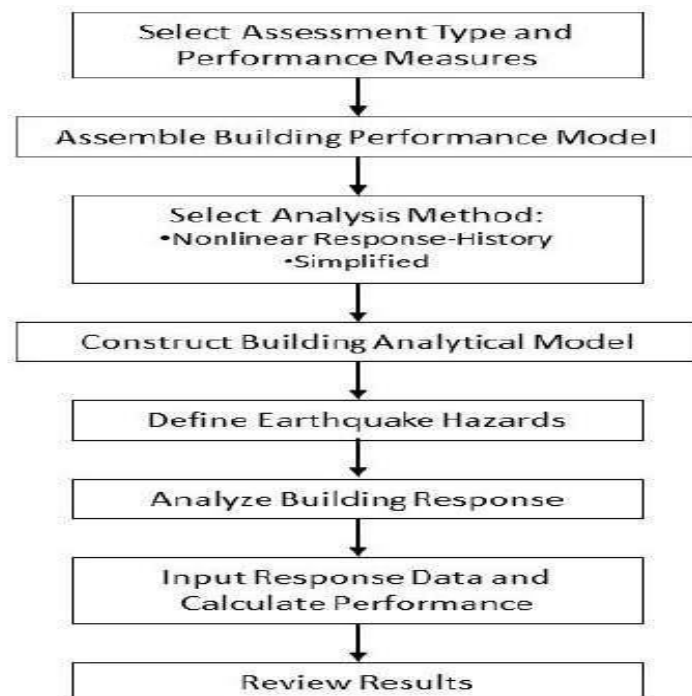
Τα στοιχεία που εμφανίζονται στους παραπάνω πίνακες έχουν μαζευτεί με άλλα παρόμοια στοιχεία κατά την διάρκεια της έρευνας αποσκοπώντας στην εύρεση αλλά και στην συσχέτιση μεταξύ της τρωτότητας αλλά και των συνεπειών για ένα αρκετά μεγάλο αριθμό δομικών συστημάτων, όπου αξιοποιήθηκαν αλλά και αναλύθηκαν σε επίπεδο κυρίως πρακτικό με την ανάπτυξη του ηλεκτρονικού εργαλείου PACT (Performance Assessment Calculation Tool), διαμέσου πιθανοτικών υπολογισμών που απαιτούνται για την εκτίμηση των απωλειών.

Αυτό το ηλεκτρονικό εργαλείο αποτελείται, από το λογισμικό, αλλά και από εφαρμογές που βοηθάνε να αναλύονται τα χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου κτηρίου και αλλάζονται οι πληροφορίες που βρίσκονται στις ενσωματωμένες βάσεις των δεδομένων και ταυτόχρονα δίνουν μια εκτίμηση τελική για την τρωτότητα αλλά και τις απώλειες που προκύπτουν.

Η συγκεκριμένη μέθοδος που γίνεται με εισαγωγή στο λογισμικό δεδομένων και ταυτόχρονα αποτελείται από αρκετά βήματα επιλογής των παραμέτρων και της

ανάλυσης του προσωμοιώματος που έχει δημιουργηθεί, τα οποία εμφανίζονται στο παρακάτω διάγραμμα της εικόνας 13.

Καθώς έχει επιλεχθεί το κτήριο που θα αναλυθεί, σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα καθώς και ακολουθώντας τις οδηγίες χρήσεως του λογισμικού, δημιουργείται ένα προσωμοίωμα. Μέσα σ αυτό υπάρχουν πληροφορίες λεπτομερείς που έχουν να κάνουν με τα βασικά χαρακτηριστικά της μορφολογίας του κτιρίου, στον καθορισμό της ποσότητας, θέσης και της τρωτότητας των δομικών και των μη δομικών στοιχείων του, καθώς επίσης και στην εκτίμηση της αναμενόμενης βλάβης. Τα αποτελέσματα της βλάβης σε συνδυασμό με την σχετική συνάρτηση της τρωτότητας που βρίσκεται μέσα στην βιβλιοθήκη του λογισμικού και εκφράζει την πιθανή κατάρρευση του κτηρίου αποτελεί και την τελική απόφαση για την διόρθωσή του.



Εικόνα 13:Ολόκληρη η διαδικασία αποτίμησης ενός κτιρίου κατά PACT

3. Επισκευές βλαβών λόγω σεισμού- Μέθοδοι πρόληψης.

3.1. Μέθοδοι επισκευών

Με τον όρο επισκευή ορίζουμε την επαναφορά των δομικών στοιχείων που έχουν υποστεί κάποια βλάβη. Στις περιπτώσεις που έχουν γίνει εκτεταμένες ή σοβαρές βλάβες είναι καλό η παρέμβαση και η επέμβαση να γίνεται με ενίσχυση της κατασκευής, ενώ σε μικρές βλάβες ή περιορισμένες γίνεται μόνο με επισκευή αυτών. Με τον όρο ενίσχυση των κατασκευών ορίζουμε το σύνολο των μέτρων που αναβαθμίζουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των κτισμάτων ή των δομικών στοιχείων όπως είναι η αντοχή, η δυσκαμψία, η πλαστιμότητα μέχρι να φτάσει στο επιθυμητό ή στο απαραίτητο επίπεδο. Για παράδειγμα να κατασκευαστούν σύμφωνα με ισχύοντες κανονισμούς έναντι των σεισμικών δράσεων του σχεδιασμού. Ένας άλλος όρος που χρησιμοποιείται συχνά και αναφέρεται κυρίως σε οποιαδήποτε απτής δύο εργασίες είναι η επέμβαση των δομικών στοιχείων. Τα υποστυλώματα παίζουν σημαντικό ρόλο στον σεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών, τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την επέμβαση στις μελέτες αποτίμησης και επανασχεδιασμού στοχεύουν σ αυτά. Τα υποστυλώματα μπορούν ή να ενισχυθούν με σκοπό την αύξηση της ικανότητας τους και την βελτίωση της συμπεριφορά τους ή να επισκευαστούν όταν έχουν βλάβη. Ποιο κάτω θα περιγράψουμε τους τρόπους που επισκευάζουμε τις βλάβες που έχει δημιουργήσει μία σεισμική δόνηση. (Πηγή: Ροβήλος, 2004; Ζαφειράκης).

3.2. Επισκευή και ενίσχυση υποστυλωμάτων

3.2.1. Επισκευή υποστυλωμάτων

Αρχικά για επισκευαστεί ένα υποστύλωμα είναι απαραίτητο να ελέγξουμε τις βλάβες αν είναι σοβαρές ή ελαφριές. Στις περιπτώσεις όπου οι βλάβες δεν είναι σοβαρές οι επισκευές συνήθως πραγματοποιούνται με κόλλες ή επισκευαστικά κονιάματα. Όταν δηλαδή στο υποστύλωμα προκύπτουν αποκολλήσεις του σκυροδέματος χωρίς να έχει δημιουργηθεί θραύση στο κλειστού πυρήνα ή ρωγμές ή λιγυσμό του οπλισμού διαμήκους στο τμήμα υποστυλώματος, οι επισκευές αυτές πραγματοποιούνται με επισκευαστικό κονίαμα ή έγχυση ρητίνης. Συγκεκριμένα οι ρητινέσεις χρησιμοποιούνται για ρωγμές απλές και το κονίαμα το επισκευαστικό χρησιμοποιείται για τις επιφανειακές αποκολλήσεις του σκυροδέματος.

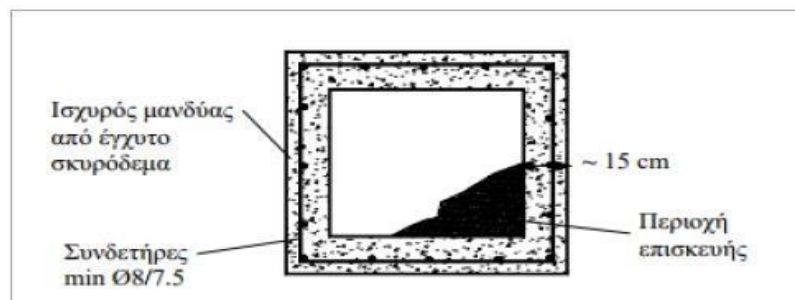


Εικόνα 14: επισκευή υποστυλώματος με ρητινενέσεις

Οι αποκαταστάσεις ίδιων διατομών γίνονται όταν υπάρχει στο υποστύλωμα μία βλάβη τοπική που έχει λίγη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος ή όταν υπάρχει σοβαρή βλάβη με ολική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος

Για να επισκευαστεί η τοπική βλάβη με μερική αποδιοργάνωση ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

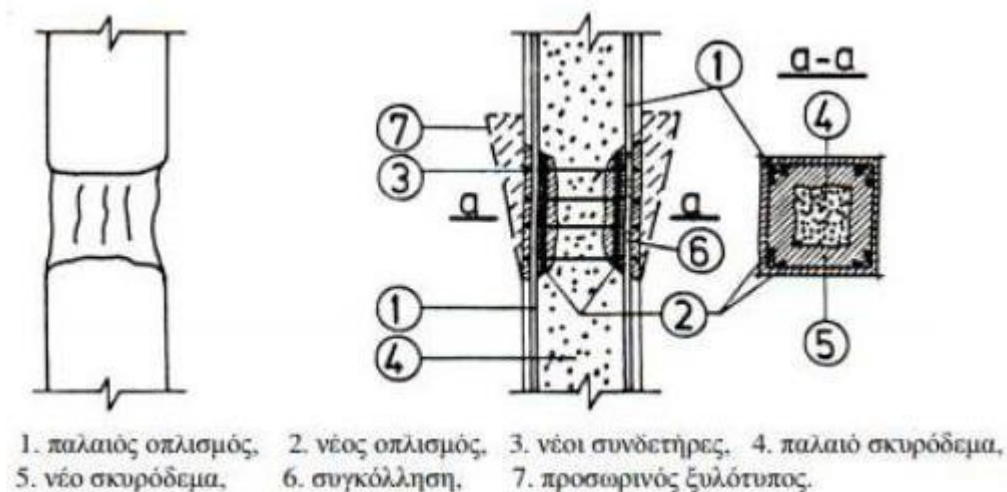
1. Αρχικά πρέπει να πραγματοποιηθεί υποστύλωση στου δοκούς που περνάνε σε όλο το μήκος των καταστραμμένων στοιχείων.
2. Στην συνέχεια γίνεται απομάκρυνση του σκυροδέματος που έχει διαταραχθεί και ταυτόχρονα πραγματοποιείται αποκάλυψη του οπλισμού.
3. Έπειτα γίνεται συγκόλληση καινούργιου οπλισμού (1 Φ 14 σε κάθε 150 mm) και σφραγισμένους συνδέσμους (min Φ 8/10).
4. Τέλος γίνεται μία διάστρωση σκυροδέματος χυτού κάτ. ελάχιστο 100 mm ή εκτοξευμένου σκυροδέματος κάτ. ελάχιστο 30 mm αποσκοπώντας στην δημιουργία του μανδύα. Υπάρχει η δυνατότητα να μπει έτοιμο ειδικό κονίαμα αντί για σκυρόδεμα.



Εικόνα 15: Επισκευή υποστυλώματος με μανδύα έγχυτο από σκυρόδεμα

Είναι σημαντικό το μήκος του μανδύα να είναι κάτ. ελάχιστο 1,5 b όπου b είναι η διάσταση της στήλης που είναι μεγαλύτερη, μεγαλύτερο κατακόρυφα από το μήκος όπου ένα υποστύλωμα εμφανίζει βλάβη. Στο μήκος αυτό μέσα, ο καινούργιος οπλισμός κολλιέται με τον παλιό σε όλη την επιφάνεια που έχει γίνει η βλάβης. Σε

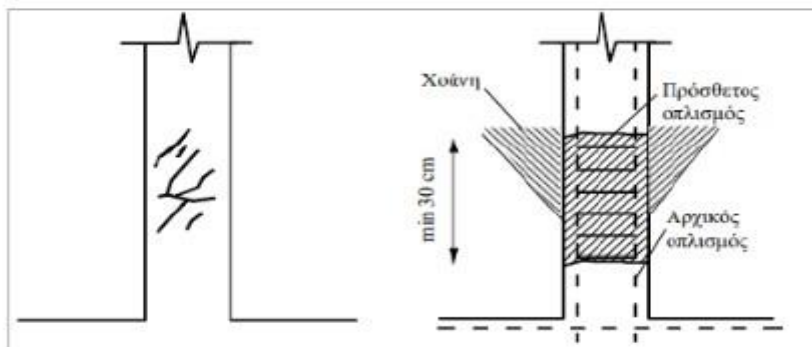
αυτή την περίπτωση οι επισκευές αυτές είναι απαραίτητες για υψηλή συνάφεια ανάμεσα στο παλιό και το καινούργιο σκυρόδεμα και είναι ιδιαίτερα σοβαρές.



Εικόνα 16: Επισκευή υποστύλματος με μερική αποδιοργάνωση της περιοχής που έχει υποστεί βλάβη.

Όταν όμως υπάρχουν σοβαρές βλάβες υπάρχει περίπτωση να συμβεί ρηγμάτωση ή πλήρη αστοχία, με σκοπό το άνοιγμα των συνδέσμων ή τον λυγισμό και την θραύση του οπλισμού που εκτείνεται διαμήκους. Στην επισκευή αυτή ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

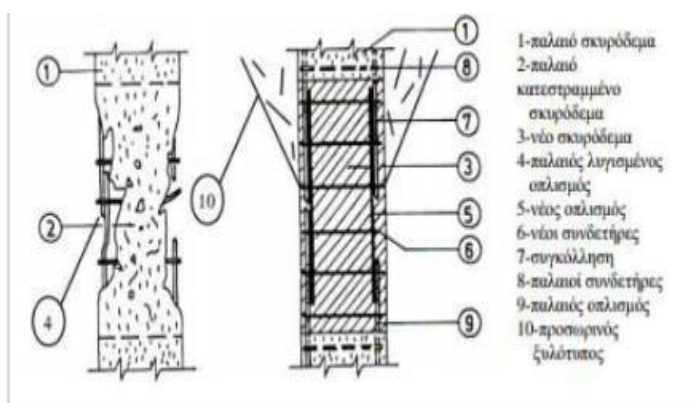
1. Υποστύλωση των δοκών που περνάνε κατά μήκος των καταστραμμένων στοιχείων.
2. Καθαίρεση πλήρης των τμημάτων ενός στοιχείου που έχουν διαταραχθεί σε ύψος μεγαλύτερο από 30 cm.
3. Έλεγχος και αν είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί ενίσχυση στον διαμήκη οπλισμό.
4. Προσθήκη συνδετήρων (στα ελαττωματικά σημεία το ελάχιστο $\Phi 8/5$ ενώ στο υπόλοιπο ύψος το ελάχιστο $\Phi 8/10$) ή σπείρες.
5. Τοποθέτηση ξυλότυπου
6. Έγχυση έτοιμου κονιάματος ή σκυροδέματος.



Εικόν

α 17:Αποκατάσταση του υποστυλώματος με αποδιοργάνωση πλήρη της περιοχής που έχει υποστεί βλάβη.

Η συγκόλληση των καινούργιων οπλισμών πάνω στους παλιούς γίνεται είτε με καβίλιες είτε με έξτρα τεμάχια έτσι ώστε ανεξάρτητα από το αν το φορτίο πηγαίνει από την παλιά στην καινούργια διατομή ή το αντίθετο σκέλος των έχτρα τεμαχίων να οδηγείται σε εφελκυσμό. Η διατομή των πρόσθετων στοιχείων είναι απαραίτητο να είναι κάτ. ελάχιστο Φ10.



Εικόνα18: Αποκατάσταση του υποστυλώματος με αποδιοργάνωση πλήρη της περιοχής που έχει υποστεί βλάβη.

Στις περιπτώσεις των ρηγματώσεων χρησιμοποιούμε κόλλες ενώ στις περιπτώσεις των επιφανειακών αποφλοιώσεων χρησιμοποιούμε επισκευαστικά κονιάματα. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται συρρικνωμένα κονιάματα με βασικό συστατικό το τσιμέντο για τις περιπτώσεις μεγαλύτερου πάχους αποφλοιώσεων ενώ για αποφλοιώσεις μικρότερου πάχους χρησιμοποιούνται ρητινοκονιάματα. Σε σοβαρές βλάβες όπως είναι η αποδιοργάνωση του σκυροδέματος ή η διάρρηξη που συνήθως προέρχεται από το άνοιγμα των συνδετήρων και το λύγισμα των διαμηκών ράβδων, μετά την επισκευή της βλάβης του υποστυλώματος, ενισχύεται.

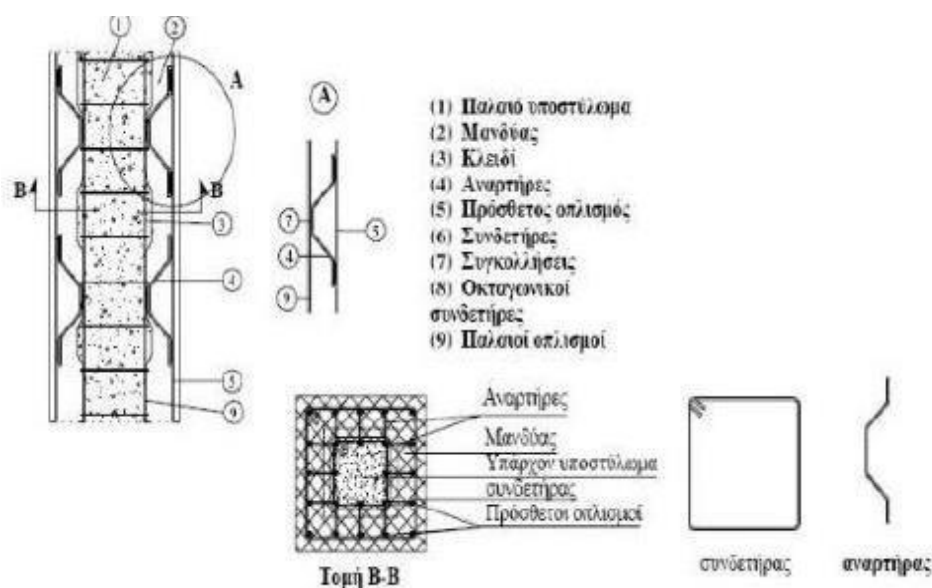
3.2.2. Ενίσχυση υποστυλωμάτων

Η ενίσχυση διακρίνεται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την αύξηση ή όχι της διατομής. Η μία κατηγορία όταν δεν έχουμε αύξηση της διατομής είναι η ενεργή περίσφιξη και η άλλη γίνεται με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος γύρω από το ενεργό στοιχείο όταν έχουμε αύξηση της διατομής. Η ενίσχυση των υποστυλωμάτων με περίσφιξη γίνεται όταν είναι απαραίτητη η αύξηση της πλαστικότητας του υποστυλώματος, όταν χρειάζεται αύξηση στην διατμητική αντοχή του σκυροδέματος έως 30% είναι καλή και τέλος όταν υπάρχει κίνδυνος στην αστοχία των κατακόρυφων οπλισμών στην υπερκάλυψη τους. Η άλλη μέθοδος, δηλαδή η ενίσχυση με μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα εφαρμόζεται στις περιπτώσεις των υποστυλωμάτων με σοβαρές βλάβες ή με μειωμένη αντοχή που πλέον είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος αύξησης της πλαστιμότητας και της δυσκαμψίας. Έτσι με την μέθοδο αυτή αυξάνεται η διατομή των υποστυλωμάτων με καινούργιο σκυρόδεμα καθώς και νέους εγκάρσιους και διαμήκεις οπλισμούς περιμετρικά του υποστυλώματος. Οι μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος διακρίνονται σε 3 κατηγορίες: α) από έγχυτο σκυρόδεμα (είναι απαραίτητος ο ξυλότυπος και οι μανδύες είναι μεγάλου πάχους $d > 80\text{mm}$) β) από σκυρόδεμα εκτοξευμένο (δεν χρειάζεται ξυλότυπος, για $d < 100\text{mm}$) και τέλος από ειδικά τσιμεντοκονιάματα ή σκυροδέματα (αρκετά μεγάλο κόστος και το χρησιμοποιούμε όταν υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις). (Πηγή: Ροβήλος, 2004).



Εικόνα 19: Ενίσχυση και επισκευή υποστυλώματος (eclassteicrete.gr)

Η μέθοδος με σκοπό την ενίσχυση των υποστυλωμάτων που είναι η πιο συνηθισμένη είναι αυτή με την χρήση μανδύων από οπλισμένο σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται κυρίως στα υποστυλώματα που δεν έχουν αρκετή ολκιμότητα, αντοχή και δυσκαμψία. Επιπλέον αυτή η μέθοδος μεγαλώνει την διατομή του υποστυλώματος προσθέτοντας μια καινούργια στρώση σκυροδέματος και καινούργιων εγκάρσιων και διαμήκων ράβδων οπλισμού που δημιουργούν ένα περίβλημά γύρω από το παλιό υποστυλόμε. Έτσι με τον τρόπο αυτό το κέλυφος αυτό περιβάλλει τα στοιχεία που υπάρχουν και οδηγεί στην αύξηση της ακαμψίας και στην μείωση της πλαστιμότητας.



Εικόνα 20: Μανδύας από οπλισμένο σκυρόδεμα

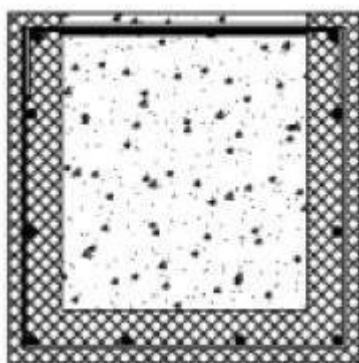
Οι μέθοδοι επέμβασης υπάρχει πιθανότητα να είναι ένας γενικός μανδύας που να βρίσκεται σε όλο το μήκος του υποστυλώματος ή ένας μανδύας τοπικός που εκτείνεται μόνο σε ένα μικρό τμήμα του υποστυλώματος. Επίσης μπορεί το υποστυλώμα να είναι κλειστό και να καλύπτει ολόκληρη την διατομή ή να είναι ανοιχτό και να καλύπτει ένα μικρό μέρος της διατομής όπου εμφανίζονται στα υποστυλώματα που είναι στα όρια μεταξύ άλλων κτιρίων.

Εάν ο μανδύας φτάνει μέχρι το ύψος του ορόφου, έτσι μεγαλώνει η διατμητική και η αξονική αντοχή του υποστυλώματος που όμως δεν αυξάνεται η ικανότητα κάμψης στους κόμβους. Σ αυτήν την περίπτωση προτείνεται να γίνεται η διάτρηση του μανδύα που να διεισδύει στην οροφή και στο δάπεδο του ορόφου όπου είναι απαραίτητο.

Στην συνηθέστερη περίπτωση μιας κατασκευής χρησιμοποιώντας μανδύα περιμετρικά, η σύνδεση καινούργιου και παλαιού σκυροδέματος γίνεται με εκτράχυνση της παλιάς επιφάνειας έτσι ώστε να υπάρχει αρκετή συνάφεια καθώς ορισμένες φορές γίνεται με την διαδικασία της συγκόλλησης των οπλισμών μεταξύ των παλιών και των καινούργιων ράβδων που εκτείνονται διαμήκους. Αυτή η σύνδεση είναι σημαντική στην περίπτωση που συμβαίνει πλήρης αποδιοργάνωση του υποστυλώματος ή είναι πολύ μεγάλο το ύψος του και έτσι κινδυνεύει να γίνει λυγισμός του οπλισμού που υπάρχει ενδιάμεσα.

Οι κλειστοί και οι ανοιχτοί μανδύες φτιάχνονται αναλόγως την μορφή που έχουν τα συγκεκριμένα στοιχεία. Πιο συγκεκριμένα η μέθοδος του ανοικτού κελύφους χρησιμοποιείται όταν το περίβλημα δεν έχει την δυνατότητα να καλύψει όλη την

διατομή, π.χ. στα τοιχώματα που βρίσκονται ενδιάμεσα και στους αρμούς. Σ αυτήν την περίπτωση ο μανδύας μπορεί να καλύψει τις τρεις μεριές του υποστυλώματος, κάτι που χρειάζεται αρκετή προσοχή στην διαδικασία της προετοιμασίας του αρμού καθώς και στην συγκόλληση του νέου και του παλαιού αρμού. Στην περίπτωση που η μία πλευρά έχει σύνορο ένα παρακείμενο όριο, είναι απαραίτητα κάποια πρόσθετα μέτρα που στοχεύουν στην προστασία του καινούργιου συνδέσμου από την διάβρωση, αφού ο οπλισμός δεν είναι μέσα στο σκυρόδεμα. Σε άλλη περίπτωση που το υπόστρωμα περιλαμβάνει μία ή δύο πλευρές του υποστυλώματος που αυτό αποτελεί την προέκταση του υποστυλώματος.



Εικόνα 21: Ανοιχτός τύπος μανδύα

Στις περιπτώσεις μονόπλευρης επένδυσης χρειάζεται αρκετή προσοχή στην σύνδεση του καινούργιου τμήματος και του παλιού, η οποία γίνεται με συγκόλληση με πυκνούς συνδετήρες στον παλιό οπλισμό.

Η ενίσχυση υποστυλωμάτων με περίσφιγξη χρησιμοποιείται με σκοπό της αύξησης της διατμητικής αντοχής και της πλαστιμότητας του υποστυλώματος χωρίς να προκαλεί αύξηση στην διατομή του στοιχείου. Επίσης χρησιμοποιείται όταν κινδυνεύει η ακεραιότητα του κατακόρυφου επικαλυπτόμενου οπλισμού των υποστυλωμάτων ή όταν είναι αναγκαίο να αυξηθεί η αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος.

Ο οπλισμός με περίσφιγξη του υποστυλώματος επιτυγχάνεται με την χρησιμοποίηση ταινιών από ινοπλισμένο πολυμερές ή με την χρησιμοποίηση σφικτήρων καθώς και με την χρήση προεκτεταμένων χαλύβδινων σφικτήρων ή σε μορφή πακέτου σφικτήρων ινοπλισμένου πολυμερούς. Τα επικολλητά κολλάρα είναι ελάσματα από μέταλλο με πάχος 1-2 mm και μπαίνουν σε ολόκληρη τη διατομή της στήλης που βρίσκεται ο οπλισμός. Επίσης είναι σημαντική η προέκταση του κολάρου από μέταλλο καθώς αυξάνει την αποτελεσματικότητα του σφικτήρα.

Με άλλη μία μέθοδος που επιτυγχάνεται ο οπλισμός με περίσφιγξη είναι με την χρήση σπειροειδούς οπλισμού από ινοπλισμένο πολυμερές ή από μεταλλικό έλασμα. Ο σπειροειδής οπλισμός προκύπτει από ελάσματα μεταλλικής κατασκευής

και τοποθετείται στα υποστυλώματα που έχουν κυκλική διατομή. Συγκεκριμένα ο σπειροειδής οπλισμός μπαίνει εξωτερικά στο υποστύλωμα και περιβάλλει όλο το στοιχείο.



Εικόνα 22: Περίσφιξη με οπλισμό σπειροειδή.

Άλλη μία μέθοδος για τον οπλισμό περίσφιξης είναι η χρήση μανδύα από χαλύβδινη πλάκα στις πλευρές του υποστυλώματος ή από ινοπλισμένο πολυμερές. Τα φύλλα του ινοπλισμένου πολυμερούς είναι ο καλύτερος τρόπος για την περίσφιξη των κατακόρυφων στοιχείων. Οι ίνες στα φύλλα αυτά τοποθετούνται οριζόντια κάτι που οδηγεί στην αύξηση της διατμητικής αντοχής του στοιχείου καθώς και στον εγκιβωτισμό. Τα φύλλα που έχουν κατεύθυνση κάθετη στις ίνες τοποθετούνται με σκοπό να μεγαλώσει η αντοχή σε κάμψη κάθε στοιχείου.

Ακόμα η περίσφιξη μπορεί να γίνει με ολόσωμους μανδύες από μέταλλο. Οι ολόσωμοι μανδύες τοποθετούνται στα κυκλικά υποστυλώματα. Ενδιάμεσα στο περίβλημα και στο υφιστάμενο στοιχείο αφήνεται ένα κενό δακτυλιοειδές το οποίο το γεμίζουμε με σκυρόδεμα. Στις περιπτώσεις των ορθογωνίων υποστυλωμάτων τοποθετείται ένα κέλυφος ελλειπτικό. Επίσης, η συγκεκριμένη μέθοδος οπλισμό δεν αυξάνει μόνο την αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος, την αντοχή σε διάτμηση και κάμψη των υποστυλωμάτων σύγχρονος βοηθάει στην πλαστιμότητα των στοιχείων.

Και τέλος η περίσφιξη με χρήση μεταλλικού κλωβού είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος. Η μέθοδος αυτή δίνει την δυνατότητα μιας προσωρινής περίσφιξης για τα υποστυλώματα που αδυνατούν να αντέξουν τα αξονικά φορτία, με αποτέλεσμα σε περίπτωση βλάβης να έχουν την δυνατότητα να απορροφούν τα κατακόρυφα φορτία. Έτσι τοποθετούνται τέσσερις μεταλλικές κατακόρυφες και γωνιακές πλάκες πάνω στο στοιχείο που έχει καταστραφεί και γίνεται σύσφιξη με κλειδιά ειδικά ώστε να μπορέσει ο στύλος να στερεωθεί στην θέση του. Τα στηρίγματα που είναι γωνιακά στερεώνονται στην κατασκευή με βίδωμα ή με συγκόλληση με χημικά συνδεδεμένα

αγκύρια. Οι μεταλλικές πλάκες που βρίσκονται οριζόντια κολλιούνται πάνω στις γωνιακές πλάκες. Έτσι οι γωνιακές πλάκες έχουν την δυνατότητα να προθερμαθούν, να αποψυχθούν και συρρικνωθούν.

Εκεί που το μεταλλικό περίβλημα συνδέεται με το σκυρόδεμα τα κενά που σχηματίζονται γεμίζουν με εποξειδική κόλλα ή με μη συρρικνωμένο τσιμεντοκονίαμα. Στο τέλος η επιφάνεια κτίζεται με ανθεκτικό τσιμεντοκονίαμα και ενισχυμένο με ένα πλέγμα ελαφρύ και δεν είναι αναγκαία η χρησιμοποίηση εκτοξευμένου σκυροδέματος. Σε περίπτωση που το ύψος των υποστυλωμάτων είναι μικρό δηλαδή ο λόγος $h/d \leq 3$ μπορεί να τοποθετηθούν χαλύβδινες πλάκες αντί για ελάσματα μεταλλικά. Έτσι το πάχος των μεταλλικών ελασμάτων αντιστοιχεί με αυτό των γωνιακών και το πλάτος αντιστοιχεί μεταξύ των 25 μέχρι και 60mm. Η απόσταση που έχουν μεταξύ τους δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη του μισού της διάστασης της ελάχιστης διατομής ή των 15 cm. Αυτό που είναι μικρότερο.

3.3. Επισκευή και ενίσχυση δοκών

3.3.1. Επισκευή δοκών

Οι βλάβες που προκύπτουν από μία σεισμική δόνηση κατά κανόνα επικεντρώνονται στην περιοχή του κόμβου δοκού και του υποστυλώματος. Στις περιπτώσεις αυτές ή παρέμβαση στις δοκούς αποτελεί ένα κύριο μέρος στο ευρύτερο σχέδιο των επεμβάσεων που αποτελείται από κόμβους καθώς και κατακόρυφα στοιχεία που συντρέχουν πάνω σ αυτούς επέμβαση που γίνεται αποτελείται από επισκευή των βλαβών όπου κρίνεται απαραίτητο και συγχρόνως από την ενίσχυση της δοκού. Συγκεκριμένα για να γίνει βελτίωση των ιδιοτήτων της δοκού. Σκοπός είναι ή αποκατάσταση των χαρακτηριστικών της που είχαν πριν γίνουν οι βλάβες, κυρίως ότι έχει να κάνει με την αντοχή και με την δυσκαμψία. Η μέθοδος που εφαρμόζεται για την επισκευή έχει να κάνει με το πόσο μεγάλη βλάβη έχει γίνει στην δοκό.

Στην περίπτωση που η βλάβη της δοκού είναι ελαφριάς μορφής, η επισκευή της πραγματοποιείται με την συγκόλληση των ρωγμών με ρητίνη εποξειδική. Στην περίπτωση που η δοκός έχει πάθει τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος σε μικρή έκταση, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία με τα παρακάτω βήματα: 1. Υποστήλωση της δοκού 2. Αφαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος 3. Εφαρμογή στην εξωτερική μεριά της δοκού ένα ελαφρύ δομικό πλέγμα 4. ενίσχυση της δοκού με μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Πολύ συχνά πραγματοποιείται η ενίσχυση της δοκού με μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Πριν αρχίσουμε την κατασκευή του μανδύα είναι απαραίτητη: 1. το σπάσιμο της πλάκας στη περιοχή που θα εφαρμοστεί ο μανδύας 2. η εκτράχυνση της επιφάνειας της δοκού που συνδέεται με αυτόν. Έπειτα μπαίνουν οπλισμοί διαμήκης καθώς και συνδετήρες. Είναι απαραίτητο καθώς κατασκευάζεται ο μανδύας να φτιάχνεται με εκτοξευμένο ή έγχυτο σκυρόδεμα. Στις περιπτώσεις που έχει συμβεί ολική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος τμήματος της δοκού που συνδέεται με βλάβες τόσο του εγκάρσιου όσο και του διαμήκους οπλισμού, η μέθοδος που γίνεται είναι η καθαίρεση και η

αποκατάσταση ίδιας διατομής:1.Υποστύλωση της δοκού 2.Αφαίρεση του σκυροδέματος που είναι αποδιοργανωμένο ολόκληρου του τμήματος της δοκού και ταυτόχρονα η διατομή που μένει καθαρίζεται.3.Έλεγχος του διαμήκους οπλισμού και ενίσχυση του σε περίπτωση που είναι απαραίτητη με ηλεκτροσυγκόλληση καινούργιων ράβδων 4.Απομάκρυνση των καταστραμμένων και εφαρμογή καινούργιων πυκνών συνδετήρων 5.Διαμόρφωση των παρειών του παλιού σκυροδέματος 6.Εφαρμογή ξυλότυπου 7.Σκυροδέτηση του καταστραμμένου τμήματος με σκυρόδεμα έγχυτο ή διάστρωση εγκιβωτισμένου σκυροδέματος (pre-packed concrete).



Εικόνα 23:Ενίσχυση και επισκευή δοκού(eclassteicrete.gr)

3.3.2. Ενίσχυση δοκών

Για να γίνει σωστά η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ενίσχυσης μίας δοκού έχει να κάνει με τον στόχο που επιδιώκεται. Ο πιο συνηθισμένος λόγος ενίσχυσης είναι η αύξηση των φορτίων που παραλαμβάνει η δοκός εξαιτίας της αλλαγής στην χρήση του κτιρίου. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση μιας δοκού είναι οι παρακάτω:

- Ενίσχυση σε κάμψη με επιπλέον στρώσεις σκυροδέματος
- Ενίσχυση με προσθήκη καινούργιων μεταλλικών μελών
- Ενίσχυση με μείωση του Ανοίγματος της δοκού
- Ενίσχυση με προσθήκη κοχλιωμένου Εφελκυσμένου Οπλισμού
- Ενίσχυση Δοκών σε Διάτμηση
- Ενίσχυση με προσθήκη Επικολλητών Χαλύβδινων Ελασμάτων
- Ενίσχυση Δοκών με Μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα

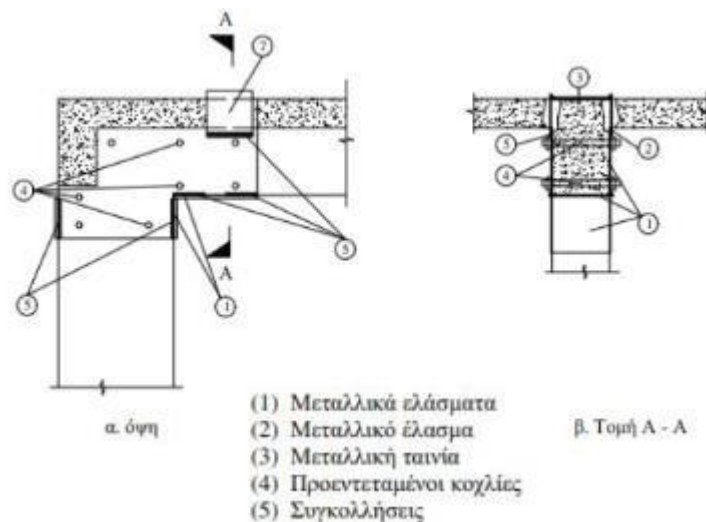
Η πιο διαδεδομένη και αποτελεσματική μέθοδος για την ενίσχυση δοκών είναι αυτή με μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο μανδύας αυτός είναι η συνέχεια του μανδύα που τον έχουμε χρησιμοποιήσει για την ενίσχυση των υποστυλωμάτων. Η μέθοδος αυτή έχει την δυνατότητα να εφαρμοστεί μόνο σε κόμβους τοπικά.

Άλλη μία μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ενίσχυση των κόμβων στήριξης των δοκών είναι η χρήση κολλάρων ή σφινγκτήρων εγκάρσιων. Με την

μέθοδο αυτή η περιοχή του κόμβου συνήθως ασφαρίζεται με την μηχανική σύσφιξη και την τοποθέτηση των εγκάρσιων σφυγκτήρων. Επίσης είναι δυνατόν να τοποθετηθούν δύο σφυγκτήρες η κολλάρα οριζόντια στο τμήμα του υποστυλώματος και να κολληθούν στους σφυγκτήρες τους εγκάρσιους με σκοπό να σταθεροποιηθεί το σύστημα περίσφιξης. Όλη η περιοχή του κόμβου είναι δυνατόν να καλυφθεί με ένα περίβλημα από χυτό ή εκτοξευμένο σκυρόδεμα που είναι ενισχυμένο με ένα πλέγμα ελαφρύ από χάλυβα ανοξείδωτο. Ορισμένες φορές η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται συνδυαστικά με τον μανδύα που είναι φτιαγμένος από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αυτός ο συνδυασμός προκαλεί πολύ υψηλό βαθμό ενίσχυσης στον κόμβο. Το πρόβλημα όμως αυτής της μεθόδου είναι ότι υπάρχουν ταυτόχρονα τέσσερις δοκοί σε έναν κόμβο, οι δοκοί που είναι εγκάρσιες είναι απαραίτητο να διατηρηθούν και να διασταυρωθούν, συγχρόνως οι διατομές των υποστυλωμάτων είναι απαραίτητο να σχεδιαστούν ξανά έτσι ώστε να έχουν την δυνατότητα να χωρέσουν οι στρογγυλές ράβδοι. Αυτός είναι ο λόγος που η μέθοδος αυτή δεν εφαρμόζεται σε τέτοιες περιπτώσεις.

Στις περιπτώσεις που υπάρχουν εξωτερικοί κόμβοι είναι πολύ δύσκολο να γίνει η διάγνωση της αιτίας που προκάλεσε την βλάβη, γι αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται η μέθοδος της καμπούρας. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την επιμήκυνση των δοκών ή στις περιπτώσεις που έχουμε ανώτερους ορόφους περιλαμβάνει την επιμήκυνση δοκών και υποστυλωμάτων. Τα άκρα του οπλισμού που βρίσκεται διαμήκους αποκαλύπτονται και πάνω από αυτά συγκολλάτε ένα καινούργιο κομμάτι οπλισμού σε μήκος μεγαλύτερο από 200 mm του εξωτερικού άκρου της διασταύρωσης. Έστερα μπαίνουν συνδετήρες S500 Φ8/50 πυκνοί. Η μέθοδος αυτή ονομάστηκε καμπούρα εξαιτίας της μορφής της. Στην συνέχεια η καμπούρα μπορεί να ενωθεί με μανδύα από σκυρόδεμα εκτοξευμένο. Επίσης η επέκταση των στοιχείων συγκεκριμένα των δοκών και των υποστυλωμάτων δίνει μία σταθερότητα στην θέση των κολλάρων και ενισχύει την αγκύρωση του οπλισμού των υποστυλωμάτων και των δοκών που συγκλίνουν στους κόμβους.

Άλλη μία τεχνική για την ενίσχυση των κόμβων είναι η επικόλληση φύλλων από χάλυβα. Όταν χρησιμοποιούμε την τεχνολογία χαλύβδινων ελασμάτων δίνει φοβερά πλεονεκτήματα στην ενίσχυση των κόμβων. Ουσιαστικά είναι μία τεχνολογία που ενισχύει τους κόμβους χωρίς να μεταβάλλεται το μέγεθος του κόμβου. Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει την επέκταση των πλακών από χάλυβα και στις δύο πλευρές του κόμβου και σε δοκούς και υποστυλώματα παρακείμενα για μήκος τουλάχιστον ίδιο με το αντίστοιχο πλάτος του κόμβου.



Εικόνα 24:Ενίσχυση κόμβου ελάσματα από χάλυβά κολλητά

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι οι πλάκες που συνδέονται με τις δοκούς που υπάρχουν γίνεται με συγκολλητική σύνδεση, όμως χρησιμοποιούνται επίσης ντίζες και βίδες για την σύσφιξη των πλακών στα πλευρικά τοιχώματα που βρίσκονται απέναντι. Το πάχος των πλακών πρέπει να είναι τουλάχιστον 4,0 mm και ενισχύονται με ντίζες και βίδες με σκοπό να αποφευχθούν προβλήματα πρόσφυσης.

Τέλος μπορεί να γίνει η ενίσχυση δοκών με χρήση φύλλων από ινοπλισμένο πολυμερές. Αυτή η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι τα φύλλα μπορούν να τοποθετηθούν εύκολα σε δύσκολες περιοχές των κόμβων. Έτσι αυτά τα φύλλα στερεώνονται και στους κόμβους και στα υποστυλώματα όπως γράφεται στην εφαρμογή των χαλύβδινων πλακών.

3.4. Επισκευή και ενίσχυση Τοιχωμάτων

Τα τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα τα χρησιμοποιούμε συχνά στις κατασκευές σαν ένα κύριο μέσο αντίστασης έναντι του σεισμού αλλά και των φορτίων του ανέμου. Τα τοιχώματα είναι στενά συνδεδεμένα με το πλαισιακό σύστημα δοκών υποστυλωμάτων (δυναμικό σύστημα) καθώς η δυσκαμψία η αξονική των πατωμάτων επιβάλλει μετακινήσεις οριζόντιες στο σύστημα στις στάθμες των ορόφων. Σε μια κατασκευή για να επισκευαστούν σωστά τα τοιχώματα είναι απαραίτητο να κρίνουμε τις βλάβες που έχουν προκύψει από τον σεισμό.

3.4.1 Επισκευή Τοιχωμάτων

Συνήθως για την επισκευή τοιχωμάτων χρησιμοποιούνται όμοιες τεχνικές όπως των υποστυλωμάτων. Στις περιπτώσεις απλών ρηγματώσεων η επισκευή γίνεται με εποξειδική ρητίνη που όμως τις πιο πολλές φορές δεν αρκεί και είναι απαραίτητη η ενίσχυση του τοιχώματος.

3.4.2 Ενίσχυση Τοιχωμάτων

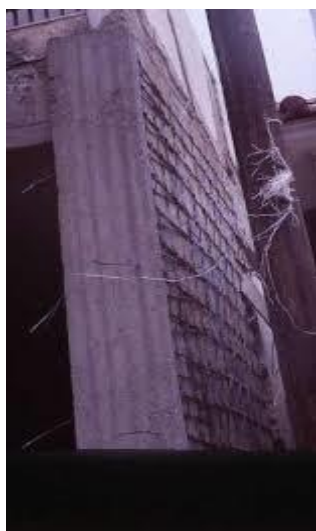
Στην περίπτωση που έχει γίνει αποδιοργάνωση του σκυροδέματος γίνονται οι παρακάτω εργασίες με σκοπό να επισκευαστούν οι βλάβες: 1. Υποσύλωση-Αφαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος όσο γίνεται 2.Αντικατάσταση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος με έτοιμο κονίαμα ή έγχυτο σκυρόδεμα.3.Εφαρμογή στρώσεων από σύνθετο υλικό στις δύο παρειές του στοιχείου. Για να γίνει ενίσχυση των τοιχωμάτων είναι δυνατόν να εφαρμοστούν οι ίδιες τεχνικές που γίνονται και στα υποστυλώματα, δηλαδή η τεχνική της περίσφιξης των τοιχωμάτων και η τεχνική των μανδύων με οπλισμένο σκυρόδεμα με τις κατάλληλες προσαρμογές. Η πρώτη τεχνική δηλαδή η τεχνική της περίσφιξης δεν συνιστάται καθώς ο μεγάλος λόγος πλευρών τους δεν δίνει αρκετή απόδοση της περίσφιξης. Από όλες τις διαδικασίες της τεχνικής που είναι εφικτές, ξεχωρίζει αυτή του μεταλλικού κλωβού ή οποία είναι χρήσιμη για τους παρακάτω λόγους:

- Η μικρή απόδοση της περίσφιξης είναι δυνατόν να αυξηθεί με την βοήθεια διαμπερών μεταλλικών συνδέσμων σχήματος Z ή Π ,που συγκολλούνται στα απέναντι μεταλλικά ελάσματα των κλωβών. Η απόσταση μεταξύ των μεταλλικών συνδέσμων είναι περίπου 300 mm και το κενό των οπών που υπάρχει μεταξύ των τοιχωμάτων και των συνδέσμων γεμίζει με εποξειδική ρητίνη.
- Η τεχνική αυτή είναι αποτελεσματική για την ανάληψη κατακόρυφων φορτίων σε τοιχώματα που εξαιτίας των σοβαρών βλαβών δεν έχουν την δυνατότητα να μεταφέρουν τα αξονικά τους φορτία.
- Η τεχνική δίνει μεγάλη βάση στην ανάληψη τεμνουσών δυνάμεων

Ένας διαφορετικός τρόπος ενίσχυσης τοιχωμάτων είναι αυτό της ενίσχυσης που γίνεται με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος. Αυτή η τεχνική των μανδύων είναι η πιο γνωστή και η πιο αποτελεσματική για την αύξηση της ενίσχυσης των τοιχωμάτων. Εξαιτίας όμως του μεγάλου μήκους κάποιας διάστασης, ο μανδύας δεν έχει μορφή κλειστή με αποτέλεσμα να γίνεται μια μονόπλευρη ή δίπλευρη αύξηση του πάχους του τοιχώματος ή έχει να κάνει με την ενίσχυση των άκρων τους. Η πιο διαδεδομένη μορφή του μανδύα είναι αυτή που ο μανδύας περιβάλλει το παλιό τοίχωμα αφού μόνο έτσι έχουν την δυνατότητα να ικανοποιηθούν οι περισσότερες απαιτήσεις που έχουν οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί. Η εφαρμογή αυτής της τεχνικής που έχει να κάνει με την προετοιμασία της επιφάνειας καθώς και με την τοποθέτηση των καινούργιων οπλισμών είναι ίδια ακριβώς με την τεχνική των υποστυλωμάτων. Επιπλέον το νέο σκυρόδεμα έχει την δυνατότητα να είναι είτε έγχυτο είτε εκτοξευμένο. Τέλος, πρέπει να επισημανθεί ότι στην ενίσχυση των τοιχωμάτων είναι απαραίτητη η αντοχή του σκυροδέματος του μανδύα να είναι μεγαλύτερη από αυτή του πρώτου τοιχώματος κατά μία κατηγορία αφού και στους μονόπλευρούς μανδύες είναι καλύτερο να τοποθετούνται δίδυμα βλήτρα σε σχήμα Z. Οι αποστάσεις των βλητρών που έχουν πρέπει να είναι μέχρι 60 cm και στις δύο διευθύνσεις. (Παπαστεργίου & Σπυροπούλου, 2000)



Εικόνα 25: Ενίσχυση και επισκευή τοιχώματος
(Πηγή: http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/?page_id=1026)



Εικόνα 26: Ενίσχυση και επισκευή τοιχώματος
(Πηγή: http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/?page_id=1026)

3.5. Επισκευή ενίσχυση Δοκών/Πλακών

Σε βλάβη πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα παίζει σημαντικό ρόλο αν η βλάβη που έγινε είναι σοβαρή ή όχι. Οι βλάβες που προκαλούνται από σεισμούς επικεντρώνονται συνήθως στα σημεία συνδέσεις των δοκών και των υποστυλωμάτων. Έτσι οι επεμβάσεις που γίνονται σε δοκούς παίζουν σημαντικό ρόλο στην επέμβαση που γίνεται συνολικά και κυρίως στις συνδέσεις και στα κατακόρυφα στοιχεία.

Στις βλάβες ελαφριάς μορφής για την επισκευή τους χρησιμοποιούνται ενέσεις κόλλας ή επισκευαστικά κονιάματα, όμως οι λύσεις αυτές δεν εφαρμόζονται όταν πρέπει να αντιμετωπιστούν οι βαριές βλάβες και έτσι είναι απαραίτητη η τεχνική αποκατάσταση ίσης διατομής. Όπου κριθεί απαραίτητο γίνεται ενίσχυση των πλακών για να προκύπτουν καλύτερα αποτελέσματα. Η πιο συχνή μέθοδος που εφαρμόζεται για να γίνουν ισχυρές οι ενισχύσεις στις πλάκες στο εφελκυσμένο πέλμα, όμως κάποιες φορές η καμπτική ενίσχυση γίνεται με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος στο θλιβόμενο πέλμα.

3.5.1 Επισκευή Δοκών/Πλακών

Οι επισκευές των δοκών έχουν σκοπό να αποκαταστήσουν τις ιδιότητες που είχαν αρχικά οι δοκοί που έχουν υποστεί βλάβες. Οι επισκευές των δοκών έχουν να κάνουν με την έκταση που έχει η βλάβη του κάθε στοιχείου. Στην περίπτωση που η βλάβη είναι μικρή, οι ρωγμές κολλιούνται με ρητίνη εποξειδική. Ενώ πάλι σε περίπτωση των ρωγμών που συνδυάζονται με αποφλοίωση σκυροδέματος, αυτή επισκευάζεται με κονίαμα επισκευαστικό. Τι πιο πολλές φορές το κονίαμα που επιλέγεται έχει βάση την ρητίνη, όμως για μεγαλύτερο βάθος αποφλοίωσης είναι προτιμότερο τα κονιάματα να έχουν βάση το τσιμέντο που δεν δημιουργούν ρωγμές.

Σε περίπτωση που οι δοκοί έχουν αστοχίες τοπικές του σκυροδέματος και μικρή έκταση για την επισκευή ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

1. Υποστύλωση της δοκού
2. Αφαίρεση του σκυροδέματος που έχει φθαρεί
3. Μπαίνει δομικό πλέγμα που είναι ελαφρύ στην πλευρά των δοκών που βρίσκεται εξωτερικά.
4. Έτσι πραγματοποιείται η κατασκευή ενός μανδύα με έγχυτο ή εκτοξευμένο σκυρόδεμα.

Τις πιο πολλές φορές αντί να τοποθετηθεί πλέγμα για την επισκευή των στοιχείων που έχουν καταστραφεί, ταυτόχρονα επιλέγεται να γίνει ενίσχυση της δοκού με επένδυση από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η πλάκα είναι απαραίτητο να αφαιρεθεί στην περιοχή που θα τοποθετηθεί ο μανδύας πριν κατασκευαστεί και επίσης να εκτραχύνει την επιφάνεια της δοκού που βρίσκεται εξωτερικά που αυτή θα συνδεθεί με τον μανδύα. Στην συνέχεια, τοποθετούνται οπλισμοί και συνδετήρες κατά μήκος. Στην κατασκευή του μανδύα βάζουμε εκτοξευμένο ή έγχυτο σκυρόδεμα. Η σύνδεση της υφιστάμενης διατομής σκυροδέματος με τον μανδύα επιτυγχάνεται

είτε με τους συνδετήρες που στερεώνονται σε οπές εγκάρσιες που ανοίγονται εκεί που το πλαίσιο της δοκού είναι ενισχυμένο είτε διαμέσου των χημικών αγκυριών. Σε περίπτωση που το πάχος της πλάκας αυξάνεται με την ενίσχυση της δοκού, οι συνδετήρες για τη σύνδεση των καινούργιων και παλιών στοιχείων θα περιβάλλουν όλη την ενισχυμένη δοκό.

Στην περίπτωση που έχουμε πλήρης αποδιοργάνωση της δοκού και ο εγκάρσιος αλλά και ο διαμήκης οπλισμός έχει ζημιές, τότε ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- 1.Υποστύλωση της δοκού
- 2.Αφαιρείται όλο το σκυρόδεμα που έχει βλάβη από την δοκό και ταυτόχρονα καθαρίζεται το υπόλοιπο τμήμα
- 3.Ελέγχουμε τον οπλισμό που βρίσκεται διαμήκη και αν χρειάζεται το ηλεκτροσυγκολούμε με καινούργιο οπλισμό.
- 4.Αφαιρούνται όλα τα σπασμένα τμήματα και μπαίνουν καινούργιοι πυκνοί συνδετήρες.
- 5.Διαμορφώνονται οι πλευρές από το παλιά σκυρόδεμα
- 6.Μπαίνει ο ξυλότυπος
- 7.Σκυροδετείτε η περιοχή που έχει αφαιρεθεί το τμήμα.

3.5.2 Ενίσχυση Δοκών/Πλακών

Για να επιτύχει η συνεργασία της παλαιάς με της νέας πλάκας, εκτός από την σύνδεση που γίνεται με εποξειδική ρητίνη, θα συνδεθεί ο παλιός με τον νέο οπλισμό με συνδετήριους ράβδους κάθετες προς τις επιφάνειες των πλακών σε θέσεις κατάλληλες. Άλλη μία μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η καμπτική ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή ή με επικολλητά χαλύβδινα φύλλα. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η αύξηση της καμπτικής αντοχής καθώς και σημαντική αύξηση της καμπτικής ακαμψίας και ταυτόχρονη μείωση της πιθανής ρηγμάτωσης και των παραμορφώσεων.(Πηγή:Ροβήλος,2004)

Η καμπτική ενίσχυση με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος χρησιμοποιείται τις περισσότερες φορές για να γίνει ισχυρή ενίσχυση των εφελκόμενων πελμάτων σε πλάκες και δοκούς ή ακόμα και για την ενίσχυση των θλιβόμενων πελμάτων. Τα εφελκόμενα πέγματα ενισχύονται με καινούργιο οπλισμό που περιβάλλεται με σκυρόδεμα εκτοξευμένο πάχος 50-100 mm της διεύθυνσης του πλάτους που έχει η

δοκός. Τα θλιβόμενα πέλματα ενισχύονται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή με επένδυση όποτε δεν είναι απαραίτητος ο πρόσθετος οπλισμός. Επίσης οι δοκοί που χρειάζονται ενίσχυση είναι απαραίτητο να αποφορτίζονται όσο το δυνατόν περισσότερο πριν από την χρήση αυτής της μεθόδου.

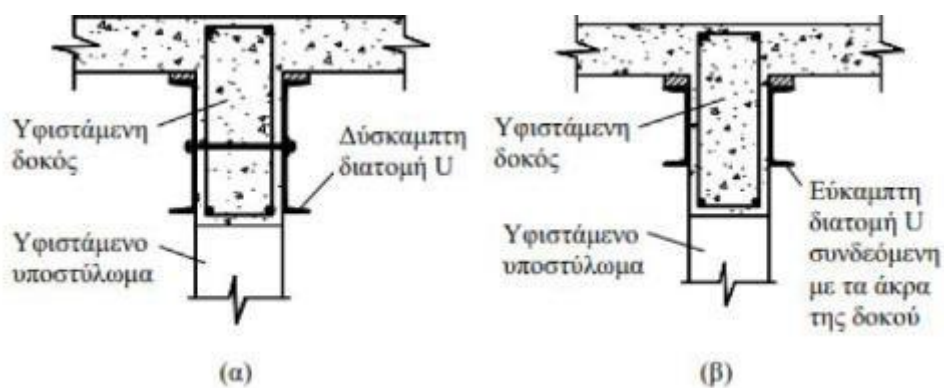
Η καινούργια στρώση και η δοκός συνδέονται με βλήτρα από χάλυβα ή με την συγκόλληση του καινούργιου οπλισμού με τον παλιό. Αυτό εξαρτάται από το πάχος της καινούργιας στρώσης και με τον αποστάτη που μπορεί να είναι μια απλή κοιλότητα ή μία ράβδος σχήματος Z.

Έτσι η επιφάνεια του πέλματος που ενισχύεται είναι απαραίτητο να έχει υποστεί μία επεξεργασία πριν τη αποκάλυψη του αδρανούς υλικού. Με εξειδικευμένο μηχανικό εξοπλισμό ή με υδροβολή πραγματοποιείται η εκτράχυνση της επιφάνειας. Η προετοιμασία της επιφάνειας με σκοπό την ένωση των καινούργιων και των παλαιών στοιχείων είναι πολύ σημαντική έτσι ώστε να μην γίνει η αποκόλληση του στρώματος του σκυροδέματος όταν ο φορέας που έχει ενισχυθεί έχει υποστεί φορτία πρόσθετα.

Άλλη μία μέθοδος για ενίσχυση των δοκών γίνεται με πρόσθετα μεταλλικά στοιχεία. Η μέθοδος αυτή είναι οικονομικά αποδοτική αλλά και αποτελεσματική. Ανάλογα με την αντοχή που έχει η πλάκα, το πρόσθετο στοιχείο έχει την δυνατότητα να μπει μεταξύ των δοκών που υπάρχουν ή να μπει σε πλευρικά τοιχώματα της δοκού. Το πλεονέκτημα που έχει όταν τα στοιχεία τοποθετούνται στην μέση των δοκών είναι ότι αυξάνεται η φέρουσα ικανότητα της πλάκας και του συστήματος καθώς μειώνεται στο μισό το άνοιγμα της πλάκας.

Σε περίπτωση που οι καινούργιοι δοκοί τοποθετηθούν στις πλευρές των δοκών που υπάρχουν και λειτουργούν σαν φορέας ενιαίος, θα οδηγήσουν στην δημιουργία μιας σύνθετης διατομής με αντοχή που είναι αυξημένη συγκριτικά με τις αρχικές δοκούς. Με τον τρόπο αυτό οι καινούργιοι δοκοί υποστηρίζουν μόνο το φορτίο που είναι πρόσθετο ενώ η πλάκα που υπάρχει και οι δοκοί θα εξακολουθήσουν να φέρουν το βάρος τους. Επίσης πριν την τοποθέτηση των καινούργιων στοιχείων, οι δοκοί και η πλάκα είναι απαραίτητο να ανυψωθούν με την χρήση γρύλλων έτσι ώστε να εξαλειφθεί η παραμόρφωση που έχει δημιουργηθεί από τα βαρυτικά φορτία.

Άλλη μία μέθοδος που εφαρμόζεται στην ενίσχυση των δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η προσθήκη διατομών U από μέταλλο εκατέρωθεν της δοκού που υπάρχει.



Εικόνα 27: Προσθήκη νέων μεταλλικών μελών στις παρειές υφιστάμενης δοκού (α) δύσκαμπτες διατομές. (β) Εύκαμπτες διατομές

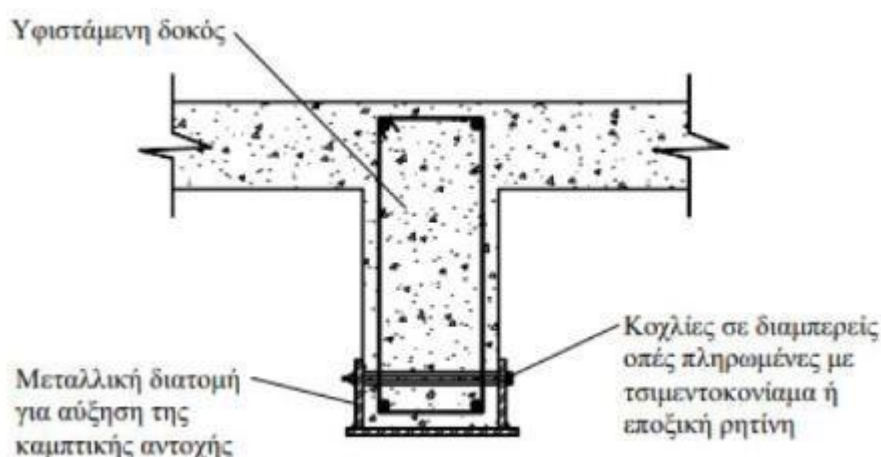
Στο διάγραμμα που φαίνεται παραπάνω είναι απαραίτητη η σύνδεση των τριών δοκών μεταξύ τους διαμέσου των αγκυρίων που διαπερνούν το σώμα της δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα και βιδώνονται στα άκρα στις μεταλλικές δοκούς, έτσι ώστε να έχουν ίδια φέρουσα ικανότητα. Σε περίπτωση που αυτή η μέθοδος χρησιμοποιηθείς, η επιφάνεια της πλάκας πάνω από τις υπάρχουσες δοκού είναι απαραίτητο να εκκενωθεί και να αφαιρεθεί το κινητό φορτίο των δοκών κατά την διάρκεια των εργασιών ενίσχυσης. Ακόμη ένας άλλος τρόπος ενίσχυσης της ίδιας δοκού είναι η τοποθέτηση διατομών U μεταλλικών και εύκαμπτων και στις δύο πλευρές της για την ενίσχυση δοκού και συνδέονται μόνο τα άκρα της. Έτσι με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να εφαρμοστεί μια δύναμη ανοδική στην δοκό που υπάρχει με σκοπό να μειωθεί το φορτίο της δοκού. Αυτό μπορεί να γίνει η προσφέροντας στην δοκό μια παραμόρφωση θετική ή σφηνώνοντας ένα κενό μεταξύ του πυθμένα και του μεταλλικού τμήματος της πλάκας

Άλλη μία μέθοδος είναι η ενίσχυση με μείωση του ανοίγματος της Δοκού. Αυτή εφαρμόζεται όταν η δοκός αυτή βρίσκεται στο ισόγειο της κατασκευής. Η μέθοδος αυτή γίνεται με την κατασκευή πρόσθετων καινούργιων υποστυλωμάτων. Για την κατασκευή καινούργιων υποστυλωμάτων είναι απαραίτητη η θεμελίωση ενώ η ανέγερσή τους απαιτεί να αφαιρεθεί ένα μέρος της πλάκας.

Μία άλλη μέθοδος για την μείωση του ανοίγματος της δοκού είναι η τοποθέτηση συνδέσμων διαγώνιων από την βάση των υποστυλωμάτων έως την κάτω πλευρά της δοκού. Έτσι ο διαγώνιος σύνδεσμος μεταφέρει το φορτίο στην βάση του υποστυλώματος και η πλάκα απορροφά αυτό καλύτερα. Η μέθοδος αυτή βοηθάει στο να αποφευχθούν επιπλέον εργασίες θεμελίωσης.

Και στις δύο μεθόδους είναι απαραίτητη η χρήση χαλύβδινων μελών αφού αυτό είναι δυνατόν να τοποθετηθεί εύκολα και γρήγορα. Επίσης είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν χαλύβδινα αγκύρια με σκοπό την στερέωση καινούργιου στοιχείου στο υπάρχον, αφού όλοι οι σύνδεσμοι θλίσβονται.

Σε περίπτωση που η δοκός που υπάρχει δεν έχει αρκετή αντοχή σε κάμψη είναι δυνατόν να ενισχυθεί με κοχλίωση συγκολλημένων τμημάτων από μέταλλο ή με την προσθήκη πλακών από μέταλλο. Στην περίπτωση που η περιοχή που ενισχύεται είναι μεγάλη, χρησιμοποιείται μια δομή συγκολλητή ανεστραμμένη σχήματος U όπως φαίνεται παρακάτω. Σχετικά με τον παθητικό σχεδιασμό, ο καινούργιος χάλυβας είναι αδρανής μέχρι το σκυρόδεμα να παραμορφώνεται κάτω από την επίδραση πρόσθετων φορτίων.



Εικόνα 28: Σύνδεση Κοχλιωτή συγκολλητής διατομής από μέταλλο για αύξηση της καμπτικής αντοχής στην δοκό που υπάρχει από σκυρόδεμα

Η απόσταση και το μέγεθος των κοχλιών που χρησιμοποιούνται με σκοπό την σύνδεση του καινούργιου τμήματος από μέταλλο με την δοκό που υπάρχει έχει να κάνει με το μέγεθος του φορτίου σχεδιασμό που περνάει από το μεταλλικό μέρος στο σκυρόδεμα στην άρθρωσης διαμέσου της διατμητικής και της εφελκυστικής αντοχής των κοχλιών. Σε περίπτωση που οι κοχλίες περνούν μέσα στο σώμα της δοκού, η θέση που θα πάρουν οι οπές θα πρέπει να γίνεται προσεκτική επιλογή καθώς είναι απαραίτητη η διάνοιξη των οπών να γίνεται όσο το δυνατόν πιο μακριά από τον άξονα διαμήκους του οπλισμού της δοκού.

Σε περίπτωση που η δοκός είναι ασθενής, επιλέγεται η προσθήκη δύο πλακών στο πάνω μέρος και στο κάτω μέρος της δοκού. Οι πλάκες είναι δυνατόν να συνδεθούν με βίδες μεταξύ τους και να διατρέχουν ολόκληρη την δοκό. Έτσι αυτή η προσέγγιση έχει κάποια σοβαρά μειονεκτήματα. Ένα απ' αυτά είναι ότι είναι δύσκολο να ανοιχθούν οπές ενδιάμεσα στο ύψος της δοκού και είναι απαραίτητο να τοποθετηθεί επίστρωση ειδική στην επιφάνεια της πλάκας πάνω από την δοκό με σκοπό να καλυφθούν τα αγκύρια και η πάνω πλάκα.

Επιπλέον η αντοχή των δοκών σε κάμψη είναι δυνατόν να αυξηθεί με την επικόλληση πλακών από χάλυβα στην επιφάνεια του σκυροδέματος με κόλλα

εποξειδική. Είναι φανερό ότι είναι πιο εύκολη η επικόλληση ελασμάτων στο σκυρόδεμα και όχι η κοχλίωση τους σε αυτό. Τα πολυμερή που είναι ινοπλισμένα έχουν την δυνατότητα να κολληθούν με τρόπο ίδιο με των ελασμάτων. Η μέθοδος αυτή δεν επιτυγχάνει μόνο αύξηση της καμπτικής αντοχής αλλά επιτυγχάνει και φοβερή αύξηση στην καμπτική δυσκαμψία, περιορίζει την παραμόρφωση και την ρηγμάτωση.

Η τοποθέτηση κολλών εποξειδικών γίνεται με εφαρμογή της κόλλας ή με ρητινένωση και στις δύο επιφάνειες που χρειάζονται συγκόλληση. Η σύνδεση των δοκών με έλασμα από χάλυβα απαιτεί μία πίεση έτσι ώστε να οδηγήσει την κόλλα στην αντοχή που χρειάζεται. Για την αύξηση της διατμητικής αντοχής και την ανάρτηση του ελάσματος είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται ορισμένες φορές σπειροειδείς ράβδοι που είναι στερεωμένες σε οπές κατακόρυφες που είναι γεμάτες με τσιμέντο. Οι τρεις βασικοί παράγοντες στην επιτυχία αυτής της μεθόδου είναι οι εξής:

Απαραίτητο είναι να προετοιμαστεί η επιφάνεια που πρόκειται οι χαλύβδινες πλάκες να κολληθούν. Έτσι απαιτείται εκτράχυνση και καθαίρεση των ασθενών στρωμάτων του σκυροδέματος στην επιφάνεια όπου έχουν ίχνη ενανθράκωσης.

Η αντοχή της εποξειδικής κόλλας πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση με αυτή του σκυροδέματος. Η κόλλα επίσης πρέπει να είναι συμβατή με τις συνθήκες του περιβάλλοντος που ισχύουν στο εργοτάξιο.

Οι πλάκες από χάλυβα είναι απαραίτητο να έχουν μήκος και πλάτος επαρκές με σκοπό να αποφευχθεί η αστοχία του συστήματος εξαιτίας των χαλύβδινων πλακών από τις δοκούς.

Το μειονέκτημα όμως αυτής της μεθόδου είναι οι μεγάλες συγκεντρωμένες τάσεις που υπάρχουν στα στερεωμένα άκρα των πλακών. Οι τάσεις των άκρων που ισχύουν είναι δυνατόν να οδηγούνται σε αποκόλληση του σκυροδέματος που βρίσκεται κοντά στην πλάκα. Για να μην συμβεί αυτή η αστοχία, το μήκος της αγκύρωσης των ελασμάτων είναι απαραίτητο να είναι επαρκές, εκτός των περιοχών που είναι απαραίτητος ο οπλισμός κάμψης. Σημαντικό είναι να γίνεται έλεγχος στην συγκέντρωση των διατμητικών και καμπτικών τάσεων στις ζώνες των άκρων εξαιτίας των ασυνεχειών στα ελάσματα που είναι συγκολλημένα. Η συνηθισμένη μέθοδος που οδηγεί στην μείωση των τάσεων των συγκεντρωμένων είναι η μείωση η σταδιακή του πάχους των ακμών της πλάκας. Άλλο ένα μειονέκτημα του συστήματος για την ενίσχυση των δοκών με χαλύβδινες συγκολλημένες πλάκες είναι ο κίνδυνος που ο χάλυβας διαβρώνεται στην επιφάνεια με το σκυρόδεμα. Η επικάλυψη των πλακών από χάλυβα με ειδικές επιστρώσεις από αντιδιαβρωτικό υλικό δεν είναι και η πιο αξιόπιστη λύσης καθώς υπάρχει πιθανότητα αλληλεπίδρασης με την κόλλα την εποξειδική. Είναι απαραίτητο να τονιστεί ότι η προσθήκη εξωτερικού οπλισμού με την μορφή ελάσματος δεν παίζει ρόλο μακροπρόθεσμης λύσης σε περίπτωση που η κατασκευή του αντιμετωπίζει διαβρωτικά προβλήματα.

Για την ενίσχυση των δοκών σε διάτμηση είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ίδιες μέθοδοι με αυτής στην ενίσχυση σε κάμψη. Πιο συγκεκριμένα για να μεγαλώσουμε την διατμητική αντοχή μιας δοκού, δυο πλάκες από μέταλλο είναι δυνατόν να μπουν στις εγκάρσιες πλευρές της δοκού και να συνδεθούν με κοχλίες που διατρέχουν εγκάρσια το σώμα της δοκού σε δύο σημεία τουλάχιστον.

Άλλη μία μέθοδος για να αυξηθεί η διατμητική αντοχή των δοκών είναι να μπουν συνδετήρες που περισφίγγουν εξωτερικά την δοκό. Αυτοί οι συνδετήρες έχουν σχεδιαστεί για τάση επιτρεπόμενη ίση με το 50% της κανονικής επιτρεπόμενης τάσης και έχουν την δυνατότητα να τοποθετηθούν η υπό γωνία 450 ή κάθετα. Επιπλέον η τοποθέτηση των συνδετήρων που γίνεται κατακόρυφα είναι απλούστερη και χρησιμοποιείται πιο πολύ. Οι συνδετήρες ωστόσο έχουν την δυνατότητα μετά την βαφή να μείνουν ακάλυπτοι, όμως θα πρέπει απαραίτητα να καλύπτονται με τσιμεντοκονίαμα πάχους 20 mm ή με στρώση εκτοξευμένου σκυροδέματος.

Στην περίπτωση διατμητικής βλάβης σοβαρής, δεν φτάνει να γίνει μόνο η πρόσθεση πλευρικών ελασμάτων η στοιχείων εξωτερικών συγκόλλησης αλλά είναι απαραίτητη η πρόσθετη ενίσχυση των στοιχείων μέχρι το σημείο της αστοχίας. Για την ενίσχυση του σκυροδέματος για να μην καταρρεύσει κατά μήκος των ρωγμών τοποθετείται ένα ζεύγος κοχλίων στις δύο πλευρές της δοκού που έχει ρηγματωθεί.

Και τέλος η ενίσχυση των δοκών με μανδύες από σκυρόδεμα οπλισμένο χρησιμοποιείται για την αύξηση της αντοχής της δοκού σε διάτμηση και κάμψη. Πριν πραγματοποιηθεί η σκυροδέτηση του κελύφους του μανδύα, εφαρμόζεται ένας νέος οπλισμός διαμήκης στο στοιχείο και συνδετήρες καινούργιοι περιμετρικά του στοιχείου. Οι μανδύες είναι δυνατόν να δημιουργηθούν η με εκτοξευμένο σκυρόδεμα ή με έγχυτο σκυρόδεμα, προτιμότερο είναι το εκτοξευμένο σκυρόδεμα εξαιτίας της εύκολης κατασκευής του.

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως όταν χρειάζεται οπλισμός διατμητικός των δοκών. Εάν είναι απαραίτητη η αύξηση της αντοχής σε κάμψη, η προτιμώμενη μέθοδος είναι η πρόσθεση μιας στρώσης καινούριας σκυροδέματος.



Εικόνα 29. Ενίσχυση και επισκευή πλάκας. (Πηγή: library.tee.gr)

3.6. Επισκευή και ενίσχυση προβολών

Ένας πρόβολος από σκυρόδεμα οπλισμένα εμφανίζει ένα βέλος κάμψης από την αρχή της κατασκευής του που όλο και αυξάνεται κατά το πέρασμα των χρόνων. Κατά την διάρκεια της κατασκευής του όταν σε πρώτο στάδιο ξεκαλουπωθεί πριν ρηγματωθεί, το σκυρόδεμα έχει την συμπεριφορά ενός ελαστικού ομοιογενές υλικού και εμφανίζει ένα βέλος κάμψης με ελαστική συμπεριφορά. Έπειτα ακολουθεί η ρηγμάτωση του σκυροδέματος όπου ο χάλυβας εκτείνεται και λαμβάνει τάσεις και το βέλος της κάμψης αυξάνεται. Σύμφωνα με το ΕΚΩΣ τα βέλη της κάμψης των προβόλων δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερα για λόγους λειτουργικότητας. Έτσι οι επισκευές των προβόλων γίνεται με τους εξής τρόπους: α)Υποστύλωση της πλάκας του εξώστη έτσι ώστε να αναιρείται το ποσοστό του βέλους της κάμψης β)Με ρητίνη εποξειδική μέσα στην ρωγμή γ)Ενίσχυση του πάνω πέλματος με αποκάλυψη του παλιού οπλισμού και συγκόλληση του καινούργιου δ)Αγκύρωση του καινούργιου οπλισμού στο άνοιγμα της πλάκας που είναι συνεχόμενο μακριά από το σημείο μηδενισμού των ροπών κάμψεων ε) Τοποθέτηση πλέγματος στ)Διάστρωση σκυροδέματος πάχους μεγαλύτερα ή ίσο από 3 cm



Εικόνα 30. Ενίσχυση και επισκευή προβόλου. (Πηγή: http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/?page_id=22990)

4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα λίθινα σπίτια είναι πολύ ευαίσθητα στους σεισμούς καθώς οι πέτρες δεν έχουν συνοχή και η λάσπη που της ενώνει δεν είναι κατάλληλη ώστε να είναι ανθεκτική σε μία σεισμική δόνηση. Έτσι για να τα ενισχύσουμε σε μία σεισμική δόνηση προτείνεται στην βάση να τοποθετηθούν πεδιλοδοκοί επειδή έχουν βαριά κατασκευή και καλύτερη συμπεριφορά σε μια εδαφική κίνηση.

Η εδαφική κίνηση ονομάζεται η εδαφική κίνηση που έχει την δυνατότητα να προκαλεί βλάβες στα αρχιτεκτονικά ή στα δομικά στοιχεία που έχει μία κατασκευή. Η καταπόνηση των κατασκευών κατά την διάρκεια των σεισμών οφείλεται στην εδαφική κίνηση. Η εδαφική κίνηση (ΕΚ) ισούται με $(Π) * (Δ) * (Ε)$ όπου Ε είναι η επιρροή των συνθηκών που επικρατούν τοπικά, Δ η επιρροή της διαδρομής των σεισμικών κυμάτων και Π η επιρροή της πηγής. Οι τοπικές συνθήκες που επικρατούν στο έδαφος παίζουν σημαντικό ρόλο καθώς μπορούν να μετατρέψουν την εδαφική επιφανειακή κίνηση με τους εξής τρόπους: την αύξηση της κίνησης του εδάφους (που εξαρτάται από τις μέγιστες τιμές των χρονοϊστοριών της) , την επιμήκυνση της διάρκειας της, την αλλαγής του συχνοτικού της περιεχομένου ,τη χωρική μεταβλητότητα της εδαφικής απόκρισης (κρίσιμη για κατασκευές που βρίσκεται σε αποστάσεις μεγάλες, π.χ. αγωγοί, οδικά δίκτυα κ.λπ.)

Η σεισμική ένταση ορίζεται από την *PGAH* όμως αυτή μπορεί να μην είναι αξιόπιστη και ακριβής. Για αυτό υπολογίζουμε την μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση *PHA* ή *amax* που είναι η πιο γνωστή παράμετρος που περιγράφει τον σεισμικό κραδασμό. Συγκεκριμένα σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούμε την μέγιστη τιμή των 2 οριζόντιων συνιστωσών ενώ σε άλλες περιπτώσεις το διανυσματικό τους άθροισμα. Την οριζόντια συνιστώσα την χρησιμοποιούμε λόγω της σύνδεσής που γίνεται άμεσα με τις αδρανειακές δυνάμεις, οι οποίες φορτίζουν μια κτιριακή κατασκευή σε συνηθισμένη μορφή. Επιπλέον η κατακόρυφη ταλάντωση είναι λιγότερο επικίνδυνη αφού οι κατασκευές τις περισσότερες φορές είναι σχεδιασμένες με συντελεστές ασφαλείας αρκετά μεγάλους, ως προς τα στατικά φορτία που είναι κατακόρυφα.

Η μέγιστη οριζόντια ταχύτητα του εδάφους (*PGVH*) είναι μία επιπλέον σοβαρή παράμετρος της ισχυρής κίνησης του εδάφους, επειδή προκύπτει κυρίως στις ενδιάμεσες συχνότητες (0.5-2.0 Hz) της δόνησης του σεισμού. εδάφους, επειδή προκύπτει κυρίως στις ενδιάμεσες συχνότητες (0.5-2.0 Hz) της δόνησης του σεισμού. Την ορίζουμε περισσότερο για να χαρακτηρίσουμε κινήσεις των σεισμών των μεσαίων συχνοτήτων, όπου αυτές προκαλούν βλάβες ή ζημιές στις κατασκευές με μεγάλες ιδιοπεριόδους, όπως γέφυρες, εύκαμπτα πολυώροφα κτίρια. Αυτή η παράμετρος είναι η πιο αξιόπιστη καθώς χαρακτηρίζει τις κινήσεις του σεισμού στις συχνότητες που είναι ενδιάμεσες και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αστοχία των κατασκευών με αρκετά μεγάλες ιδιοπεριόδους. Εξαιτίας του ότι η μέγιστη ταχύτητα του εδάφους και η επιτάχυνση αναφέρεται σε διαφορετική συχνότητα , ο λόγος *PGVH/PGAH* θα είχε την δυνατότητα να αποτελεί έναν δείκτη του συχνοτικού περιεχομένου της κίνησης του εδάφους. Ο λόγος *PGVH/PGAH* ισοδυναμεί με $T/2\pi$.

Η εδαφική μετακίνηση συμβολίζεται με $x_g(t)$ και η σχετική μετακίνηση της μάζας ως προς την βάση με $u(t)$. Η μετακίνηση του συνόλου την χρονική στιγμή t , που μετράτε από την αρχική θέση της κατασκευής είναι $x(t) = x_g(t) + u(t)$.

Σεισμική τρωτότητα ή αλλιώς ευαλότητα (Vulnerability) είναι η ευπάθεια αλλιώς η τρωτότητα των ελεύθερων αντικειμένων, κατασκευών, στοιχείων απέναντι σε φυσικούς κινδύνους.

Στην Ελλάδα, οι βλάβες κατατάσσονται σύμφωνα με τις οδηγίες ΟΑΣΠ που ουσιαστικά περιγράφουν τις βλάβες που έχουν δημιουργηθεί στα κτίρια σύμφωνα με τις επιτροπές του πρωτοβάθμιου και δευτεροβάθμιου ελέγχου και διακρίνονται στις εξής κατηγορίες: πράσινο κτίριο, κίτρινο κτίριο, πορτοκαλί κτίριο και κόκκινο κτίριο.

Η διαμόρφωση ενός μοντέλου που κάνει την εκτίμηση των κινδύνων του σεισμού αποτελεί την εκτίμηση τρωτότητας και πιθανών απωλειών. Τα μοντέλα διαχωρίζονται σε δυο διαφορετικές προσεγγίσεις την πιθανοτική και την αιτιοκρατική προσέγγιση. Η πιθανοτική προσέγγιση ασχολείται με τις σεισμικές δονήσεις που έχουν συμβεί στο παρελθόν και έχουν ήδη γίνει, επίσης με την συχνότητα που εκδηλώνονται τα συμβάντα αυτά από εκείνες τις πηγές εκείνες, που επηρεάζουν μια συγκεκριμένη περιοχή. Η αιτιοκρατική προσέγγιση ξεκινάει από ένα σενάριο σεισμικής διέγερσης, ως αρχικό σημείο, που στην αρχή χρησιμοποιείται σαν βοήθημα προς απόδοση της κινήσεως του εδάφους και έπειτα με βάση αυτή την κίνηση του εδάφους να εκτιμήσει ενδεχόμενες βλάβες και τις απώλειες, αποτελώντας την χειρότερη κατηγορία εκδήλωσης γεγονότος που προκαλείται από τον σεισμό σε μία συγκεκριμένη περιοχή.

Με την καμπύλη τρωτότητας εκφράζουμε ουσιαστικά την βλάβη που έχει υποστεί μια κατασκευή που είναι μεγαλύτερη ή ίση από ένα επίπεδο βλάβης συγκεκριμένο σε μια συγκεκριμένη σεισμική ένταση. Οι καμπύλες τρωτότητας δημιουργούνται με το να χρησιμοποιούμε τη διάμεση τιμή x_m της λογαριθμοκανονικής κατανομής (median value of lognormal distribution X) και την τυπική απόκλιση β των λογαρίθμων της κατανομής (standard deviation of the logs of the distribution X), με αυτό τον τρόπο γίνεται μία ταξινόμηση της βλάβης που έχει υποστεί η κάθε κατασκευή και εξαρτάται από τον τύπο της κάθε κατασκευής.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις κατασκευές από σεισμική δόνηση είναι τα αυθαίρετα κτίρια, τα κτίρια που έχουν αστοχίες στα σίδερα και στο μπετόν αλλά ήταν κρυφές και δεν φαινότουσαν, τα κτίρια με πιλοτές, κτίρια που ήταν κατασκευασμένα σε έδαφος που δεν ήταν κατάλληλο για σεισμούς, κτίρια που είχαν ανεξέλεγκτες προσθήκες και παρεμβάσεις στο σκελετό τους.

Στην Ελλάδα οι αντισεισμικοί κανονισμοί δημιουργήθηκαν από ένα συνδυασμό επιπέδων αντοχής και πλαστιμότητας. Η επιλογή αυτή γίνεται από τον επιβλέπων Μηχανικό. Στην Ελλάδα μία επιστημονική ομάδα του ΟΑΣΠ, διαμόρφωσε πλαίσιο κανονισμών για να γίνεται ένας έλεγχος των κτιρίων πριν τον σεισμό ώστε να καθοριστεί η σεισμική τρωτότητα τους. Οι κανονισμοί αυτοί αποτελούνται από τρία

στάδια ελέγχου: πρώτο στάδιο , δεύτερο στάδιο, τρίτο στάδιο.

Σύμφωνα με διεθνής έρευνες μεγάλο μέρος των εργασιών έχει σκοπό την ανάλυση της τρωτότητας με στόχο την σωστή εκτίμηση απωλειών καθώς και των βλαβών που προκύπτουν από τους σεισμούς έτσι ώστε να απομονωθούν και να αναλυθούν ένα σωρό παράγοντες, οι οποίοι είναι η αιτία εκδήλωσης κτιριακής τρωτότητας και δημιουργίας βλαβών με σκοπό την καταγραφή έμψυχων και κτιριακών απωλειών. Ανάλογα με το μέγεθος που έχει η συγκεκριμένη περιοχή που πραγματοποιούνται οι αναλύσεις και ανάλογα με το αντικείμενο με το οποίο διαθέτουν, η τρωτότητα χωρίζεται σε κτηριακή και σε χωρική. Οι εργασίες εκτίμησης κτιριακών απωλειών ασχολούνται με συγκεκριμένους χώρους κτηρίων ή χώρους συγκεκριμένων τύπων κτιρίων. Με αυτή την ειδίκευση ευνοείται η λεπτομερής ανάδειξη των τρωτών στοιχείων του συγκεκριμένου αντικείμενου που μελετάμε και ταυτόχρονα ευνοεί την ανάλυση τους στην απόδοση απωλειών στο σεισμό.

Η εκτίμηση χωρικών απωλειών είναι μία διευρυμένη κατηγορία σε σχέση με τις κτιριακές απώλειες. Ουσιαστικά περιλαμβάνουν την εκτίμηση των σεισμικών απωλειών σε όλα τα κτίρια, τα οποία είναι σε μεγάλο χώρο.

Τα λογισμικά προγράμματα εκτίμησης απωλειών είναι το CARPA, Openquake, SELENA , ELER, HAZUS-MH, FEMA , FEMA P-58 , PACT

Το CARPA δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της ανάλυσης του κινδύνου καθώς και για την εκτίμηση απωλειών που οφείλονται στα φυσικά φαινόμενα της συγκεκριμένης περιοχής της Κεντρικής Αμερικής. Το Carpa είναι ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα και δομείται σε πλατφόρμα ΓΣΠ, διάμεσο του οποίου έχει την δυνατότητα η αναλυόμενη περιοχή να χαρτογραφηθεί η έκθεση, ο κίνδυνος που μπορεί να αντιμετωπίσει και τέλος η επικινδυνότητα που διατρέχει. Το Openquake λογισμικό δημιουργήθηκε από την GEM. Το OpenQuake ανήκει στην κατηγορία των λογισμικών με κώδικα γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού Python, που είναι ανοικτό και προσβάσιμο μέσω διαδικτύου σε αποθετήριο δημόσιο. Αντίθετα με άλλα παρόμοια λογισμικά, η εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου και η ανάλυση της επικινδυνότητας γίνεται με το ίδιο λογισμικό, ενώ ταυτόχρονα δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να πραγματοποιήσει μεμονωμένους υπολογισμούς για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις, καθώς και μπορεί να χρησιμοποιήσει δικά του ήδη διαμορφωμένα μοντέλα τρωτότητας και έκθεσης, κινδύνου, ανεξαρτήτως γεωγραφικών συντεταγμένων.

Το Selena δημιουργήθηκε το 2004 και προέκυψε από την συνεργασία μεταξύ του πανεπιστημίου Αλικάντε (Ισπανία), του Διεθνούς Κέντρου Γεωλογικών Κινδύνων (International Centre for Geohazards- ICG) και του μη κερδοσκοπικού σεισμολογικού-γεωεπιστημονικού ερευνητικού οργανισμού NORSAR (Νορβηγία). Αντίθετα με άλλα λογισμικά όμοιου είδους, το SELENA δεν ενσωματώνει συγκεκριμένη πλατφόρμα ΓΣΠ, έτσι ώστε να προσαρμόζεται με ευκολία σε κάθε λειτουργικό σύστημα. Τα δεδομένα εισαγωγής και τα αντίστοιχα αποτελέσματα της ανάλυσης πρέπει να είναι σε μορφή ASCII (.txt), ενώ είναι δυνατόν να απεικονιστούν

σε οποιοδήποτε ΓΣΠ επιλέγει ο χρήστης και έτσι η χρήση του SELENA είναι ευέλικτη και απλή.

Το ELER βασίζεται και αυτό σε πλατφόρμα ΓΣΠ, και ταυτόχρονα είναι δομημένο σε κώδικα matlab. Το ELER δημιουργήθηκε αρχικά σύμφωνα με μία μεθοδολογία ή οποία επικεντρώνεται σε κάποια συγκεκριμένα σεισμολογικά χαρακτηριστικά και δεδομένα της Ευρω-Μεσογειακής περιοχής. Έπειτα το λογισμικό διαμορφώθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε οι παράμετροι του να έχουν την ικανότητα να προσαρμόζονται σε συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος, και να ασχολείται μόνο με σεισμικά φαινόμενα.

Το HAZUS-MH βασίζεται σε παρόμοια μεθοδολογία με τις άλλες και αποτελεί ένα καινούργιο λογισμικό για την εκτίμηση των απωλειών εξαιτίας των φυσικών καταστροφών (σεισμοί, κυκλώνες, πλημμύρες) και δημιουργήθηκε σύμφωνα με την συνεργασία της FEMA και του Εθνικού Ινστιτούτου Οικοδομικών Επιστημών (National Institute of Building Sciences- NIBS), με σκοπό να έχει την δυνατότητα να εφαρμόζεται με τις ίδιες τυποποιημένες παραμέτρους στο σύνολο των ΗΠΑ. Αυτό το λογισμικό ανήκει σε κατηγορία κλειστού κώδικα λογισμικών και έχει να κάνει κυρίως με τοπικούς ή Πολιτειακούς θεσμικούς φορείς, χωρίς όμως να περιορίζεται η πρόσβαση του και στους ιδιώτες χρήστες. Το HAZUS χρησιμοποιεί μία πλατφόρμα ΓΣΠ με την οποία παράγει ειδικούς χάρτες σεισμικών βλαβών και σεισμικής επικινδυνότητας, με σκοπό να αναλύσει τρία επίπεδα πολυπλοκότητας.

Η Fema δημιουργήθηκε για να βελτιώσει την σεισμική συμπεριφορά των κτιρίων που ήδη υπάρχουν. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζεται η σεισμική συμπεριφορά των συγκεκριμένων κτιρίων σε όρους πιθανών απωλειών κυρίως ανθρώπινων δηλαδή σοβαρούς έως και θανάσιμους τραυματισμούς, οικονομικών απωλειών άμεσων (δαπάνες ανακατασκευής ή επισκευής) και έμμεσων που αφορούν κυρίως τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθώς και τον απαιτούμενο χρόνο επισκευής).

Η Fema P-58 μοιάζει πολύ με την αρχική προσέγγισή με την διαφορά ότι έχει να κάνει με την εκδήλωση μιας συγκεκριμένης σεισμικής δόνησης και όχι έντασης συγκεκριμένης, συνδυάζοντας την με την αβεβαιότητα που προκύπτει από αυτήν. Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί συμπεριφορά του σεισμού σε ένα κτίριο που εκτιμάται για κάποιο χρονικό διάστημα που επιλέγεται λόγω κάποιων αναγκών που έχει ο ιδιοκτήτης, έχοντας υπόψιν την πιθανότητα μια σεισμικής δόνησης που ίσως εκδηλωθεί σ αυτό το χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση αυτή εκτιμάται η αβεβαιότητα που προκύπτει από την εστία και το μέγεθος ενός σεισμού καθώς και από την ένταση της εδαφικής κίνησης.

Το PACT αποτελείται, από το λογισμικό, αλλά και από εφαρμογές που βοηθάνε να αναλύονται τα χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου κτηρίου και αλλάζονται οι πληροφορίες που βρίσκονται στις ενσωματωμένες βάσεις των δεδομένων και ταυτόχρονα δίνουν μια εκτίμηση τελική για την τρωτότητα αλλά και τις απώλειες που προκύπτουν.

Τέλος οι επισκευές των βλαβών γίνεται με διάφορους τρόπους ανάλογα με το μέγεθος των βλαβών. Τα υποστυλώματα παίζουν σημαντικό ρόλο στον σεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών, τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την επέμβαση στις μελέτες αποτίμησης και επανασχεδιασμού που στοχεύουν σ αυτά. Τα υποστυλώματα μπορούν ή να ενισχυθούν με σκοπό την αύξηση της ικανότητας τους και την βελτίωση της συμπεριφορά τους ή να επισκευαστούν όταν έχουν βλάβη. Οι βλάβες που προκύπτουν από μία σεισμική δόνηση κατά κανόνα επικεντρώνονται στην περιοχή του κόμβου δοκού και του υποστυλώματος. Στις περιπτώσεις αυτές ή παρέμβαση στις δοκούς αποτελεί ένα κύριο μέρος στο ευρύτερο σχέδιο των επεμβάσεων που αποτελείται από κόμβους καθώς και κατακόρυφα στοιχεία που συντρέχουν πάνω σ αυτούς. Επίσης γίνεται και επισκευή και ενίσχυση τοιχωμάτων. Συνήθως για την επισκευή τοιχωμάτων χρησιμοποιούνται όμοιες τεχνικές όπως των υποστυλωμάτων. Στις περιπτώσεις απλών ρηγματώσεων η επισκευή γίνεται με εποξειδική ρητίνη που όμως τις πιο πολλές φορές δεν αρκεί και είναι απαραίτητη η ενίσχυση του τοιχώματος. Επιπλέον γίνεται επισκευή και ενίσχυση δοκών. Οι επισκευές των δοκών έχουν σκοπό να αποκαταστήσουν τις ιδιότητες που είχαν αρχικά οι δοκοί που έχουν υποστεί βλάβες. Και τέλος σημαντική είναι η επισκευή και ενίσχυση προβόλων. Οι επισκευές των προβόλων γίνεται με τους εξής τρόπους:

- α)Υποστύλωση της πλάκας του εξώστη έτσι ώστε να αναιρείται το ποσοστό του βέλους της κάμψης
- β)Με ρητίνη εποξειδική μέσα στην ρωγμή
- γ)Ενίσχυση του πάνω πέλματος με αποκάλυψη του παλιού οπλισμού και συγκόλληση του καινούργιου
- δ)Αγκύρωση του καινούργιου οπλισμού στο άνοιγμα της πλάκας που είναι συνεχόμενο μακριά από το σημείο μηδενισμού των ροπών κάμψεων
- ε) Τοποθέτηση πλέγματος
- στ)Διάστρωση σκυροδέματος πάχους μεγαλύτερα ή ίσο από 3 cm

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Applied Technology Council (1991): Seismic Vulnerability and Impact of Disruption on Lifelines in the Conterminous United States. ATC-2S. 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.

Demircioglu i M.B., i Erdik i M., i Hancilar i U., i Harmandar i E., i Kamer i Y., i Sesetyani K., i Tuzun i C., i Yenidogan i C., i Zulfikar iA.C. i (2010): i Technical i Manual i andUser’s i Guide i – iEarthquake iLoss iEstimation iRoutine i ELER i v3.0. i Bogazicii University i Istanbul, i Department i of iEarthquake i Engineering. iTurkey

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

Kappos A.J., Panagopoulos G. and Penelis G. (2008). Development of seismic damage and loss scenario for contemporary and historical buildings in Thessaloniki, Greece,Soil Dynamics and Earthquake Engineering 28: 836-850.

Pitilakis D., Petridis C., (2018). Soil-structure interaction effect on earthquake vulnerability assessment of moment resisting frames: The role of the soil, 16th European Conference on Earthquake Engineering, Thessaloniki.

Βασίλης και Κατερίνα Παπαζάχου (1999) «Οι σεισμοί της Ελλάδας»,Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Δρίτσος, Σ. (2005). Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Πάτρα

ΚΑΝ.ΕΠΕ, (1η Αναθεώρηση Ιούλιος 2013), Ο.Α.Σ.Π

Κάππος, Α. Ι., (2008), Αποτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς κτιρίων από Ο/Σ, Διδακτικές σημειώσεις στον Αντισεισμικό σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα (ΑΣΤΕ.4) (ΑΠΘ)

Κυριαζόπουλος, Α 2015, Επισκευή, Ενίσχυση στοιχείων από Ο. Σ., σημειώσεις

μαθήματος, Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών PEY155 ΤΕΙ Αθήνας, delivered, 24 Νοεμβρίου 2015

Κάππος, Α. Ι., Μοσχονάς, Ι. Φ., Παρασκευά, Θ., Σέξτος, Α., (2006), Αναλυτική μεθοδολογία υπολογισμού καμπυλών τρωτότητας γεφυρών, 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΕΚ, Αλεξανδρούπολη

Κάππος, Α. Ι., Παναγόπουλος, Γ., (2006), Υπολογισμός καμπυλών τρωτότητας για ελληνικά κτίρια από Ο/Σ, 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξανδρούπολη

Κυριαζόπουλος, Α 2015, Μέθοδοι Διάγνωσης Βλαβών Φέροντος Οργανισμού, σημειώσεις μαθήματος, Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών PEY155 ΤΕΙ Αθήνας, delivered, Νοεμβρίου 2016

ΟΑΣΠ. 2001. “Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια”. Αθήνα

Παπανικολάου, Ι., Μαρτζάκης, Β., (2017), Μάθημα Α-25, Σεισμοί και Διαχείριση Σεισμικού Κινδύνου, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Διαχείριση Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων, Αθήνα

Παπαστεργίου Π., Σπυροπούλου Γ. (2000) Επισκευές- Ενισχύσεις τοιχωμάτων – Παράδειγμα αναδιαστασιολόγησης

Πενέλης, Γ. και Κάππος, Α. (1999). “ Αντισεισμικές Κατασκευές από Σκυρόδεμα”. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Πιτιλάκης, Κ., (2010), Γεωτεχνική Σεισμική Μηχανική, Θεσσαλονίκη: Ζήτη.

Πιτιλάκης, 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) (ΑΠΘ)

Ροβήλος Α. (2004). Διάλεξη με θέμα: Προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια – Οδηγίες και μέθοδοι επισκευών του φέροντα οργανισμού κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα

Σπυράκος, Κ. (2004). Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία

Χασάπης Ε., Χριστάκη Α. (2000). Βλάβες από σεισμό και τρόποι επέμβασης σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα.

CEN (European Committee for Standardization) (2004), "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings". EN 1998-1:2004. Brussels, Belgium.

Kyriazis Pitilakis, Evi Riga, Anastasios Anastasiadis, Stavroula Fotopoulou, Stella Karafagka(2018), “Towards the revision of EC8: Proposal for an alternative site classification schemeand associated intensity dependent spectral amplification factors”, Aristotle

University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece.

Πιτιλάκης Κ. (2010), “Γεωτεχνική Σεισμική Μηχανική”, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Πιτιλάκης Κ. (2018) “Τρωτότητα, διακινδύνευση και σχεδιασμός τεχνικών έργων έναντι σεισμού και άλλων φυσικών κινδύνων με τις αρχές της ανθεκτικότητας, της αειφορίας και της βιωσιμότητας”, Πανεπιστημιακές σημειώσεις του μαθήματος.