

ACCORD PARTIEL OUVERT
en matière de prévention, de protection et
d'organisation des secours contre les risques naturels
et technologiques majeurs du

CONSEIL DE L'EUROPE

Cahiers
du Centre Européen
de Géodynamique
et de Séismologie

Volume 15



European Macroseismic Scale 1998
Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα 1998

Editor

G. GRÜNTHAL

Ελληνική Μετάφραση

B. ΚΟΥΣΚΟΥΝΑ – Α. ΚΑΠΑΓΙΑΝΝΙΔΗ

Αθήνα 2010

Ευχαριστίες

Η παρούσα μετάφραση της Ευρωπαϊκής Μακροσεισμικής Κλίμακας EMS-98 πραγματοποιήθηκε με την συνδρομή και την έγκριση του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ).



European Seismological Commission

Subcommission on Engineering Seismology

Working Group Macroseismic Scales

European Macroseismic Scale 1998

EMS-98

Editor

G. Grünthal

Chairman of the ESC Working Group "Macroseismic Scales"

GeoForschungsZentrum Potsdam, Germany

Associate Editors:

R.M.W. Musson, British Geological Survey, Edinburgh, Great Britain

J. Schwarz, Bauhaus University Weimar, Germany

M. Stucchi, Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico, C.N.R. Milan, Italy

LUXEMBOURG 1998

ACCORD PARTIEL OUVERT

en matière de prévention, de protection et
d'organisation des secours contre les risques naturels et technologiques majeurs

du CONSEIL DE L'EUROPE

ISBN N°2-87977-008-4

© Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie

Musée National d'Histoire Naturelle
Section Astrophysique et Géophysique, Luxembourg

Imprimerie Joseph Beffort, Helfent-Bertrange - 1998

Imprimé en 2500 exemplaires

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ

Ο σεισμός δοκιμάζει τις αντοχές όχι μόνο των κατασκευών και του εδάφους, αλλά και της κοινωνίας και της οικονομίας μίας χώρας. Είναι γνωστό ότι η Ελλάδα κατέχει τα πρωτεία όσον αφορά στη σεισμικότητα και τη σεισμική επικινδυνότητα της Ευρώπης.

Έχουν περάσει έντεκα σχεδόν χρόνια από το σεισμό της Πάρνηθας, της 7-9-1999, που αναστάτωσε την Αθήνα και τα προάστιά της προκαλώντας θύματα και τεράστιες καταστροφές. Σε όλες σχεδόν τις περιοχές της χώρας μας έχουν καταγραφεί καταστρεπτικοί σεισμοί από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα.

Η κατανομή των επιπτώσεων ενός καταστρεπτικού σεισμού –είτε αυτός είναι ιστορικός, είτε πρόσφατος- απαιτεί προσεκτική μελέτη των συνθηκών της περιοχής που έχει υποστεί το πλήγμα. Η μακροσεισμική ένταση εκφράζει τη σφοδρότητα των επιπτώσεων αυτών στον άνθρωπο, στις κατασκευές του και στη φύση. Είναι απαραίτητη η -κατά το δυνατό- ολοκληρωμένη γνώση της απόκρισης του δομημένου και μη περιβάλλοντος στις ισχυρές εδαφικές δονήσεις που προκαλεί ο σεισμός, με στόχο την αποτύπωση της σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής, προκειμένου να διαμορφωθεί η εικόνα της συμπεριφοράς της σε μελλοντικό σεισμό. Η EMS-98 είναι μία σύγχρονη κλίμακα έντασης που έχει δοκιμαστεί σε όλη την Ευρώπη και έχει αποδείξει ότι μπορεί να αποτυπώσει αυτή την εικόνα καλύτερα από τις παλαιότερες κλίμακες, κάτι που έχει αποδειχθεί από την εφαρμογή της τα τελευταία δέκα χρόνια και στην Ελλάδα (Αθήνα 1999, Λευκάδα 2003, Ανδραβίδα 2008 κλπ.).

Πιστεύοντας ότι η κλίμακα EM-98 θα αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο στον Έλληνα σεισμολόγο και το μηχανικό, έκρινα ότι είναι χρήσιμη η μετάφραση του εγχειριδίου αυτού, σε συνεργασία με την αρχιτέκτονα μηχανικό Αλίκη Καπαγιαννίδη. Δεδομένου ότι η κλίμακα απευθύνεται σε αυτούς τους δύο επιστημονικούς κλάδους, θα πρέπει η απόδοση στα ελληνικά της σχετικής ορολογίας να γίνεται από τους ανάλογους ειδικούς.

Για να αποφευχθούν παρανοήσεις αναφορικά με τα ονόματα των χωρών, πόλεων και περιοχών που αναφέρονται στα παραδείγματα σεισμών και στις φωτογραφίες, επιλέχθηκε συνειδητά να διατηρηθεί η απόδοσή τους στο αρχικό αγγλικό κείμενο.

Επίσης, τα μεσαιωνικά κείμενα της σελίδας 81 αποδίδονται στα ελληνικά, αφού πρώτα παρατίθενται στην αρχική τους γραφή, σημειώνοντας ότι στο αγγλικό κείμενο της κλίμακας δεν έγινε μετάφραση. Και αυτό, επειδή ο αναγνώστης που δεν έχει τη δυνατότητα να κατανοήσει το περιεχόμενο των κειμένων αυτών δεν θα μπορούσε να μελετήσει τα σχόλια και κατά συνέπεια να αναλύσει τους ιστορικούς και σύγχρονους σεισμούς που περιγράφονται στα παραδείγματα.

Έχω την πεποίθηση ότι η ελληνική μετάφραση του εγχειριδίου αυτού θα συνδράμει στις ερευνητικές προσπάθειες των επιστημόνων που στοχεύουν στη μείωση του σεισμικού κινδύνου στην Ελλάδα και ειδικότερα στις προσπάθειες του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, τον οποίο και ευχαριστώ για τη στήριξή του στο εγχείρημα αυτό.

Αθήνα, Μάρτιος 2010
Βίκυ Κουσκουνά
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Σεισμολογίας
Διευθύντρια Εργαστηρίου Σεισμολογίας
Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος
Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΤΗΝ 1^Η ΕΚΔΟΣΗ

Είναι τιμή και ιδιαίτερη ευχαρίστηση για μένα να παρουσιάσω αυτή τη μονογραφία που αφιερώνεται στην νέα «Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα 1992», που ολοκληρώθηκε στην XXIII Γενική Συνέλευση της Ευρωπαϊκής Σεισμολογικής Επιτροπής (ESC) στην Πράγα το 1992.

Είναι εύλογο να αναφερθεί εδώ ότι η ESC πάντοτε έδινε μεγάλη προσοχή στην ταξινόμηση των σεισμών ως προς την ένταση. Το 1964 η κλίμακα MSK-64, που πήρε το όνομά της από τους πατέρες της V. Medvedev, W. Sponheuer και V. Karnik, συστήθηκε από την ESC και χρησιμοποιήθηκε ευρέως για σχεδόν τριάντα χρόνια με τη βασική της μορφή. Παρ' όλα αυτά, το 1981 παρουσιάστηκε μια τροποποιημένη έκδοση αυτής της κλίμακας.

Τώρα, μετά από περισσότερα από πέντε χρόνια εντατικής εργασίας, έχουμε στα χέρια μας μια βελτιωμένη Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα που συσσωματώνει όλες τις προηγούμενες κατακτήσεις σ' αυτή την κατεύθυνση. Συστήνεται από την Γενική Συνέλευση 1992 της ESC για γενική χρήση μέσα σε μια δοκιμαστική περίοδο τριών ετών. Αυτή φαίνεται μια χρήσιμη και σωστή διαδικασία για την εισαγωγή ενός διεθνούς προτύπου από την ESC.

Είναι αξιοσημείωτο ότι κατά κύριο λόγο οι μέθοδοι που είναι βασισμένες στη χρήση υπολογιστών για την αξιολόγηση μακροσεισμικών δεδομένων τελικά οδηγούν σε μια μεγαλύτερη σαφήνεια της κλίμακας. Πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι η κλίμακα έντασης μπορεί να βελτιωθεί μόνο με συνεχή συζήτηση και χρήση στην πράξη, αλλά νέες ιδέες δεν θα έπρεπε να αλλάξουν τις βασικές αρχές της κλίμακας. Η νέα κλίμακα που παρουσιάζεται εδώ είναι ένα καλό παράδειγμα του πώς να πραγματοποιηθεί αυτό το δύσκολο έργο.

Θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμησή μου στα μέλη της ομάδας εργασίας της ESC «Μακροσεισμικές Κλίμακες» και σε όλους τους άλλους συναδέλφους που συντέλεσαν στην παρούσα έκδοση. Είναι ένα εξαιρετικό αποτέλεσμα ενός από αυτά τα μακροχρόνια διεθνή εγχειρήματα, που υποστηρίζονται στην πρώτη γραμμή από την ESC. Θέλω να εκφράσω ιδιαίτερες ευχαριστίες στον συντάκτη και Πρόεδρο της Ομάδας Εργασίας Dr. G. Grunthal, Πότσταμ, και στους άλλους συντάκτες Dr. R. M. W. Musson, Εδιμβούργο, Dr. J. Schwarz, Βαϊμάρη, και στον Dr. M. Stucchi, Μιλάνο, για τις εκπληκτικές προσπάθειές τους.

Η ESC αναγνωρίζει την υποστήριξη του Συμβουλίου της Ευρώπης μέσω του Ευρωπαϊκού Κέντρου Γεωδυναμικής και Σεισμολογίας στο Λουξεμβούργο, την Ελβετική Ασφαλιστική Εταιρεία στη Ζυρίχη και τη Βαυαρική Ασφαλιστική Εταιρεία στο Μόναχο για την φιλοξενία των ομάδων εργασίας. Οι ευχαριστίες μας απευθύνονται επίσης και στο διοικητικό συμβούλιο των "Cahiers" για την έκδοση αυτού του έργου.

Πράγα, 8 Μαρτίου 1993
Ludvík Waniek
Πρόεδρος της ESC

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΤΗ 2^Η ΕΚΔΟΣΗ

Έχουν περάσει πέντε χρόνια από τότε που ο αείμνηστος αξιοσέβαστος συνάδελφός μας Ludvík Waniak, συνέγραψε την Εισαγωγή στην 1η έκδοση της Ευρωπαϊκής Μακροσεισμικής Κλίμακας. Σ' αυτά τα πέντε χρόνια, πολλά συνέβησαν για την εξέλιξη της κλίμακας. Η συστηνόμενη δοκιμαστική περίοδος των τριών ετών προέβλεπε τη χρήση της νέας κλίμακας όχι μόνο σε Ευρωπαϊκό πλαίσιο αλλά και σε διεθνές, που περιλάμβανε πολλούς από τους σημαντικότερους σεισμούς της περιόδου: Maharashtra 1993, Northridge 1994 και Kobe 1995 -για να αναφέρουμε μόνο τρεις.

Το 1996 το 11^ο Παγκόσμιο Συνέδριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας στο Ακαπούλκο περιλάμβανε μια ειδική θεματική συνεδρίαση σχετικά με την κλίμακα και την δοκιμή και εξέλιξή της. Αυτό είναι σημαντικό, δεδομένου ότι η EMS είναι η πρώτη κλίμακα έντασης που σχεδιάστηκε για να ενθαρρύνει τη συνεργασία μεταξύ μηχανικών και σεισμολόγων, αντί να προορίζεται για χρήση μόνο από σεισμολόγους. Αργότερα μέσα σ' αυτή τη χρονιά, η XXV Γενική Συνέλευση της ESC στο Ρέικιαβικ εξέδωσε μια απόφαση για να συστήσει την καθιέρωση της νέας κλίμακας στα κράτη μέλη της ESC.

Η νέα κλίμακα, μετά από αρκετή επιπλέον εργασία για να ενσωματώσει τα μαθήματα που προέκυψαν κατά τη δοκιμαστική περίοδο, είναι τώρα πλήρης, και με μεγάλη ικανοποίηση την παρουσιάζω στη σεισμολογική κοινότητα με την ελπίδα ότι θα υιοθετηθεί σ' όλη την Ευρώπη για μελλοντικές μακροσεισμικές έρευνες.

Μένει σε μένα να ευχαριστήσω τον Dr. G. Grünthal, τον υπεύθυνο της Ομάδας Εργασίας της ESC «Μακροσεισμικές Κλίμακες», τη συντακτική επιτροπή, και όλους τους άλλους συναδέλφους που συντέλεσαν σ' αυτή τη σημαντική προσπάθεια, για την εξαιρετική δουλειά που έκαναν. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και πάλι το Διοικητικό Συμβούλιο των Cahiers Européens de Géodynamique et de Séismologie που κατέστησαν δυνατή την έκδοση αυτού του τόμου.

Τεργέστη, 6 Απριλίου 1998
Peter Suhadolc
Γενικός Γραμματέας της ESC

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ	3
ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΤΗΝ 1 ^Η ΕΚΔΟΣΗ	4
ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΤΗ 2 ^Η ΕΚΔΟΣΗ	5
Περιεχόμενα	6
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΓΑΘΙΔΡΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ (EMS)	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ ΕΝΤΑΣΕΩΝ	14
ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΟ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	21
1 Εκτίμηση της έντασης	21
1.1 Η φύση της έντασης	21
1.2 Η δομή της κλίμακας έντασης EM-98	22
1.2.1 Τύποι κτηρίων και κατηγορίες τρωτότητας	22
1.2.2 Βαθμοί βλάβης	23
1.2.3 Ποσότητες	24
1.3 Ένταση και τόπος	25
1.4 Καθορισμός του βαθμού	26
1.5 Χρήση της αρνητικής πληροφορίας	27
1.6 Άκυρα πορίσματα	27
1.7 Υψηλά κτήρια και άλλες ειδικές περιπτώσεις	27
1.8 Επίδραση εδαφικών συνθηκών	28
1.9 Συμβολισμοί	28
2 Τρωτότητα	29
2.1 Τρωτότητα κτηρίων σε κλίμακες έντασης – μια ιστορική προοπτική	29
2.2 Τύποι κτηρίων και ο Πίνακας Τρωτότητας	30
2.2.1 Γενικές παρατηρήσεις για την αντοχή στο σεισμό	30
2.2.2 Κτήρια από τοιχοποιία	32
2.2.2.1 Λιθοδομές	32
2.2.2.2 Πλινθοδομές/τσιμεντολιθοδομές	32
2.2.2.3 Απλή λιθοδομή	32
2.2.2.4 Ογκώδης λιθοδομή	32
2.2.2.5 Άοπλα τούβλα/τσιμεντόλιθοι	33
2.2.2.6 Άοπλο τούβλο με δάπεδα από οπλισμένο σκυρόδεμα	33
2.2.2.7 Οπλισμένο τούβλο και εγκιβωτισμένη τοιχοποιία	33
2.2.3 Κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα	34
2.2.3.1 Κατασκευές με σκελετό οπλισμένου σκυροδέματος	34
2.2.3.2 Κατασκευές από τοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος	35
2.2.4 Χαλύβδινες κατασκευές	36
2.2.5 Ξύλινες κατασκευές	36
2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη σεισμική τρωτότητα των κτηρίων	37
2.3.1 Ποιότητα και έντεχνη κατασκευή	37
2.3.2 Κατάσταση συντήρησης	37
2.3.3 Κανονικότητα	37
2.3.4 Ελαστικότητα	38
2.3.5 Θέση	39
2.3.6 Ενίσχυση	39
2.3.7 Αντισεισμικός σχεδιασμός (ERD)	39
2.3.7.1 Αντισεισμικός σχεδιασμός σύμφωνα με τους κανονισμούς (ERD)	39
2.3.7.2 Σπουδαιότητα	41
2.3.7.3 Τελικό (πραγματικό) επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD) και κατηγορία τρωτότητας	41
2.4 Προσδιορισμός της κατηγορίας τρωτότητας	42

2.5 Παρατηρήσεις για την εισαγωγή νέων κτηριακών τύπων	43
3 Εκτίμηση της έντασης από ιστορικές αναφορές	45
3.1 Ιστορικά και αρχαιικά δεδομένα	45
3.2 Τύποι κατασκευών (κατηγορίες τρωτότητας) σε ιστορικές αναφορές	45
3.3 Συνολικός αριθμός κτηρίων	46
3.4 Ποιότητα των περιγραφών	47
3.5 Βλάβες σε μνημειακά κτήρια	47
4 Η χρήση των κλιμάκων έντασης	48
4.1 Παρατηρηθείσες και υπολογισθείσες εντάσεις	48
4.2 Συσχετίσεις με τις παραμέτρους εδαφικής κίνησης	48
4.3 Συσχέτιση με άλλες κλίμακες	48
4.4 Ποιότητα εκτίμησης έντασης και δείγμα δεδομένων	49
4.5 Ποιότητα και αβεβαιότητα	50
4.6 Καμπύλες βλαβών	51
4.7 Περιορισμοί στις δωδεκαβάθμιες κλίμακες	53
4.8 Ο υποτιθέμενος απών βαθμός στην κλίμακα MSK	53
5 Παραδείγματα που απεικονίζουν την κατάταξη των βλαβών στους κτηριακούς τύπους	55
6 Παραδείγματα εκτίμησης έντασης	81
7 Αποτελέσματα στο φυσικό περιβάλλον	87
8 Συνοπτική περιγραφή της EMS-98	91

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΓΑΘΙΔΡΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ (EMS)

Οι δραστηριότητες της ΟΕ «Μακροσεισμική κλίμακα» της Ευρωπαϊκής Σεισμολογικής Επιτροπής ESC για τη μακροσεισμική κλίμακα τέθηκαν σε λειτουργία με τη διανομή της Προκήρυξης για Υποβολή Προτάσεων με σκοπό την αναθεώρηση της Κλίμακας Εντάσεων MSK (τμήμα της δημοσιεύθηκε στο Δελτίο της ESC αρ. 3, Μάρτιος 1989) και στη συνέχεια με το φυλλάδιο «Σκέψεις και Προτάσεις για την Αναθεώρηση της Κλίμακας Εντάσεων MSK» (συντάκτης ο προεδρεύων της ΟΕ **G. Grünthal**, Πότσνταμ, Δεκέμβριος 1989) όπου, εκτός από τους συμμετέχοντες κατά τις συνεδριάσεις της ΟΕ που αναφέρονται παρακάτω, συνεισέφεραν με τις παρατηρήσεις τους και οι **P. Albini** (Μιλάνο), **N.N. Ambraseys** (Λονδίνο) και **A. Moroni** (Μιλάνο).

Οι συμμετέχοντες σε μία τουλάχιστον από τις συνεδριάσεις της ΟΕ «Μακροσεισμική κλίμακα» (Ζυρίχη 7-8 Ιουνίου 1990, Μόναχο 14-16 Μαΐου 1991, Βάλφερνταγκ, Λουξεμβούργο 16-18 Μαρτίου 1992) ήταν οι: **G. Grünthal**, **V. Kárnik** (Πράγα), **E. Kenjebaev** (Άλμα-Άτα), **A. Levret** (Φοτενέ-ο-Ροζ), **D. Mayer-Rosa** (Ζυρίχη), **R.M.W. Musson** (Εδιμβούργο), **O. Novotny** (Πράγα), **D. Postpischl** (Μπολόνια), **A.A. Roman** (Κισίνεφ), **H. Sandi** (Βουκουρέστι), **V. Schenk** (Πράγα), **Z. Schenková** (Πράγα), **J. Schwarz** (Βαϊμάρη), **V.I. Schumila** (Κισίνεφ), **M. Stucchi** (Μιλάνο), **H. Tiedemann** (Ζυρίχη), **J. Vogt** (Στρασβούργο), **J. Zahradník** (Πράγα), **T. Zsíros** (Βουδαπέστη).

Επιπλέον υλικό στις συνεδριάσεις της ΟΕ υποβλήθηκε π.χ. από την **R. Glavcheva** (Σόφια), **R. Gutdeutsch** (Βιέννη), **A.S. Taubaev** (Άλματυ). Η θεμελιώδης τελική παρουσίαση της Ευρωπαϊκής Μακροσεισμικής Κλίμακας EMS-92 δημιουργήθηκε από τους **G. Grünthal**, **R.M.W. Musson**, **J. Schwarz** και **M. Stucchi**, κατά τη διάρκεια συνεδρίασης στο Πότσνταμ, στις 17-21 Ιουνίου 1992 (για λεπτομέρειες όρα την Εισαγωγή στην προηγούμενη έκδοση EMS-92). Σχόλια στη δοκιμαστική έκδοση EMS-92 έγιναν από π.χ. τους **J.A. van Bodegraven** (ντε Μπίλτ), **J. Dewey** (Ντένβερ), **J. Grases** (Καράκας), **R. Gutdeutsch**, **V. Kárnik**, **D. Mayer-Rosa**, **A.A. Nikonov** (Μόσχα), **J. Rynn** (Ιντρούπιλυ), **H.-G. Schmidt** (Βαϊμάρη), **L. Serva** (Ρώμη), **N.V. Schebalin** (Μόσχα), **S. Sherman** (Ιρκούσκ), **P. Stahl** (Πό), **J. Vogt**. Το 11^ο Παγκόσμιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής στις 23-28 Ιουνίου 1996 παρουσίασε μία Ειδική Θεματική Συνεδρία για την Κλίμακα, κυρίως όσον αφορά στη διάσταση της αντισεισμικής μηχανικής, στη δοκιμή και ανάπτυξη της, με παρουσιάσεις από τους **J. Dewey**, **G. Grünthal**, **C. Gutierrez** (Μεξικό), **R.M.W. Musson**, **J. Schwarz** και **M. Stucchi**.

Η ενσωμάτωση των διδαγμάτων κατά τη διάρκεια των εφαρμογών της EMS-92 παγκοσμίως, πραγματοποιήθηκε από την συντακτική ομάδα της EMS-98, δηλαδή τους **G. Grünthal**, **R.M.W. Musson**, **J. Schwarz** και **M. Stucchi**, ξεκινώντας το 1996. Δύο συναντήσεις της ομάδας έγιναν με αυτό το σκοπό (7-9 Νοεμβρίου 1996 στο Εδιμβούργο, 26 Ιανουαρίου – 1 Φεβρουαρίου 1998 στο Πότσνταμ). Κατά την προετοιμασία της συνάντησης του Εδιμβούργου, οι **M. Dolce** (Ποτέντσα), **C. Carocci** (Ρώμη) και **A. Giuffré** (Ρώμη) συνεισέφεραν σε θέματα αντισεισμικής μηχανικής. Το τελικό στάδιο της εργασίας υποστηρίχθηκε από τους **D. Molin** (Ρώμη), **A. Tertulliani** (Ρώμη), **Th. Wenk** (Ζυρίχη), **H. Charlier** (Στουτγκάρδη) με την υποβολή φωτογραφιών που απεικονίζουν τους βαθμούς βλάβης, καθώς και από τον **Th. Wenk** ως προς τις συντονισμένες προσπάθειες σε συνεργασία με τη συντακτική ομάδα σε θέματα αντισεισμικής μηχανικής, τα οποία έχουν ενσωματωθεί την παρούσα έκδοση. Την τεχνική υποστήριξη παρείχε ο **Ch. Bosse** (Πότσνταμ).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός αυτής της έκδοσης του Cahier du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie είναι να παρουσιάσει την αναθεώρηση της 1^{ης} έκδοσης της Ευρωπαϊκής Μακροσεισμικής Κλίμακας (EMS-92) από την Ομάδα Εργασίας των Μακροσεισμικών Κλιμάκων της Ευρωπαϊκής Σεισμολογικής Επιτροπής (ESC) που δημοσιεύτηκε στο Τεύχος 7 του Cahier την άνοιξη του 1993.

Αυτή η νέα κλίμακα προτάθηκε από την XXIII Γενική Συνέλευση της ESC το 1992 για χρήση παράλληλα με τις υπάρχουσες κλίμακες για μια χρονική περίοδο τριών ετών, προκειμένου να συγκεντρωθεί η εμπειρία σε ρεαλιστικές συνθήκες, ειδικά στους πιο πειραματικούς τομείς της κλίμακας: στις κατηγορίες τρωτότητας και στις μελετημένες κατασκευές. Αυτές οι δοκιμές δεν περιορίστηκαν στην Ευρώπη. Πολλοί από τους κύριους σεισμούς των οποίων η ανάλυση χρησιμοποιήθηκε για την ενημέρωση της κλίμακας EMS-92 ήταν: Roermond/Ολλανδία 1992, Kilarí/ Ινδία 1993, Northridge/ΗΠΑ 1994, Kobe/Ιαπωνία 1995, Αίγιο/Ελλάδα 1995, Cariaco/Βενεζουέλα 1997 και Κεντρική Ιταλία 1997/1998.

Ενώ τα βήματα στην κατεύθυνση της δημιουργίας της πρώτης έκδοσης της EMS, που δημοσιεύτηκε το 1992, παρουσιάστηκαν συνοπτικά στην Εισαγωγή εκείνης της έκδοσης, οι γενικοί στόχοι για την εισήγηση μιας νέας Μακροσεισμικής Κλίμακας θα δοθούν εδώ σε σχέση με μια επισκόπηση των κυριότερων καινοτομιών που εισάγονται για την EMS-98, αναφορικά με τη δοκιμαστική έκδοση EMS-92.

Η βάση για την κατάρτιση της EMS ήταν η κλίμακα MSK, η οποία είναι επίσης μια αναθεώρηση που βασίζεται στην εμπειρία που ήταν διαθέσιμη στην αρχή της δεκαετίας του 60 από την εφαρμογή της κλίμακας Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS), της Τροποποιημένης Κλίμακας Mercalli (MM-31 και MM-56) και της κλίμακας Medvedev, που είναι επίσης γνωστή ως κλίμακα GEOFIAN, από το 1953. Από τον Medvedev προτάθηκαν περιορισμένες αλλαγές, που σχεδόν δεν διακρίνονται, το 1976 και το 1978. Εκείνη την εποχή είχε γίνει φανερό σε πολλούς χρήστες ότι η κλίμακα είχε ανάγκη από πολλές βελτιώσεις, περισσότερη σαφήνεια, και προσαρμογή ώστε να ενσωματώσει πρόσφατες κατασκευαστικές τεχνικές. Μια ανάλυση των προβλημάτων που προέκυπταν από τη χρήση της κλίμακας MSK-64 έγινε από μια Ειδική Ομάδα Επιστημόνων κατά τη διάρκεια μιας συνάντησης στην Ιένα τον Μάρτιο του 1980 (δημοσιεύτηκε στο Gerlands Beitr. Geophys., 1981, όπου ενσωματώθηκαν οι προγενέστερες προτάσεις του S.V. Medvedev). Οι συστάσεις για αλλαγές της κλίμακας από αυτή την ομάδα ειδικών ήταν γενικά ελάσσονος σημασίας. Αυτή η έκδοση χρησίμευσε σαν αρχική πλατφόρμα για τις δραστηριότητες της ΟΕ.

Μια από τις κύριες προθέσεις για τη δημιουργία της νέας κλίμακας ήταν να μην αλλάξει η εσωτερική δομή της. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα αξιολογήσεις έντασης που θα διέφεραν από τις προγενέστερες εφαρμογές της ευρέως χρησιμοποιούμενης δωδεκαβάθμιας κλίμακας και θα απαιτούσε μια αναταξινόμηση όλων των προγενέστερων εκτιμήσεων έντασης. Κάτι τέτοιο έπρεπε να αποφευχθεί πάση θυσία. Θα είχε ως συνέπεια μια πλήρη σύγχυση σε όλες τις μελέτες πάνω στη σεισμικότητα και στη σεισμική επικινδυνότητα που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από μακροσεισμικά δεδομένα.

Άλλες γενικές απόψεις που θεωρήθηκαν θεμελιώδεις για την αναθεώρηση ήταν οι παρακάτω:

- η σταθερότητα της κλίμακας, δηλ. μικρές διαφορές στη διάγνωση δεν θα έπρεπε να επιφέρουν μεγάλες διαφορές στην εκτιμώμενη ένταση. Πέραν αυτού, η κλίμακα θα έπρεπε να θεωρείται και να χρησιμοποιείται ως μια συμβιβαστική λύση, εφόσον καμιά κλίμακα έντασης δεν μπορεί να περιλάβει όλες τις δυνατές ασυμφωνίες μεταξύ διαγνώσεων που μπορεί να προκύψουν στην πράξη.
- τέτοιες ασυμφωνίες μπορούν επίσης να αντανakλούν διαφορές σε πολιτιστικές συνθήκες στις περιοχές όπου χρησιμοποιείται η κλίμακα
- η απλότητα χρήσης της κλίμακας

- η απόρριψη κάθε διόρθωσης έντασης λόγω συνθηκών εδάφους ή γεωμορφολογικών φαινομένων, επειδή οι λεπτομερείς μακροσεισμικές παρατηρήσεις θα έπρεπε να είναι απλώς ένα εργαλείο για την ανεύρεση και επεξεργασία τέτοιων φαινομένων ενίσχυσης
- η κατανόηση των τιμών έντασης ως αντιπροσωπευτικών για οποιοδήποτε χωριό, μικρή πόλη ή περιοχή μεγαλύτερης πόλης αντί να περιορίζονται σ' ένα σημείο (για ένα σπίτι, κλπ).

Τα συγκεκριμένα προβλήματα προς επίλυση από την ΟΕ για στις Μακροσεισμικές κλίμακες, στη βάση των απόψεων που προαναφέρθηκαν, ήταν:

- Η ανάγκη να περιληφθούν νέοι τύποι κτηρίων, ειδικά εκείνων που ενσωματώνουν στοιχεία αντισεισμικού σχεδιασμού, που δεν καλύπτονται από τις υπάρχουσες εκδόσεις της κλίμακας
- Η ανάγκη να αντιμετωπισθεί ένα διακριτό πρόβλημα μη γραμμικότητας στον ορισμό της κλίμακας στην ένωση των βαθμών VI και VII (το οποίο, μετά από διεξοδική συζήτηση για την προετοιμασία της EMS-92, καθώς και της EMS-98, αποδείχθηκε πλασματικό)
- Η ανάγκη να βελτιωθεί γενικά η σαφήνεια της διατύπωσης της κλίμακας
- Η ανάγκη να αποφασιστεί τι παραδοχή θα έπρεπε να γίνει ώστε να περιληφθούν πολυόροφα κτήρια για αξιολογήσεις έντασης
- Αν θα έπρεπε να περιληφθούν οδηγίες για εξομοίωση εντάσεων με φυσικές παραμέτρους ισχυρής εδαφικής κίνησης, μαζί με τα φάσματά τους
- Ο σχεδιασμός μιας κλίμακας που να μην ικανοποιεί μόνο τις ανάγκες των σεισμολόγων, αλλά επίσης και τις ανάγκες των πολιτικών μηχανικών και άλλων πιθανών χρηστών
- Ο σχεδιασμός μιας κλίμακας που θα μπορούσε να είναι επίσης κατάλληλη για την αξιολόγηση ιστορικών σεισμών
- Η ανάγκη για μια κριτική επανεξέταση της χρήσης των μακροσεισμικών φαινομένων που είναι ορατά στο έδαφος (βραχοπτώσεις, ρωγμές, κλπ.) και η έκθεση υπόγειων κατασκευών σε δονήσεις.

Ο όρος «μακροσεισμική ένταση» χρησιμοποιείται εδώ εξ ολοκλήρου με την έννοια μιας ταξινόμησης της σφοδρότητας της σεισμικής δόνησης με βάση τα αποτελέσματα που παρατηρούνται σε μια περιορισμένη περιοχή.

Τα μέλη της ΟΕ έχουν επίγνωση ότι οι δωδεκαβάθμιες μακροσεισμικές κλίμακες είναι στην πραγματικότητα κλίμακες δέκα βαθμών. Δηλαδή ένταση I (1) σημαίνει ότι τίποτε δεν έγινε αντιληπτό και οι εντάσεις XI και XII είναι, εκτός από την πολύ περιορισμένη πρακτική σημασία τους, δύσκολο να διακριθούν. Αν κανείς λάβει υπόψη τη σπάνια πρακτική χρήση των εντάσεων II και XI, καθώς και το γεγονός ότι η ένταση XII προσδιορίζει το μέγιστο των αποτελεσμάτων, τα οποία δεν αναμένεται να συμβούν στην πραγματικότητα, το αποτέλεσμα είναι μια κλίμακα μόλις οκτώ βαθμών. Αλλά, όπως προαναφέρθηκε, για να αποφευχθεί οποιαδήποτε σύγχυση, τηρείται η κλασσική αρίθμηση.

Παρουσιάστηκαν σοβαρά προβλήματα με τον χειρισμό μελετημένων κτηρίων ή αντισεισμικών κατασκευών για αξιολογήσεις έντασης. Οι αιτίες γι' αυτό ήταν:

- Η περιορισμένη γνώση και εμπειρία μέχρι τώρα σχετικά με τη συστηματοποίηση των μορφών σεισμικών βλαβών γι' αυτή την κατηγορία κτηρίων.
- Η μεγάλη ποικιλία συστημάτων ταξινόμησης των μελετημένων κατασκευών στους αντισεισμικούς κανονισμούς.
- Διαφωνίες μεταξύ μηχανικών και σεισμολόγων σχετικά με τη χρήση της έντασης και σχετικά θέματα έρευνας (π.χ. μια τάση μεταξύ μηχανικών να υπερεκτιμούν τη σημασία των ενόργανων δεδομένων σχετικά με τις εντάσεις και επομένως ο κίνδυνος να υπερτιμηθεί η έννοια της έντασης).
- Η συχνά ανακριβής σεισμολογική προσέγγιση στην εκτίμηση της έντασης σχετικά με τους κτηριακούς τύπους που χρησιμοποιούνταν προηγούμενα στις κλίμακες MSK-64 ή MM-56. Δηλαδή η γενική παράβλεψη της ποιότητας κατασκευής, της δομικής

κανονικότητας, της αντοχής των υλικών, της κατάστασης συντήρησης, κ.ο.κ., καθώς και η ανάγκη να ληφθούν υπ' όψη θέματα όπως οι συνθήκες κλιμάκωσης.

Ήταν ήδη αποδεκτό για την κλίμακα EMS-92 ότι τα μελετημένα κτήρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκτίμηση έντασης μόνο βάσει των αρχών αντισεισμικού σχεδιασμού. Βασικό βήμα για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων ήταν η εισαγωγή του Πίνακα Τρωτότητας που προσφέρει τη δυνατότητα χειρισμού σε ένα πλαίσιο διαφορετικών ειδών κτηρίων και της ποικιλίας του πραγματικού εύρους της τρωτότητάς τους. Σε προηγούμενες εκδόσεις κλιμάκων οι κτηριακοί τύποι καθορίζονταν με ένα αρκετά περιορισμένο τρόπο, μόνο με τον τύπο κατασκευής. Αυτός ο πίνακας τρωτότητας, ως θεμελιώδες τμήμα της EMS, ενσωματώνει τα μελετημένα και τα μη μελετημένα κτήρια σ' ένα ενιαίο πλαίσιο. Ήταν σαφές από την αρχή ότι η έκδοση EMS-92 με τις παραχωρήσεις που υιοθετεί έπρεπε να νοηθεί ως μια πειραματική ή δοκιμαστική λύση, συνδεδεμένη με την δέσμευση για τη συγκέντρωση περισσότερων πληροφοριών και εμπειρίας για το θέμα αυτό, προκειμένου να επιτευχθεί η εισαγωγή αναγκαίων βελτιώσεων. Γι' αυτό το σκοπό συμφωνήθηκε μια περίοδος τριών χρόνων. Ζητήθηκε από τους χρήστες αυτής της έκδοσης να υποβάλουν τα σχόλιά τους για περαιτέρω βελτιώσεις στον πρόεδρο της ΟΕ «Μακροσεισμικές Κλίμακες».

Στο τελικό στάδιο της προβλεπόμενης δοκιμαστικής περιόδου τριών χρόνων της EMS-92 και μετά από εφαρμογές σ' όλο τον κόσμο έγινε σαφές ότι η προσωπική κρίση που χρησιμοποιείται στην εκτίμηση της έντασης μπορεί να μειωθεί με τη νέα κλίμακα. Αυτό δεν σημαίνει ότι η εκτίμηση της έντασης με τη νέα κλίμακα είναι ευκολότερη σ' όλες τις περιπτώσεις - αλλά οι χρήστες αντιλαμβάνονται τις προβληματικές περιπτώσεις μ' ένα πιο άμεσο τρόπο. Η εισαγωγή του πίνακα τρωτότητας αναγνωρίστηκε ευρέως, καθώς και η εισαγωγή των νέων ορισμών των βαθμών βλάβης και ειδικά ο Οδηγός Χρήσης της Κλίμακας Έντασης και τα διάφορα Παραρτήματα. Νέοι κτηριακοί τύποι ή αυτοί που δεν καλύπτονται από τον παρόντα πίνακα τρωτότητας μπορούν να προστεθούν με κατάλληλο τρόπο. Γενικά, οι τεχνικές απόψεις που ενσωματώθηκαν στη νέα κλίμακα εκτιμήθηκαν από τους μηχανικούς. Αποτέλεσαν θέμα συζήτησης σε διεθνή συνέδρια αντισεισμικής τεχνολογίας, και ακόμη μιας Ειδικής Θεματικής Συνάντησης σχετικά με την EMS-92 στο Παγκόσμιο Συνέδριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας στο Acapulco το 1996. Τα νέα στοιχεία της EMS με τη μορφή του πίνακα τρωτότητας και των βαθμών βλάβης διευκόλυνε τη χρήση της κλίμακας από ασφαλιστές, προγραμματιστές και υπεύθυνους κέντρων αποφάσεων για να εξαγάγουν σενάρια βλαβών ή κινδύνου για συγκεκριμένες εντάσεις. Εκφράσθηκε κριτική κυρίως για την υποτίμηση του ρόλου των αποτελεσμάτων σε φυσικό περιβάλλον στην εκτίμηση της έντασης. Οι εφαρμογές της EMS-92 αποσαφήνισαν ότι μόνο τα δοκιμαστικά της μέρη, δηλαδή η χρήση των μελετημένων κτηρίων, χρειάζονταν σημαντική τροποποίηση.

Η XXV Γενική Συνέλευση της ESC στο Reykjavik το 1996, εξέδωσε μια απόφαση που συνιστά την υιοθέτηση της νέας μακροσεισμικής κλίμακας μεταξύ των χωρών-μελών της Ευρωπαϊκής Σεισμολογικής Επιτροπής, λαμβάνοντας υπόψη ότι θα πρέπει να αφιερωθεί επιπλέον προσπάθεια για να ξεπεραστούν πολλές ασυνέπειες στη χρήση των μελετημένων κτηρίων.

Ενώ ήταν σε εξέλιξη οι μελέτες της δομικής μορφής πολλών σεισμών, π.χ. στο Northridge/ΗΠΑ 1994, Kobe/Ιαπωνία 1995, Αίγιο/Ελλάδα 1995, πολλά άλλα δραματικά γεγονότα, όπως στο Dinar/Τουρκία 1996, Carriaco/Βενεζουέλα 1997 και Κεντρική Ιταλία 1997/98, προσέφεραν επιπλέον πληροφορίες και εμπειρία. Τελικά οδήγησαν, παρ' όλο που δεν υπήρχε πλήρης συμφωνία, σε τροποποιήσεις του πίνακα τρωτότητας σε σχέση με τις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος (ΟΣ), το επίπεδο του αντισεισμικού σχεδιασμού τους και το διαχωρισμό τους σε κατασκευές από τοιχεία ΟΣ και σε κατασκευές από σκελετό ΟΣ, καθώς και στην εισαγωγή των μεταλλικών κατασκευών. Η διατύπωση των ταξινομήσεων των βαθμών βλάβης ήταν καινοτόμος σε μερικά σημεία της. Οι βλάβες στα κτήρια ως μέρος των ορισμών των βαθμών έντασης διευθετήθηκαν με μεγαλύτερη σαφήνεια.

Τα προηγούμενα Παραρτήματα της EMS-92 ενσωματώθηκαν στη νέα ενότητα της EMS-98 με τίτλο Οδηγίες και Υλικό Υποστήριξης. Οι συντάκτες είναι ενήμεροι των συχνά ισχυρών διαφορών στο χαρακτήρα πολλών από τις υπο-ενότητες του. Το παλιό Παράρτημα Β για τις μελετημένες κατασκευές υπέστη σημαντικές αλλαγές. Αυτές οι απόψεις εξετάζονται τώρα κυρίως μέσα στην ενότητα περί Τρωτότητας, και τώρα είναι καλύτερα ενοποιημένες με την κλίμακα ως σύνολο. Τμήματα του προηγούμενου Οδηγού έχουν τροποποιηθεί, συμπληρωθεί και αναδιευθετηθεί. Οι περισσότερες φωτογραφίες του προηγούμενου Παραρτήματος Α που απεικονίζουν ταξινομήσεις τρωτότητας και βαθμών βλάβης αντικαταστάθηκαν από άλλα παραδείγματα από την Ευρώπη και Ιαπωνία. Τα σχόλια είναι τώρα περιορισμένα σε τύπους κατασκευών και βαθμούς βλάβης, εφόσον θα χρειαζόταν μία άλλη σειρά παραδειγμάτων για να εξηγήσουν την τρωτότητα. Τα προηγούμενα παραδείγματα (πρώην Παράρτημα D) έχουν συμπληρωθεί από μία παρουσίαση όπου προσδιορίζεται η ένταση από πρώιμο ιστορικό υλικό. Οι περιορισμοί και η επιχειρηματολογία για το πώς τα αποτελέσματα στο φυσικό περιβάλλον (πρώην Παράρτημα C) μπορούν να ενσωματωθούν στην μακροσεισμική πρακτική αναθεωρήθηκαν υπό το φως των νέων ερευνών. Σύμφωνα με επιθυμίες που εκφράστηκαν πρόσφατα, δημιουργήθηκε μία σύντομη μορφή της EMS-98 (υπο-ενότητα 8). Παρόλο που διατυπώνεται σαφώς στην αρχή της σύντομης μορφής της κλίμακας ότι δεν είναι κατάλληλη για εκτίμηση της έντασης, υπάρχει ένας κίνδυνος εσφαλμένης χρήσης της. Η σύντομη μορφή συμπεριλαμβάνεται για εκπαιδευτικούς σκοπούς, π.χ. για τα σχολεία ή τα ΜΜΕ, ή αλλιώς για να δώσει μία σύντομη εξήγηση της σπουδαιότητας των αριθμών της κλίμακας σε ένα ακροατήριο το οποίο αδυνατεί να αφομοιώσει την πλήρη έκδοση της κλίμακας.

Είναι πέρα από το σκοπό της εισαγωγής να ασχοληθεί με όλα τα «αν» και «αλλά» που αναπόφευκτα προέκυψαν κατά τη διάρκεια της αναθεώρησης τόσο της EMS-92, όσο και της EMS-98. Σε κάθε βήμα της εργασίας έπρεπε να βρεθεί η σωστή ισορροπία μεταξύ της επιδιωκόμενης συνέπειας στην αναθεωρημένη έκδοση ως προς την αρχική έκδοση και ορισμένων θαυμάσιων, προφανώς, ιδεών για τη βελτίωση της κλίμακας, οι οποίες όμως υπερέβαιναν τους προκαθορισμένους σκοπούς των δραστηριοτήτων της ΟΕ. Μερικά από αυτά τα θέματα μνημονεύονται στην Ενότητα Οδηγίες και Υλικό Υποστήριξης (π.χ. το πρόβλημα της συσχέτισης των εντάσεων με τις παραμέτρους της εδαφικής κίνησης). Άλλα θέματα θα μπορούσαν να αποτελέσουν τα αντικείμενα ενδιαφέροντος περαιτέρω δραστηριοτήτων. Ένα από αυτά θα είναι, χωρίς αμφιβολία, η εισαγωγή φορμαλιστικών διεργασιών (ή αλγορίθμων) για τον αριθμητικό υπολογισμό της μακροσεισμικής έντασης. Πρέπει να τονιστεί ότι ο σκοπός της ΟΕ δεν ήταν η ανάπτυξη τέτοιων αλγορίθμων – αλλά μόνο η δημιουργία της βάσης για αυτούς, δηλαδή να παρουσιάσει ενημερωμένους, όσο το δυνατό σαφείς ποιοτικούς, περιγραφικούς προσδιορισμούς του τι θα πρέπει όντως να αντιπροσωπεύουν οι διαφορετικές εντάσεις.

Η όλη διαδικασία κατάρτισης πρώτα της EMS-92 και τελικά της EMS-98 διήρκεσε σχεδόν δέκα χρόνια – συμπεριλαμβανομένων και μερικών μακροχρόνιων διαλειμμάτων, απαραίτητων για τη συλλογή περισσότερης εμπειρίας. Η παρούσα έκδοση της EMS θα πρέπει να αντιπροσωπεύει το τελικό στάδιο αυτών των δραστηριοτήτων για την αναθεώρηση της κλίμακας. Η περαιτέρω μακροσεισμική πρακτική ίσως επιτρέψει μία βαθύτερη ενόραση στα σύνθετα ζητήματα της εκτίμησης της έντασης. Οι μελλοντικές εφαρμογές των νέων αναγκών ίσως αποτελέσουν τη βάση για περισσότερες βελτιώσεις του νέου αυτού εργαλείου σεισμολογικής και μηχανικής πρακτικής για την κατάταξη των αποτελεσμάτων των σεισμών στους ανθρώπους, στα αντικείμενα του ανθρώπινου περιβάλλοντος ή στα κτήρια, ως ένα ουσιαστικό στοιχείο της ανθρώπινης κοινωνίας.

ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ ΕΝΤΑΣΕΩΝ

Ταξινομήσεις που χρησιμοποιούνται στην Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα (EMS)

Κατάταξη κατασκευών (κτηρίων) σε κατηγορίες τρωτότητας (Πίνακας Τρωτότητας)

	Τύπος κατασκευής	Κατηγορία τρωτότητας					
		A	B	C	D	E	F
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	Αργολιθοδομή Χαλαρή λιθοδομή	○					
	Πλινθοδομή	○—					
	Απλή λιθοδομή	...○					
	Λιθοδομή με μεγάλους λίθους		—○...				
	Άοπλη λιθοδομή / Τσιμεντόλιθος	...○...					
	Άοπλη λιθοδομή με πλάκες οπλ. σκυροδέματος		—○...				
	Οπλισμένη πλινθοδομή ή εγκιβωτισμένη τοιχοποιία			...○—			
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	Σκελετός χωρίς αντισεισμική σχεδίαση (ΑΣ)	...—○...					
	Σκελετός με μέτριο βαθμό ΑΣ		...—○—				
	Πλαίσιο με υψηλό βαθμό ΑΣ			...—○—			
	Τοιχεία χωρίς ΑΣ		...○—				
	Τοιχεία με μέτριο βαθμό ΑΣ			...○—			
	Τοιχεία με υψηλό βαθμό ΑΣ				...○—		
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ	Χαλύβδινες κατασκευές			...—○—			
ΞΥΛΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	Ξύλινες κατασκευές		...—○—				

○ πιθανότερη κατηγορία τρωτότητας — πιθανό εύρος
..... λιγότερο πιθανό εύρος, ειδικές περιπτώσεις

Οι κτηριακοί τύποι από τοιχοποιία νοούνται ως, π.χ. απλή λιθοδομή, ενώ οι κτηριακοί τύποι από οπλισμένο σκυρόδεμα (ΟΣ) νοούνται ως, π.χ. σκελετός ΟΣ ή τοιχείο ΟΣ.
Βλ. ενότητα 2 των Οδηγιών και Υλικού Υποβάθρου για περισσότερες λεπτομέρειες, επίσης σε σχέση με τη χρήση των κτηρίων με αντισεισμικό σχεδιασμό.

Ταξινόμηση βλαβών

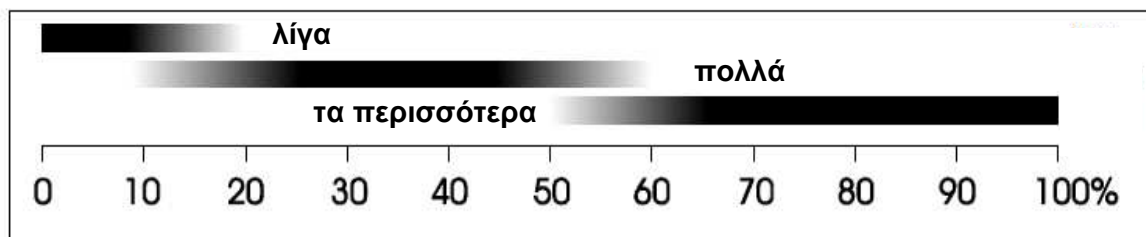
Παρατήρηση: ο τρόπος με τον οποίο ένα κτήριο παραμορφώνεται υπό την επήρεια σεισμικού φορτίου εξαρτάται από τον κτηριακό τύπο. Ως μια ευρεία ταξινόμηση μπορεί κανείς να ομαδοποιήσει τύπους κτηρίων από τοιχοποιία καθώς και κτήρια από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Κατηγορίες βλαβών σε κτήρια από τοιχοποιία	
	<p>Βαθμός 1: <i>Αμελητέες έως ελαφρές βλάβες (καθόλου δομικές βλάβες, ελαφρές μη δομικές βλάβες)</i></p> <p>Τριχοειδείς ρωγμές σε λίγους τοίχους. Πτώση μόνο μικρών κομματιών επιχρίσματος. Πτώση χαλαρών λίθων από τα ανώτερα τμήματα του κτηρίου σε πολύ λίγες περιπτώσεις.</p>
	<p>Βαθμός 2: <i>Μέτριες βλάβες (ελαφρές δομικές βλάβες, μέτριες μη δομικές βλάβες)</i></p> <p>Ρωγμές σε πολλούς τοίχους Πτώση αρκετά μεγάλων κομματιών επιχρίσματος. Μερική κατάρρευση καπνοδόχων.</p>
	<p>Βαθμός 3: <i>Σημαντικές έως βαριές βλάβες (μέτριες δομικές βλάβες, βαριές μη δομικές βλάβες)</i></p> <p>Μεγάλες και εκτεταμένες ρωγμές στους περισσότερους τοίχους. Αποκόλληση κεραμιδιών. Θραύση σε καπνοδόχους κατά μήκος της γραμμής της οροφής. Βλάβες σε μεμονωμένα μη δομικά στοιχεία (χωρίσματα, αετώματα).</p>
	<p>Βαθμός 4: <i>Πολύ βαριές βλάβες (βαριές δομικές βλάβες, πολύ βαριές μη δομικές βλάβες)</i></p> <p>Σοβαρές αστοχίες στους τοίχους. Μερική δομική αστοχία οροφών και δαπέδων.</p>
	<p>Βαθμός 5: <i>Καταστροφή (πολύ βαριές δομικές βλάβες)</i></p> <p>Ολική ή σχεδόν ολική κατάρρευση</p>

Ταξινόμηση βλαβών

Κατηγορίες αστοχιών σε κτήρια από οπλισμένο σκυρόδεμα	
	<p>Βαθμός 1: <i>Αμελητέες έως ελαφρές βλάβες (καθόλου δομικές βλάβες, ελαφρές μη δομικές βλάβες)</i></p> <p>Λεπτές ρωγμές στο επίχρισμα πάνω από στοιχεία του σκελετού ή σε τοίχους στη βάση. Λεπτές ρωγμές σε χωρίσματα και τοίχους πληρώσεως.</p>
	<p>Βαθμός 2: <i>Μέτριες βλάβες (ελαφρές δομικές βλάβες, μέτριες μη δομικές βλάβες)</i></p> <p>Ρωγμές σε υποστυλώματα και δοκούς του φέροντος σκελετού και σε δομικούς τοίχους. Ρωγμές σε χωρίσματα και τοίχους πληρώσεως. Πτώση σαθρών επενδύσεων και επιχρισμάτων. Πτώση κονιάματος από τους αρμούς των πανέλων τοιχοποιίας.</p>
	<p>Βαθμός 3: <i>Σημαντικές έως βαριές βλάβες (μέτριες δομικές βλάβες, βαριές μη δομικές βλάβες)</i></p> <p>Ρωγμές στα υποστυλώματα και στους κόμβους δοκών και υποστυλωμάτων των σκελετών στη βάση και στους αρμούς συνδεδεμένων τοιχείων. Θρυμματισμός επικάλυψης οπλισμού, παραμόρφωση ράβδων οπλισμού. Μεγάλες ρωγμές σε χωρίσματα και τοίχους πλήρωσης, αστοχία ανεξάρτητων πανέλλων πλήρωσης</p>
	<p>Βαθμός 4: <i>Πολύ βαριές βλάβες (βαριές δομικές βλάβες, πολύ βαριές μη δομικές βλάβες)</i></p> <p>Μεγάλες ρωγμές στα δομικά στοιχεία με αστοχία του σκυροδέματος σε θλίψη και θραύση των ράβδων οπλισμού. Αστοχία πρόσφυσης των οπλισμών των δοκών,, κλίση υποστυλωμάτων. Κατάρρευση λίγων υποστυλωμάτων ή ενός μεμονωμένου ανώτερου ορόφου.</p>
	<p>Βαθμός 5: <i>Καταστροφή (πολύ βαριές δομικές βλάβες)</i></p> <p>Κατάρρευση ισογείου ή μέρους (π.χ. πτέρυγας) κτηρίων.</p>

Καθορισμός ποσοτήτων



Καθορισμός των βαθμών έντασης

Διευθέτηση της κλίμακας

- α) Αποτελέσματα στους ανθρώπους,
- β) Αποτελέσματα στα αντικείμενα και τη φύση
(αποτελέσματα στο έδαφος και εδαφική αστοχία εξετάζονται ειδικά στην Ενότητα 7)
- γ) Βλάβες στα κτήρια.

Εισαγωγικό σχόλιο

Οι βαθμοί έντασης μπορεί να περιέχουν και τα αποτελέσματα της δόνησης του αντίστοιχου χαμηλότερου βαθμού(ών), όταν τα αποτελέσματα αυτά δεν αναφέρονται ρητά.

I. Μη αισθητός

- α) Δεν γίνεται αισθητός, ακόμα και υπό τις ευνοϊκότερες συνθήκες.
- β) Κανένα αποτέλεσμα.
- γ) Απουσία βλαβών.

II. Ανεπαίσθητος

- α) Η δόνηση είναι αισθητή μόνο σε μεμονωμένες περιπτώσεις (<1%) ατόμων που αναπαύονται και σε ειδικές θέσεις μέσα στα κτήρια.
- β) Κανένα αποτέλεσμα.
- γ) Απουσία βλαβών.

III. Ασθενής

- α) Ο σεισμός είναι αισθητός μέσα σε κτήρια από λίγους. Όσοι αναπαύονται αισθάνονται μια ταλάντωση ή ελαφρό τρέμουλο.
- β) Ανηρητημένα αντικείμενα αιωρούνται ελαφρά.
- γ) Απουσία βλαβών.

IV. Ευρέως αισθητός

- α) Ο σεισμός είναι αισθητός από πολλούς μέσα σε κτήρια και από πολύ λίγους έξω. Λίγοι ξυπνούν. Το επίπεδο της ταλάντωσης δεν προκαλεί φόβο. Η ταλάντωση είναι μέτρια. Οι παρατηρητές αισθάνονται ελαφρό τρέμουλο ή ταλάντωση του κτηρίου, δωματίου, κρεβατιού, καρέκλας κλπ.
- β) Πιατικά, ποτήρια, παράθυρα και πόρτες κροτούν. Ανηρητημένα αντικείμενα αιωρούνται. Σε ορισμένες περιπτώσεις ελαφρά έπιπλα δονούνται εμφανώς. Σε ορισμένες περιπτώσεις ξύλινες κατασκευές τρίζουν.
- γ) Απουσία βλαβών.

V. Ισχυρός

- α) Ο σεισμός είναι αισθητός από τους περισσότερους μέσα στα κτήρια και από λίγους έξω. Λίγοι φοβούνται και τρέχουν έξω. Πολλοί ξυπνούν. Οι παρατηρητές αισθάνονται μια δυνατή ταλάντωση ή τράνταγμα όλου του κτηρίου, δωματίου ή επίπλου.

β) Ανηρτημένα αντικείμενα αιωρούνται αισθητά. Πιατικά, ποτήρια, παράθυρα και πόρτες χτυπούν μεταξύ τους. Μικρά ασταθή αντικείμενα μπορεί να μετακινηθούν ή να πέσουν. Πόρτες και παράθυρα ανοιγοκλείνουν. Υγρά ταλαντώνονται και μπορεί να χυθούν από γεμάτα δοχεία. Τα ζώα μέσα στο σπίτι μπορεί να είναι ανήσυχα.

γ) Βλάβες βαθμού 1 σε λίγα κτήρια τρωτότητας Α και Β.

VI. Ελαφρά βλαβερός

α) Ο σεισμός είναι αισθητός από τους περισσότερους μέσα στα κτήρια και από πολλούς έξω. Λίγοι χάνουν την ισορροπία τους. Πολλοί φοβούνται και τρέχουν έξω.

β) Μικρά αντικείμενα κανονικής σταθερότητας μπορεί να πέσουν και έπιπλα μπορεί να μετακινηθούν. Σε ορισμένες περιπτώσεις πιάτα και ποτήρια μπορεί να σπάσουν. Τα κατοικίδια ζώα (ακόμα και όταν είναι έξω) μπορεί να τρομάξουν.

γ) Βλάβες βαθμού 1 σε πολλά κτήρια τρωτότητας Α και Β.

Βλάβες βαθμού 2 σε λίγα κτήρια τρωτότητας Α και Β.

Βλάβες βαθμού 1 σε λίγα κτήρια τρωτότητας C.

VII. Βλαβερός

α) Οι περισσότεροι φοβούνται και προσπαθούν να τρέξουν έξω. Πολλοί έχουν δυσκολία να σταθούν όρθιοι, κυρίως στους ανώτερους ορόφους.

β) Έπιπλα μετακινούνται και ασταθή έπιπλα μπορεί να ανατραπούν. Μεγάλος αριθμός αντικειμένων πέφτουν από τα ράφια. Το νερό ξεχύνεται από δοχεία, δεξαμενές και λίμνες.

γ) Βλάβες βαθμού 3 σε πολλά κτήρια τρωτότητας Α· σε λίγα βαθμού 4.

Βλάβες βαθμού 2 σε πολλά κτήρια τρωτότητας Β· σε λίγα βαθμού 3.

Βλάβες βαθμού 2 σε λίγα κτήρια τρωτότητας C.

Βλάβες βαθμού 1 σε λίγα κτήρια τρωτότητας D.

VIII. Βαριά βλαβερός

α) Πολλοί έχουν δυσκολία να σταθούν όρθιοι, ακόμα και έξω.

β) Έπιπλα μπορεί να ανατραπούν. Αντικείμενα όπως τηλεοράσεις, γραφομηχανές κλπ. πέφτουν στο έδαφος. Ταφόπλακες ενίοτε μετακινούνται, περιστρέφονται ή ανατρέπονται. Σε πολύ χαλαρό έδαφος μπορεί να παρατηρηθεί κυματισμός.

γ) Βλάβες βαθμού 4 σε πολλά κτήρια τρωτότητας Α· σε λίγα βαθμού 5.

Βλάβες βαθμού 3 σε πολλά κτήρια τρωτότητας Β· σε λίγα βαθμού 4.

Βλάβες βαθμού 2 σε πολλά κτήρια τρωτότητας C· σε λίγα βαθμού 3.

Βλάβες βαθμού 2 σε λίγα κτήρια τρωτότητας D.

IX. Καταστρεπτικός

α) Γενικός πανικός. Άνθρωποι μπορεί να πέσουν με βία στο έδαφος.

β) Πολλά μνημεία και σύλοι ανατρέπονται ή περιστρέφονται. Παρατηρείται κυματισμός σε χαλαρό έδαφος.

γ) Βλάβες βαθμού 5 σε πολλά κτήρια τρωτότητας Α.

Βλάβες βαθμού 4 σε πολλά κτήρια τρωτότητας Β· σε λίγα βαθμού 5.

Βλάβες βαθμού 3 σε πολλά κτήρια τρωτότητας C· σε λίγα βαθμού 4.

Βλάβες βαθμού 2 σε πολλά κτήρια τρωτότητας D· σε λίγα βαθμού 3.

Βλάβες βαθμού 2 σε λίγα κτήρια τρωτότητας E.

X. Πολύ καταστρεπτικός

- γ) Βλάβες βαθμού 5 στα περισσότερα κτήρια τρωτότητας Α.
Βλάβες βαθμού 5 σε πολλά κτήρια τρωτότητας Β.
Βλάβες βαθμού 4 σε πολλά κτήρια τρωτότητας C· σε λίγα βαθμού 5.
Βλάβες βαθμού 3 σε πολλά κτήρια τρωτότητας D· σε λίγα βαθμού 4.
Βλάβες βαθμού 2 σε πολλά κτήρια τρωτότητας E· σε λίγα βαθμού 3.
Βλάβες βαθμού 2 σε λίγα κτήρια τρωτότητας F.

XI. Συντριπτικός

- γ) Βλάβες βαθμού 5 στα περισσότερα κτήρια τρωτότητας Β.
Βλάβες βαθμού 4 στα περισσότερα κτήρια τρωτότητας C· σε πολλά βαθμού 5.
Βλάβες βαθμού 4 σε πολλά κτήρια τρωτότητας D· σε λίγα βαθμού 5.
Βλάβες βαθμού 3 σε πολλά κτήρια τρωτότητας E· σε λίγα βαθμού 4.
Βλάβες βαθμού 2 σε πολλά κτήρια τρωτότητας F· σε λίγα βαθμού 3.

XII. Ολοκληρωτικά συντριπτικός

- γ) Όλα τα κτήρια τρωτότητας Α, Β και σχεδόν όλα τρωτότητας C καταστρέφονται. Τα περισσότερα κτήρια τρωτότητας D, E και F καταστρέφονται. Τα αποτελέσματα του σεισμού έχουν προσεγγίσει τα μέγιστα δυνατά αποτελέσματα.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΟ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

1 Εκτίμηση της έντασης

1.1 Η φύση της έντασης

Όπως διατυπώθηκε στην εισαγωγή της κλίμακας, η ένταση εδώ θεωρείται ως η κατάταξη της σφοδρότητας της εδαφικής κίνησης με βάση τα αποτελέσματά της που παρατηρήθηκαν σε μία περιορισμένη περιοχή. Οι κλίμακες εντάσεων, αλλά και η έννοια της ίδιας της έντασης, εξελίχθηκαν κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα. Ξεκινώντας από μία καθαρά ιεραρχική κατάταξη των αποτελεσμάτων, έγιναν όλο και περισσότερες προσπάθειες να αναπτυχθεί η ένταση ως ένα προσεγγιστικό όργανο μέτρησης της σεισμικής δόνησης και, τουλάχιστον, η χρήση της έγινε υπ' αυτή την έννοια.

Συνεπάγεται ότι μία κλίμακα εντάσεων μοιάζει κατά κάποιον τρόπο με το σύστημα της στενογραφίας, με την έννοια ότι επιτρέπει τη συμπύκνωση μίας φλύαρης περιγραφής των αποτελεσμάτων του σεισμού σε ένα μοναδικό σύμβολο (συνήθως ένα αριθμό). Η περιγραφή της έντασης με αυτό τον τρόπο είναι χρήσιμη για να παρουσιαστούν οι περιορισμοί στη σύλληψή της. Η ένταση είναι περισσότερο περιγραφική υπό την έννοια της αφήγησης σε πεζό λόγο, παρά αναλυτική, όπως η μέτρηση που παρέχει ένα όργανο. Η ένταση είναι ικανή να αναλυθεί και να ερμηνευθεί, και αποτελεί όντως μία πολύ χρήσιμη παράμετρο, αφού η χρησιμότητά της υπερβαίνει ό,τι θα μπορούσε να γίνει με μία απλή συρραφή περιγραφών. Θα πρέπει, όμως, ο χρήστης της να έχει πάντα υπόψη τη βασική της φύση, έτσι ώστε να μην την υπερφορτίζει με προσδοκίες που να αδυνατεί να αντιμετωπίσει.

Οι διάφορες κλίμακες έντασης αποτελούνται από μία σειρά περιγραφών των αποτελεσμάτων των διαφόρων βαθμών σεισμικής δόνησης σε ένα αριθμό αντικειμένων που μπορεί να συναντήσει κανείς στο καθημερινό περιβάλλον. Αυτά τα αντικείμενα μπορούν να δράσουν ως αισθητήρες, εφόσον η αντίδρασή τους στη δόνηση χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της σφοδρότητας της δόνησης, αλλά δεν αποτελούν ειδικό εξοπλισμό που πρέπει να εγκατασταθεί από τον ερευνητή – αφού είναι μέρος του περιβάλλοντος, οι αισθητήρες αυτοί είναι εντελώς κοινοί. Αυτό είναι και ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της έντασης ως εργαλείου: δεν χρειάζονται όργανα για να τη μετρήσουν. Οι αισθητήρες που έχουν παραδοσιακά χρησιμοποιηθεί στις κλίμακες εντάσεων χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες:

Έμβια όντα – οι άνθρωποι και τα ζώα. Καθώς αυξάνει η ένταση, μεγαλύτερη μερίδα ανθρώπων ή ζώων α) αντιλαμβάνεται τη δόνηση και β) τρομοκρατείται.

Συνήθη αντικείμενα. Καθώς αυξάνει η ένταση, μεγαλύτερος αριθμός συνήθων οικιακών αντικειμένων (πιατικά, βιβλία κλπ.) αρχίζουν να σείονται και μετά ανατρέπονται ή πέφτουν κάτω.

Κτήρια. Καθώς αυξάνει η ένταση, τα κτήρια υφίστανται σταδιακά όλο και σοβαρότερες βλάβες.

Το φυσικό περιβάλλον. Καθώς αυξάνει η ένταση, αυξάνει η πιθανότητα να εμφανιστούν αποτελέσματα όπως ρωγμές σε αναχώματα, βραχοπτώσεις κλπ.

Η Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα (EMS-98) εστιάζει πρωτίστως στις τρεις πρώτες κατηγορίες. Η τέταρτη δεν θεωρείται τόσο αξιόπιστη, όπως περιγράφεται στην ενότητα 7.

Οποιοδήποτε συγκεκριμένο αποτέλεσμα σε ένα από τους παραπάνω αισθητήρες μπορεί να θεωρηθεί διάγνωση. Για παράδειγμα, η διάγνωση «λίγοι άνθρωποι τρομάζουν και τρέχουν έξω» είναι μία συγκεκριμένη αντίδραση ενός ή περισσότερων αισθητήρων (ανθρώπων) και

θεωρείται από την κλίμακα ότι αντιστοιχεί σε δόνηση βαθμού 5. Η περιγραφή ενός βαθμού έντασης αποτελείται από αρκετές τέτοιες διαγνώσεις, οι οποίες θεωρούνται από τους συγγραφείς της κλίμακας ότι απεικονίζουν την ίδια σφοδρότητα δόνησης.

Όταν ο χρήστης της κλίμακας έχει συγκεντρώσει όλα τα διαθέσιμα περιγραφικά στοιχεία από ένα συγκεκριμένο τόπο και από ένα συγκεκριμένο σεισμό, για να εκτιμήσει την ένταση στον τόπο αυτό, πρέπει να συγκρίνει τα στοιχεία με τις ομάδες διαγνώσεων και να αποφασίσει ποιά είναι αυτή που παρέχει την μεγαλύτερη αντιστοιχία. Αυτός είναι, με απλά λόγια, ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιείται η κλίμακα για την εκτίμηση της έντασης.

Η κλίμακα EM-98 αναγνωρίζει τη στατιστική φύση της έντασης, δηλαδή ότι σε οποιοδήποτε τόπο ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα μπορεί να παρατηρηθεί μόνο σε μερίδα περιπτώσεων, και το αν αυτή η μερίδα είναι μικρή ή μεγάλη μπορεί αυτό καθαυτό να αποφανθεί για τη σφοδρότητα της δόνησης. Οι πρώιμες κλίμακες συχνά περιέγραφαν μόνο αποτελέσματα χωρίς ποσότητες, υπονοώντας ότι το ίδιο αποτέλεσμα ήταν καθολικό σε όλους τους αισθητήρες, όταν η ένταση έφτανε σε αυτή την τιμή.

1.2 Η δομή της κλίμακας έντασης EM-98

Η κλίμακα EM-98 όπως και η MSK που προηγήθηκε, είναι μέλος της οικογένειας των κλιμάκων έντασης που προέρχονται από την ευρέως χρησιμοποιημένη δεκαβάθμια κλίμακα των Rossi και Forel. Η κλίμακα αυτή αναθεωρήθηκε από τον Mercalli, κατόπιν επεκτάθηκε από τον Cancani σε δωδεκαβάθμια και τέλος καθορίστηκε πλήρως από τον Sieberg ως η κλίμακα Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS). Αυτή η κλίμακα αποτελεί το σημείο έναρξης όχι μόνο της MSK/EM-98, αλλά και των πολυάριθμων εκδόσεων της «Τροποποιημένης Κλίμακας Mercalli». Οι περισσότερες από αυτές τις δωδεκαβάθμιες κλίμακες είναι περίπου ισοδύναμες μεταξύ τους σε πραγματικές τιμές. Διαφέρουν στο βαθμό επιτήδευσης που επιχειρείται στη διατύπωσή τους.

Η κυριότερη διαφορά μεταξύ της EM-98 και των άλλων κλιμάκων είναι η λεπτομέρεια με την οποία προσδιορίζονται οι διάφοροι όροι που χρησιμοποιούνται αρχικά, και συγκεκριμένα τα είδη κτηρίων, οι βαθμοί βλάβης και οι ποσότητες, και όλα αυτά τώρα εξετάζονται χωριστά. Επίσης, η Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα είναι η πρώτη εικονογραφημένη κλίμακα έντασης. Τα σχέδια δείχνουν γραφικά τι ακριβώς εννοείται στους διάφορους βαθμούς έντασης και τα παραδείγματα με τις φωτογραφίες στην Ενότητα 5 μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην έρευνα πεδίου για σύγκριση με τις πραγματικές περιπτώσεις βλαβών σε κατασκευές. Η χρήση αυτών των απεικονίσεων σκοπεύει στη βελτίωση της προτυποποίησης μεταξύ των μεμονωμένων ερευνητών κατά τη χρήση της κλίμακας. Ομοίως, η προσθήκη στην κλίμακα των οδηγιών (άλλη μία καινοτομία) αναμένεται να μειώσει τις αμφισημίες και να αποσαφηνίσει τις προθέσεις των συντακτών της κλίμακας.

1.2.1 Τύποι κτηρίων και κατηγορίες τρωτότητας

Σε μια πολύ απλή κλίμακα έντασης, όλες οι βλάβες σε κτήρια ενός συγκεκριμένου τύπου θα ομαδοποιούνταν μαζί ανεξάρτητα από την αντοχή του κτηρίου που έπαθε τη βλάβη. Αυτή η κλίμακα θα ήταν εύκολη στη χρήση, αλλά θα μπορούσε να δώσει αρκετά παραπλανητικά αποτελέσματα σε μια περιοχή όπου υπάρχουν διαφορετικοί τύποι κτηρίων. Από την άλλη πλευρά, μπορεί κάποιος να φανταστεί μια κλίμακα έντασης για την οποία θα χρειαζόταν να γνωρίζει τις ακριβείς κατασκευαστικές παραμέτρους ενός κτηρίου πριν να εκτιμήσει την δόνηση που προκάλεσε την παρατηρούμενη βλάβη. Αυτή η κλίμακα μπορεί να ήταν ακριβής, αλλά θα ήταν αδύνατον να χρησιμοποιηθεί στην πράξη.

Η Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα ενσωματώνει μια παραδοχή, σύμφωνα με την οποία έχει χρησιμοποιηθεί μια απλή διάκριση της αντοχής των κτηρίων σε δόνηση που προκαλείται από σεισμό (τρωτότητα), προκειμένου να δώσει μια αξιόπιστη μέθοδο διάκρισης του τρόπου με τον οποίο τα κτήρια μπορούν να αντιδράσουν στη σεισμική δόνηση. Ο Πίνακας Τρωτότητας είναι μια απόπειρα να κατηγοριοποιηθεί η αντοχή των κατασκευών με εύχρηστο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη και τον τύπο του κτηρίου και άλλους παράγοντες. Αυτή είναι μια εξέλιξη από τις προηγούμενες κλίμακες που χρησιμοποιούσαν μόνο τον τύπο της κατασκευής ως παράγοντα τρωτότητας.

Η χρήση γραμμάτων που αντιπροσωπεύουν τους διάφορους τύπους κτηρίων προέρχεται από την Τροποποιημένη Κλίμακα Mercalli στην έκδοση του 1956 του Richter, η οποία χρησιμοποιήθηκε και στην κλίμακα MSK του 1964. Αυτή η υποδιαίρεση δεν δημιουργήθηκε από αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον. Αντιπροσωπεύει με απλοϊκό τρόπο, διαφορετικά επίπεδα τρωτότητας. Η ίδια ένταση δόνησης που θα καταστρέψει μια καλύβα από πλίνθους θα έχει πολύ μικρότερη επίδραση σε ένα καλά κατασκευασμένο σύγχρονο κτήριο γραφείων. Παρόλα αυτά είναι σαφές ότι η κατάσταση ενός κτηρίου, καθώς και άλλοι παράγοντες, εκτός από τον κατασκευαστικό τύπο του, επηρεάζουν την τρωτότητά του.

Κατά τη γνώμη των συντακτών της κλίμακας EM-98, έμπειροι σεισμολόγοι και μηχανικοί που χρησιμοποιούσαν την κλίμακα MSK, ήδη υιοθετούσαν στην πράξη ανεπίσημες τροποποιήσεις για να αντιμετωπίσουν πλευρές της τρωτότητας πέρα από την απλή θεώρηση του κατασκευαστικού τύπου. Έτσι, ήταν αναγκαίο να περιληφθούν στην EM-98 κάποιες διαφοροποιήσεις στον χειρισμό της τρωτότητας προκειμένου να αποσαφηνίσουν ό,τι ήδη χρησιμοποιούνταν ως βέλτιστη πρακτική.

Αυτό απεικονίζεται γραφικά στον Πίνακα Τρωτότητας. Για κάθε τύπο κτηρίου, αυτός ο πίνακας δίνει μια γραμμή που δείχνει τις πιθανότερες κατηγορίες τρωτότητας, καθώς και την πιθανή διακύμανση (που σημειώνεται με διακεκομμένη γραμμή όπου υπάρχει αβεβαιότητα). Η τοποθέτηση κατά μήκος αυτής της γραμμής πρέπει να προκύψει λαμβάνοντας υπόψη άλλους παράγοντες όπως η κατάσταση έλλειψης συντήρησης, η ποιότητα κατασκευής, η έλλειψη κανονικότητας του σχήματος του κτηρίου, ο βαθμός αντισεισμικού σχεδιασμού (ΑΣ) κοκ. Αυτό αντιμετωπίζεται με περισσότερη λεπτομέρεια στην Ενότητα 2.

1.2.2 Βαθμοί βλάβης

Οι βαθμοί βλάβης είναι και αυτοί ένας συμβιβασμός. Οι βαθμοί 1 έως 5 θα έπρεπε ιδεατά να αντιπροσωπεύουν μία γραμμική αύξηση της σφοδρότητας της δόνησης. Αυτό γίνεται κατά προσέγγιση και είναι έντονα επηρεασμένοι από την ανάγκη περιγραφής του είδους της βλάβης το οποίο μπορεί αμέσως να αναγνωρίσει ο παρατηρητής. Σημειώνεται ότι δεν αναφέρονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί μεταξύ κατηγοριών τρωτότητας και βαθμών βλάβης για κάθε βαθμό της κλίμακας, αλλά συνήθως μόνο οι δύο υψηλότεροι. Συνάγεται ότι ανάλογος αριθμός κτηρίων έπαθε βλάβες μικρότερων βαθμών (βλ. Ενότητα 4.6).

Ένα θέμα που δεν είχε θιγεί στις προηγούμενες εκδόσεις της κλίμακας είναι το γεγονός ότι οι διαφορετικοί τύποι κτηρίων αποκρίνονται και αστοχούν με διαφορετικούς τρόπους. Με το θέμα αυτό καταπιάνεται η παρούσα έκδοση παρέχοντας ξεχωριστές, εικονογραφημένες αναφορές για βλάβες τόσο σε κατασκευές με φέρουσα τοιχοποιία, όσο και σε αυτές με οπλισμένο σκυρόδεμα. Η θέση και η μορφή των βλαβών μπορεί επίσης να διαφέρει στα μελετημένα και μη μελετημένα κτήρια.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στη διαφορά μεταξύ δομικής και μη δομικής βλάβης, και να γίνεται προσεκτικός διαχωρισμός μεταξύ βλάβης στο κύριο σύστημα (φέρων/δομικό) και βλάβης στα δευτερεύοντα (μη δομικά) στοιχεία (όπως τοίχοι πλήρωσης ή τοιχοπετάσματα). Στην ειδική περίπτωση κτηρίων με αντισεισμικό σχεδιασμό θα πρέπει κανείς να διακρίνει τη βλάβη σε ειδικές (και επομένως προβλεφθείσες) ζώνες ελαστικότητας

(όπως δοκάρια σύνδεσης σε κατασκευές με τοιχεία, αρμούς σε κτήρια με προκατασκευασμένα τοιχώματα ή δοκάρια σε συνδέσμους κατασκευών με σκελετό).

Συστήνεται να εξετάζονται τα κτήρια μέσα και έξω, αφού η εμφάνιση της όψης μπορεί να είναι παραπλανητική (παρόλο που μερικές φορές αυτό είναι δύσκολο για λόγους ασφαλείας).

Δεν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι βλάβες που οφείλονται σε άλλα φαινόμενα που συνδέονται με το σεισμό, αλλά δεν οφείλονται στη σεισμική δόνηση. Τέτοια φαινόμενα περιλαμβάνουν βλάβες λόγω αλληλοσύγκρουσης διπλών κτηρίων με ανεπαρκή διαχωριστικά στοιχεία, κατολισθήσεων, αστοχίας πρανών και ρευστοποίησης. Σε αντίθεση, βλάβες μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες εξ αιτίας παραγόντων όπως φαινόμενα συντονισμού, ή όταν τα σεισμικά φορτία ξεπεράσουν το επίπεδο που προβλέπεται από το βαθμό αντισεισμικού σχεδιασμού, παραμένουν άμεσο αποτέλεσμα της σεισμικής δόνησης και πρέπει να ληφθούν υπόψη ως έχουν.

Στην ειδική περίπτωση μελετημένων κατασκευών με αντισεισμικό σχεδιασμό, η προοδευτική αύξηση των βλαβών σε σχέση με τη δόνηση μπορεί να μην είναι γραμμική. Αυτό μπορεί να επιβεβαιωθεί σύμφωνα με τις σύγχρονες αρχές σχεδιασμού, οι οποίες σχετίζονται με την απόκριση των μελετημένων κτηρίων σε διαφορετικά επίπεδα σεισμικής έντασης σχεδιασμού. Συγκεκριμένα:

- α) Κατασκευές σχεδιασμένες για σεισμό μικρής έντασης με μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης, πρέπει να αντέξουν ένα τέτοιο γεγονός χωρίς δομικές βλάβες και χωρίς ή μόνο με ελάχιστες βλάβες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη λειτουργικότητά τους.
- β) Κατασκευές σχεδιασμένες για σεισμό μέτριας έντασης με χαμηλή πιθανότητα εμφάνισης, μπορούν σαφώς να αποκριθούν στο σεισμό σχεδιασμού με ελαφρές μη δομικές βλάβες, αλλά αναμένεται να διασωθούν χωρίς να χάσουν τη λειτουργικότητά τους.
- γ) Κατασκευές σχεδιασμένες για σεισμό μεγάλης έντασης πρέπει να αντέξουν στις δομικές βλάβες χωρίς απώλεια της δομικής τους ακεραιότητας και ευστάθειας. Για αυτό το επίπεδο σχεδιασμού οι σεισμικές βλάβες επιτρέπονται, χωρίς όμως να υπερβαίνουν το βαθμό 3.

Επομένως, μπορεί να υπάρχει συσσώρευση βλαβών στους βαθμούς 2 και 3. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αποτύπωσης βλαβών αυτό ίσως απαιτούσε σε ορισμένες περιπτώσεις τη διαφοροποίηση των κατηγοριών τρωτότητας ανάλογα με την ένταση, δηλαδή οι μελετημένες κατασκευές με ΑΣ τείνουν να ανήκουν σε κατηγορίες μεγαλύτερης τρωτότητας, όσο η ένταση αυξάνει.

Πρέπει να έχει κανείς κατά νου ότι όταν γίνεται αποτύπωση βλαβών που οφείλονται σε μετασεισμό, τα κτήρια έχουν καταστεί πολύ πιο τρωτά απ' ό τι θα ήταν κανονικά, λόγω των βλαβών (ίσως όχι ορατών) που υπέστησαν από τον κύριο σεισμό. Αυτό το θέμα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την εκτίμηση της τρωτότητας.

1.2.3 Ποσότητες

Η χρήση ποσοτικών όρων («λίγα», «πολλά», «τα περισσότερα») παρέχει ένα σημαντικό στατιστικό στοιχείο στην κλίμακα. Είναι απαραίτητο να περιοριστεί το στοιχείο αυτό σε γενικούς όρους, αφού οποιαδήποτε προσπάθεια να παρουσιαστεί η κλίμακα ως μία σειρά γραφικών παραστάσεων με ακριβή ποσοστά θα καθιστούσε αδύνατη την εφαρμογή της στην πράξη και θα κατέστρεφε την αποδοτικότητά της. Όμως, η έκφραση αυτών των όρων με αριθμούς δεν είναι πολύ εύκολη. Αν οι όροι λίγα, πολλά, τα περισσότερα ορίζονταν ως τρεις συνεχόμενες ποσοστιαίες διακυμάνσεις (π.χ. 0-20%, 20-60%, 60-100%), θα προέκυπτε το ανεπιθύμητο αποτέλεσμα ότι μία μικρή αύξηση του ποσοστού σε μία παρατήρηση μπορεί να περνούσε την οριακή τιμή και να ανέβαζε την ένταση κατά μία μονάδα, ενώ σε άλλη περίπτωση η ίδια αύξηση δεν θα ξεπερνούσε το όριο και δεν θα αυξανόταν η ένταση. Ενώ οι ορισμοί που χαρακτηρίζονται από μεγάλη αλληλεπικάλυψη (0-35%, 15-65%, 50-100%)

δημιουργούν προβλήματα ασάφειας σε μία παρατηρηθείσα τιμή (π.χ. 25%) στην περιοχή αλληλεπικάλυψης, ενώ ο ορισμός διαχωρισμών με μεγάλα κενά (0-20%, 40-60%, 80-100%) δημιουργεί αντίστοιχα προβλήματα εκεί όπου μία τιμή δεν μπορεί να εκτιμηθεί. Μία συμβιβαστική λύση βρέθηκε για την παρούσα έκδοση της κλίμακας, να χρησιμοποιηθούν διαστήματα με μικρή αλληλεπικάλυψη, χωρίς να είναι και η ιδανική. Ο σκοπός εδώ είναι η προσπάθεια διατήρησης της μέγιστης αποδοτικότητας της κλίμακας και οι ποσοτικοί όροι που παρουσιάζονται πρέπει να χρησιμοποιούνται έχοντας πάντοτε αυτό κατά νου. Αυτό σκοπίμως παρουσιάζεται γραφικά, ώστε να δοθεί έμφαση στον τρόπο με τον οποίο οι κατηγορίες αυτές αναμειγνύονται ακαθόριστα μεταξύ τους, αντί να καθορίζονται με ακρίβεια.

Στην περίπτωση όπου μία ακριβώς καθορισμένη ποσότητα εμπίπτει στην περιοχή αλληλεπικάλυψης, ο χρήστης πρέπει να λάβει υπόψη τις συνέπειες της κατάταξής της σε μία κατηγορία ή μία άλλη, ως προς το ποιά κατηγορία είναι σε συμφωνία και με τα άλλα διαθέσιμα δεδομένα για τον ίδιο τόπο.

1.3 Ένταση και τόπος

Η ένταση ουσιαστικά σχετίζεται με τον τόπο και κανονικά ορίζεται ως προς συγκεκριμένο τόπο, π.χ. «η ένταση στην Pienza ήταν 5» (ή ορθότερα «η ένταση στην Pienza εκτιμήθηκε ότι ήταν βαθμού 5»). Το να αναφέρεται «η ένταση του σεισμού ήταν 8», χωρίς ένδειξη του τόπου είναι εσφαλμένη χρήση. (Παρόλο που θα μπορούσε κανείς να πει ότι «η μέγιστη παρατηρηθείσα ένταση του σεισμού ήταν 8».)

Επομένως, προτού αρχίσει η εκτίμηση της έντασης, είναι απαραίτητη η ταξινόμηση των δεδομένων ανά τόπο. Πρέπει κανείς να είναι βέβαιος ότι α) όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της έντασης προέρχονται όντως από τον ίδιο τόπο και β) όλα τα διαθέσιμα δεδομένα για τον τόπο αυτό έχουν ομαδοποιηθεί. Όταν τα δεδομένα προέρχονται από ερωτηματολόγια ατόμων, ή από προσωπικές έρευνες πεδίου, θα πρέπει να συνδυάζονται για κάθε τόπο για να προσδιορίζεται σε πόσες περιπτώσεις μία διάγνωση αναφέρθηκε ή όχι.

Η έννοια της έντασης επικεντρώνεται στην αντίληψη ότι για συγκεκριμένο τόπο που προσβλήθηκε από ένα σεισμό, ένας βαθμός σφοδρότητας της δόνησης είναι χαρακτηριστικός του τί βίωσε ο τόπος αυτός. Αυτό προϋποθέτει ότι ο οικισμός κατά πρώτον είναι αρκετά μεγάλος για να ληφθεί ένα στατιστικά ικανοποιητικό δείγμα, χωρίς να επηρεάζεται υπερβολικά από μικρές κλίμακας τοπικές ιδιαιτερότητες και κατά δεύτερον ότι δεν είναι τόσο μεγάλος, ώστε οι ιδιαίτερες τοπικές διαφοροποιήσεις δεν καλύπτονται.

Έτσι, η ένταση δεν θα πρέπει να εκτιμάται με βάση ένα μοναδικό κτήριο ή δρόμο, ούτε μία μοναδική τιμή έντασης να αποδίδεται σε ένα αστικό κέντρο ή μία επαρχία. Σε γενικές περιπτώσεις, ο μικρότερος τόπος δεν πρέπει να είναι μικρότερος από ένα χωριό και ο μεγαλύτερος να μην υπερβαίνει μία μετρίου μεγέθους Ευρωπαϊκή πόλη. Είναι, λοιπόν, λογικό να εκτιμάται μια τιμή έντασης π.χ. για τον Πειραιά, αλλά όχι για ολόκληρη την σημερινή Αθήνα. Δεν διατυπώνονται αυστηροί κανόνες, εφόσον οι ξεχωριστές περιστάσεις επηρεάζουν τις αποφάσεις του ερευνητή σε ειδικές περιπτώσεις.

Είναι, επίσης, επιθυμητό να εκτιμώνται τιμές έντασης για τόπους που είναι ομοιογενείς σε λογικά πλαίσια, κυρίως ως προς τα είδη εδαφών, αλλιώς το εύρος των αποτελεσμάτων της δόνησης μπορεί να είναι πολύ μεγάλο. Αυτό, όμως, δεν είναι πάντοτε εφαρμόσιμο, ανάλογα με την ακρίβεια των στοιχείων και τον τρόπο, με τον οποίο έγινε η συλλογή τους. Σε περίπτωση που μία πόλη έχει περιοχές στις οποίες οι γεωτεχνικές συνθήκες παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις (π.χ. η μισή πόλη βρίσκεται πάνω σε αλλούβια και η άλλη μισή σε υψίπεδο), τότε θα πρέπει να εκτιμώνται ανεξάρτητα διαφορετικές τιμές έντασης για τα δύο μέρη της πόλης.

1.4 Καθορισμός του βαθμού

Οι περιγραφές σε κάθε βαθμό της κλίμακας έντασης εξιδανικεύονται ως «ομιλούσες εικόνες» των αποτελεσμάτων που αναμένονται σε κάθε επίπεδο έντασης. Κάθε αποτέλεσμα που περιγράφεται στην κλίμακα μπορεί να θεωρηθεί ως διάγνωση, ή μία δοκιμή, ως προς την οποία τα δεδομένα μπορούν να μετρηθούν. Ο καθορισμός του βαθμού συνίσταται στην σύγκριση των δεδομένων με τις εξιδανικευμένες περιγραφές της κλίμακας και στην απόφαση ποιά από όλες αντιπροσωπεύει τη βέλτιστη αντιστοιχία.

Δεν αναμένεται να συμφωνούν πάντοτε όλες οι διαγνώσεις με τα δεδομένα. Για παράδειγμα, μερικές διαγνώσεις μπορεί απλά να μην υπάρχουν, οπότε συνιστάται να υιοθετείται μία ευέλικτη προσέγγιση για την εύρεση της τέλει αντιστοιχίας σε όλο το εύρος των διαθέσιμων δεδομένων, αντί να γίνεται απόπειρα δημιουργίας αυστηρών τύπων που εξαρτώνται από μία ή δύο βασικές διαγνώσεις μόνο.

Παρά την ύπαρξη του στοιχείου της υποκειμενικότητας στην εκτίμηση της έντασης, οι έμπειροι ερευνητές σπάνια θα έχουν σοβαρές διαφωνίες μεταξύ τους. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η εκτίμηση της έντασης είναι σαφής· προβληματικές περιπτώσεις μπορεί πάντα να βρεθούν, αλλά συνήθως είναι εξαιρέσεις. Είναι αδύνατο να καταρτισθούν οδηγίες που να καλύπτουν κάθε ενδεχόμενο, αλλά οι παρακάτω παρατηρήσεις μπορεί να βοηθήσουν.

Στην πραγματικότητα, τα διαθέσιμα δεδομένα συχνά δεν θα ταιριάζουν με τις περιγραφές των βαθμών έντασης από κάθε άποψη. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο ερευνητής πρέπει να αποφασίσει ποιός βαθμός παρέχει την τέλεια αντιστοιχία με τα δεδομένα του. Για να το επιτύχει, είναι σημαντικό να αναζητήσει ένα στοιχείο συνοχής στο σύνολο των δεδομένων, παρά να βασίζεται σε οποιαδήποτε διάγνωση ως μέτρο σύγκρισης. Είναι απαραίτητο να αποφεύγει να δώσει πολύ βάρος σε κάποια υπερβολική, περιστασιακή παρατήρηση, που θα οδηγούσε σε υπερεκτίμηση της έντασης στον εξεταζόμενο τόπο. Για παράδειγμα, το υπερβολικό βάρος που αποδόθηκε στις βλάβες οδήγησε στο παρελθόν σε υπερεκτίμηση των εντάσεων σε περιπτώσεις όπου μεμονωμένες, ακόμα και ανώμαλες περιπτώσεις βλαβών οδήγησαν σε ένταση βαθμού 6 ή περισσότερο, ακόμα και αν η πλειοψηφία των άλλων δεδομένων συνηγορούσε για μικρότερη τιμή.

Όταν τα δεδομένα αποτελούνται από περιγραφές σε κείμενα, τα αποτελέσματα μπορεί να αναφέρονται με πολύ διαφορετικό τρόπο από τον τρόπο διατύπωσης στην κλίμακα. Σε τέτοιες περιπτώσεις θα ήταν χρήσιμο να ληφθεί υπόψη αν το γενικό πλαίσιο της περιγραφής είναι συγκρίσιμο με το γενικό χαρακτήρα ενός βαθμού της κλίμακας.

Στις περιπτώσεις όπου όλες οι τοπικές κατασκευές ανήκουν στην κατηγορία τρωτότητας Α και τα περισσότερα ή όλα τα κτήρια έχουν καταστραφεί, δεν είναι δυνατή η διάκριση μεταξύ των βαθμών έντασης 10, 11 ή 12. Αυτό είναι φαινόμενο κορεσμού και δεν μπορεί να αποφευχθεί στην πράξη.

Μερικές φορές δεν είναι δυνατή η σαφής εκτίμηση έντασης και μόνο ένα εύρος τιμών μπορεί να δοθεί. Αυτό εξετάζεται με λεπτομέρεια στην Ενότητα 4.5.

Οι φωτογραφίες τς Ενότητας 5 μπορούν να συνδράμουν στην εκτίμηση των βαθμών βλάβης. Επίσης, αρκετά παραδείγματα εκτίμησης της έντασης παρουσιάζονται στην Ενότητα 6, «από γραπτές μαρτυρίες» και «από ερωτηματολόγια». Τα παραδείγματα αυτά δεν προορίζονται να αποτελέσουν πρότυπα που πρέπει κανείς να ακολουθήσει αυστηρά, αλλά μάλλον ως απεικονίσεις της διαδικασίας εκτίμησης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

1.5 Χρήση της αρνητικής πληροφορίας

Όταν γίνεται εκτίμηση της έντασης, η πληροφορία ότι ένα αποτέλεσμα δεν συνέβη είναι συχνά το ίδιο πολύτιμη με το αν αυτό το αποτέλεσμα συνέβη και τέτοιου είδους δεδομένα δεν πρέπει να παραβλέπονται. Για παράδειγμα, η περιγραφή «ο σεισμός τρόμαξε πολύ τους κατοίκους της Slavonice αλλά δεν προκάλεσε καμμία βλάβη» είναι ένδειξη ότι η ένταση δεν έφτασε στο βαθμό 6 EMS. Αντιθέτως, το να συμπεραίνεται αυτόματα ότι ένα αποτέλεσμα δεν συνέβη, μόνο και μόνο επειδή δεν αναφέρθηκε, είναι επικίνδυνο και άκυρο, εκτός αν υπάρχουν συγκεκριμένοι λόγοι που να επιβεβαιώνεται μία τέτοια υπόθεση. Αν η αναφορά έλεγε μόνο «ένας πολύ τρομακτικός σεισμός στη Slavonice», η εμφάνιση βλαβών θα ήταν άγνωστη, εκτός αν υπήρχαν σημαντικοί λόγοι να υποτεθεί ότι ο συγγραφέας οπωσδήποτε θα γνώριζε, και θα είχε αναφέρει τη βλάβη, αν είχε συμβεί.

1.6 Άκυρα πορίσματα

Ένα σημείο που συνάγεται από τη στατιστική φύση της έντασης είναι ότι κανένα μοναδικό αποτέλεσμα δεν είναι ποτέ βέβαιο. Αυτό είναι σημαντικό όταν γίνεται απόπειρα να εξαχθεί αρνητικό, παρά θετικό συμπέρασμα. Για παράδειγμα, όταν υπάρχουν αρχαία, υψίκορμα κωδωνοστάσια σε μία συγκεκριμένη περιοχή, αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένδειξη ότι η συνολική έκθεση αυτής της περιοχής σε προηγούμενους σεισμούς ήταν αρκετά χαμηλή, αλλά δεν θα ήταν συνετό να συμπεραίνεται από ένα μόνο κωδωνοστάσιο ότι μία τιμή έντασης δεν είχε υπερβληθεί στο παρελθόν στον τόπο αυτό κατά τη διάρκεια ζωής αυτού του κωδωνοστασίου.

1.7 Υψηλά κτήρια και άλλες ειδικές περιπτώσεις

Μερικές φορές δεν συνιστάται η απόπειρα χρήσης συγκεκριμένων δεδομένων για την εκτίμηση της έντασης. Μία συγκεκριμένη περίπτωση είναι αναφορικά με παρατηρήσεις από υψηλά κτήρια. Είναι γνωστό ότι οι άνθρωποι στους υψηλούς ορόφους είναι πιθανό να παρατηρήσουν ισχυρότερη σεισμική ταλάντωση από αυτούς στους χαμηλότερους ορόφους. Διάφορες τεχνικές έχουν προταθεί, όπως π.χ. να μειώνεται η εκτιμηθείσα ένταση κατά ένα βαθμό κάθε φορά για συγκεκριμένο αριθμό ορόφων, αλλά δεν έγιναν γενικά αποδεκτές. Επίσης, αφού τα υψηλά κτήρια μπορεί να συμπεριφερθούν, υπό σεισμικό φορτίο, με συγκεκριμένο τρόπο σύμφωνα με το συχνотικό περιεχόμενο της δόνησης και το σχεδιασμό του κτηρίου, η αύξηση της σφοδρότητας της δόνησης με το ύψος του κτηρίου μπορεί να είναι παράτυπη. Η πρακτική που συνιστάται κατά την εκτίμηση της έντασης είναι να αγνοηθούν οι αναφορές των παρατηρητών πάνω από τον πέμπτο όροφο, παρόλο που στην πράξη η πραγματική συμπεριφορά κάθε κτηρίου θα διαφοροποιείται έντονα, κυρίως σε σχέση με τις αναλογίες του κτηρίου. Γενικά ο χρήστης πρέπει να ασχολείται περισσότερο με τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν κάτω από κανονικές συνθήκες, παρά για τις ειδικές περιπτώσεις.

Μία ειδική περίπτωση είναι όταν οι μόνες αναφορές προέρχονται από υψηλά κτήρια, επειδή η δόνηση ήταν τόσο ασθενής, που έγινε αντιληπτή στους ανώτερους ορόφους αυτών των κατασκευών. Τέτοιο δεδομένο είναι χαρακτηριστικό για ένταση βαθμού 2.

Εκτός από το ύψος, η συμμετρία και η κανονικότητα των κτηρίων επηρεάζει τον τρόπο που συμπεριφέρονται σε ένα σεισμό (βλ. Ενότητα 2). Αυτό ισχύει ειδικά όσον αφορά στις βλάβες και επηρεάζει όλα τα είδη των κτηρίων, όχι μόνο τις σύγχρονες μελετημένες κατασκευές. Όσο πιο κανονικός και συμμετρικός είναι ο σχεδιασμός, τόσο καλύτερη αντοχή θα έχει το κτήριο στη σεισμική δόνηση.

Παρατηρήσεις από ειδικές κατασκευές, όπως φάρους, τηλεπικοινωνιακούς πύργους, γέφυρες κλπ., δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται· το ίδιο ισχύει και για μνημειακά κτίρια (όπως καθεδρικοί ναοί, βλ. Ενότητα 3.5). Αναφορές παρατηρητών κάτω από την επιφάνεια της γης δεν συγκρίνονται εύκολα με τις παρατηρήσεις στην επιφάνεια και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται.

1.8 Επίδραση εδαφικών συνθηκών

Καμμία απολύτως απόπειρα δεν πρέπει να γίνεται να αποκλειστούν ή να μειωθούν εκτιμήσεις εντάσεων με το σκεπτικό ότι επηρεάστηκαν από τις εδαφικές συνθήκες. Η αύξηση της δόνησης λόγω εδαφικής ενίσχυσης ή τοπογραφικών συνθηκών είναι μέρος των αποτελεσμάτων τα οποία απεικονίζει η ένταση και μέρος της επικινδυνότητας στην οποία είναι εκτεθειμένο το δομημένο περιβάλλον και δεν πρέπει να συγκαλύπτονται. Αν γίνει αναφορά για μη αναμενόμενα σφοδρά αποτελέσματα σε περιοχές με αλλουβιακές αποθέσεις μακριά από τις περιοχές όπου παρατηρήθηκαν τα ισχυρότερα αποτελέσματα, η ορθή προσέγγιση είναι να εκτιμηθούν υψηλές εντάσεις όπως προκύπτουν από τα αποτελέσματα. Κατόπιν είναι δυνατόν να ερμηνευτούν αυτές οι μεγάλες εντάσεις ως αποτέλεσμα της εδαφικής ενίσχυσης (παρόλο που αυτός μπορεί να είναι ένας από τους πολλούς παράγοντες που συνέβαλαν). Οποιαδήποτε άλλη προσέγγιση αντικρούει τη κυρίως φύση της έντασης ως μέτρο των παρατηρηθέντων αποτελεσμάτων ενός σεισμού.

1.9 Συμβολισμοί

Συνήθως θεωρείται συμβατικό να σημειώνονται οι εντάσεις με Λατινικούς αριθμούς, είτε για να τις διακρίνουμε σαφώς από τα μεγέθη, είτε για να τονίζεται η ακέραια φύση της κλίμακας. Επειδή οι Λατινικοί αριθμοί δεν είναι εύκολα επεξεργάσιμοι στους υπολογιστές, αυτή η σύμβαση έχει ως ένα σημείο εκπέσει. Η χρήση Λατινικών ή Αραβικών αριθμών είναι πλέον καθαρά θέμα επιλογής.

Υπάρχουν ομάδες συμβατικών συμβόλων για την αποτύπωση εντάσεων, βασισμένες σε άδειους κύκλους, οι οποίοι γεμίζουν σταδιακά, όσο αυξάνει η ένταση.

2 Τρωτότητα

Η λέξη «τρωτότητα» χρησιμοποιείται σ' όλο το εύρος αυτής της κλίμακας για να εκφράσει διαφορές στον τρόπο με τον οποίο τα κτήρια αντιδρούν στις σεισμικές δονήσεις. Αν δύο ομάδες κτηρίων υποβληθούν σε ακριβώς όμοια σεισμική δόνηση, και η μια ομάδα ανταποκριθεί καλύτερα από την άλλη, τότε μπορεί να ειπωθεί ότι τα κτήρια που έπαθαν τις λιγότερες βλάβες έχουν χαμηλότερη σεισμική τρωτότητα από αυτά που έπαθαν περισσότερες βλάβες, ή μπορεί να αναφερθεί ότι τα κτήρια που έπαθαν τις λιγότερες βλάβες είναι περισσότερο ανθεκτικά στο σεισμό, και αντιστρόφως. Αυτό δεν είναι κατ' ανάγκην το ίδιο με άλλες χρήσεις της λέξης «τρωτότητα» σε άλλα πλαίσια έκφρασης. Η παρακάτω συζήτηση απεικονίζει το πώς εφαρμόζεται ο όρος στην κλίμακα EM, με κύριο στόχο να δείξει πως πρέπει να εκτιμάται η κατηγορία τρωτότητας..

2.1 Τρωτότητα κτηρίων σε κλίμακες έντασης – μια ιστορική προοπτική

Η έννοια της τρωτότητας είναι θεμελιώδης για την διαμόρφωση σύγχρονων κλιμάκων έντασης. Η ποσότητα δόνησης που απαιτείται για να καταστρέψει μια κακότεχνα κατασκευασμένη καλύβα από τσιμεντόλιθους δεν είναι η ίδια με αυτήν που απαιτείται για να καταστρέψει ένα συμπαγές κτήριο γραφείων, και αυτές οι διαφορές θα πρέπει να διακριθούν. Αυτό μπορεί να συγκριθεί με τις επιδράσεις σεισμικής δόνησης σε κινούμενα αντικείμενα: ένα μολύβι πάνω σ' ένα γραφείο μπορεί να πέσει ακόμη και από μια ελαφρά δόνηση, ενώ η ένταση της δόνησης που απαιτείται για να ρίξει μια γραφομηχανή στο πάτωμα είναι πολύ μεγαλύτερη. Με την απλή αναφορά ότι «αντικείμενα μετακινήθηκαν» χωρίς να ληφθούν υπ' όψη τα είδη των αντικειμένων δεν θα απέδιδε μια καλή διάκριση μεταξύ των διαφορετικών εντάσεων δόνησης. Ανάλογη διαφοροποίηση είναι αναγκαία όσον αφορά τα κτήρια και τις βλάβες σ' αυτά.

Αυτό έγινε αντιληπτό σε πρώιμο στάδιο στο σχεδιασμό των κλιμάκων έντασης. Εκείνες οι πρώτες κλίμακες οι οποίες δεν έκαναν διάκριση μεταξύ των τύπων των κτηρίων ήταν γενικά εκείνες που είχαν σχεδιαστεί για χρήση σε γεωγραφικά περιορισμένες περιοχές όπου ήταν εύκολο να αναφερθεί κανείς σε μια «μέση κατοικία» χωρίς περαιτέρω διακρίσεις. Τέτοιες κλίμακες επίσης δεν ήταν αναγκαίο να εφαρμοστούν σε περιοχές με εκτεταμένη χρήση οπλισμένου σκυροδέματος και χάλυβα στην κατασκευή όπως είναι τα σύγχρονα αστικά κέντρα. Μεταγενέστερες κλίμακες αντίθετα, που προορίζονταν για εφαρμογή στο σύγχρονο κατασκευαστικό περιβάλλον και για να είναι πιο γενικές στη εφαρμογή τους, όπως η Τροποποιημένη κλίμακα Mercalli στην διατύπωσή της το 1956 από τον Richter, ή η κλίμακα MSK το 1964, έπρεπε να αντιμετωπίσουν το ζήτημα με προσοχή. Το έκαναν διανέμοντας τα κτήρια σε διάφορες κατηγορίες με βάση το είδος του κτηρίου, δηλαδή τα υλικά κατασκευής που χρησιμοποιήθηκαν για το σύστημα αντοχής σε πλευρικά φορτία. Σ' αυτήν, το είδος του κτηρίου χρησιμοποιήθηκε ως ένας απλός δείκτης για την τρωτότητα.

Αυτό αποτελεί μια σημαντική επισήμανση. Θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι η σαφής διάκριση της τρωτότητας των κτηρίων στην κλίμακα EM αντιπροσωπεύει μια ουσιαστική καινοτομία. Στην πραγματικότητα, αποτελεί μια άμεση συνέχεια των κλιμάκων MSK και MM. Σ' αυτές τις κλίμακες οι τύποι των κτηρίων δεν διακρίθηκαν με βάση αισθητικά κριτήρια, αλλά επειδή αυτός ήταν ένας εύκολος τρόπος προσέγγισης του προβλήματος της τρωτότητας, παρ' όλο που δεν χρησιμοποιήθηκε ειδικά αυτός ο όρος. Παρ' όλα αυτά, στο χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τότε που δημιουργήθηκαν αυτές οι κλίμακες έγινε αντιληπτό ότι η απλή χρήση των τύπων των κτηρίων ως κριτήριο τρωτότητας είναι ανεπαρκής. Στην πρώτη περίπτωση, οι διαφορές αντοχής μεταξύ κτηρίων του ίδιου τύπου αποδείχθηκε συχνά ότι είναι τόσο μεγάλες, όσο και οι διαφορές ανάμεσα σε διαφορετικούς τύπους κτηρίων, και αυτό οδήγησε σε ένα πλήθος προβλημάτων στον καθορισμό της έντασης. Στη δεύτερη

περίπτωση, ένα τέτοιο σύστημα είναι σχετικά άκαμπο όσον αφορά την εισαγωγή νέων κτηριακών τύπων.

2.2 Τύποι κτηρίων και ο Πίνακας Τρωτότητας

Η κλίμακα MSK καθόρισε κατηγορίες κτηρίων σύμφωνα με το είδος κατασκευής σε μια απλή απόπειρα να εκφράσει την τρωτότητα των κτηρίων. Στην κλίμακα EM, έγινε προσπάθεια να προσεγγιστούν κατηγορίες που να αντιπροσωπεύουν άμεσα την τρωτότητα. Επομένως, προτείνονται έξη κατηγορίες φθίνουσας τρωτότητας (A-F) από τις οποίες οι πρώτες τρεις αντιπροσωπεύουν την αντοχή ενός «τυπικού» σπιτιού από πλίνθους, κτηρίου από οπτοπλινθοδομή και κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα (ΟΣ), δηλαδή θα μπορούσαν να είναι συμβατές με τις κατηγορίες A-C στις κλίμακες MSK-64 και MSK-81. Οι κατηγορίες D και E προορίζονται να αντιπροσωπεύουν κατά προσέγγιση γραμμικές μειώσεις στην τρωτότητα ως αποτέλεσμα βελτιωμένου αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD=ΑΣ), και επίσης περιλαμβάνουν καλά χτισμένες κατασκευές από ξυλεία, ενισχυμένη ή εγκιβωτισμένη τοιχοποιία και χαλύβδινες κατασκευές, που είναι ευρέως γνωστό ότι αντέχουν στις σεισμικές δονήσεις. Η κατηγορία F προορίζεται να αντιπροσωπεύει την τρωτότητα μιας κατασκευής με υψηλό βαθμό αντισεισμικού σχεδιασμού, δηλαδή μιας κατασκευής με τη μεγαλύτερη αντοχή στο σεισμό λόγω των ενσωματωμένων αρχών σχεδιασμού.

Στην εκτίμηση της τρωτότητας μιας συνηθισμένης κατασκευής στο πεδίο έρευνας, το πρώτο βήμα είναι προφανώς ο καθορισμός του τύπου του κτηρίου. Αυτός καθορίζει τη βασική κατηγορία τρωτότητας. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι κτηρίων στην Ευρώπη αντιπροσωπεύονται ο καθένας με μια καταχώρηση στον Πίνακα Τρωτότητας που δείχνει την πιθανότερη κατάταξη σύμφωνα με την κατηγορία τρωτότητας καθώς και τη διακύμανση που μπορεί να αντιμετωπιστεί. Οι τύποι κτηρίων στον Πίνακα Τρωτότητας κατατάσσονται σύμφωνα με τις κύριες ομάδες τους: τοιχοποιία, ΟΣ, χάλυβας και ξυλεία, και αυτές αντιμετωπίζονται με περισσότερες λεπτομέρειες παρακάτω.

Ο Πίνακας Τρωτότητας περιλαμβάνει καταχωρήσεις για τους περισσότερους από τους κυριότερους τύπους κτηρίων που απαντώνται στην Ευρώπη. Για λόγους συντομίας, η καταγραφή των τύπων είναι κατ' ανάγκη απλοποιημένη. Αναγνωρίζεται ότι ο Πίνακας δεν είναι πλήρης, με την έννοια ότι ορισμένοι τύποι κτηρίων (π.χ. πλίνθοι, ξυλεία) θα ήταν χρήσιμο να αναλυθούν περαιτέρω σε υπο-κατηγορίες. Μερικές βασικές ιδέες σχετικά με την ένταξη νέων τύπων κτηρίων δίνονται στην Ενότητα 2.5. Αυτή όμως δεν είναι μια διαδικασία που μπορεί να αντιμετωπιστεί επιφανειακά.

2.2.1 Γενικές παρατηρήσεις για την αντοχή στο σεισμό

Στην δομή του πίνακα Τρωτότητας ο βασικός διαχωρισμός γίνεται με βάση τον τύπο κατασκευής. Παρόλα αυτά, όταν μελετά κανείς το θέμα της αντοχής των κτηρίων στο σεισμό γενικά, μπορεί να μελετήσει και μια πρόοδο σε σχέση με τα στοιχεία σχεδιασμού.

Στο χαμηλότερο επίπεδο βρίσκονται κτήρια χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό (ERD). Τέτοια κτήρια περιλαμβάνουν κατασκευές που είτε έχουν, είτε δεν έχουν μελετηθεί. Μελετημένα κτήρια αυτού του τύπου είναι συνηθισμένα σε περιοχές με χαμηλή σεισμικότητα, όπου οι κανονισμοί αντισεισμικού σχεδιασμού είτε είναι ανύπαρκτοι, είτε υπάρχουν μόνο με τη μορφή συστάσεων. Μόνο κτήρια σ' αυτό το επίπεδο έχουν ληφθεί υπ' όψη σε προηγούμενες κλίμακες έντασης.

Στο δεύτερο επίπεδο είναι κτήρια με αντισεισμικό σχεδιασμό (ERD), δηλαδή κτήρια σχεδιασμένα και κατασκευασμένα σύμφωνα με το πλαίσιο των κανονισμών. Κάποια φιλοσοφία σχεδιασμού έχει ακολουθηθεί, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών της

εκτίμησης σεισμικής επικινδυνότητας και την σύνταξη ενός χάρτη ζωνών με παραμέτρους που περιγράφουν την αναμενόμενη σεισμική δραστηριότητα για διαφορετικές σεισμικές ζώνες. Κτήρια αυτού του είδους αναμένονται σε σειсмоγενείς περιοχές, όπου ο σχεδιασμός των κτηρίων οφείλει να λαμβάνει υπ' όψη αντισεισμικούς κανονισμούς. Τέτοια κτήρια μπορεί να περιλαμβάνουν κατασκευές από τοιχοποιία καθώς και κτήρια από ΟΣ ή χάλυβα. Κτήρια σ' αυτό το επίπεδο αναφέρονται σ' αυτή την κλίμακα για πρώτη φορά.

Στο υψηλότερο επίπεδο είναι κτήρια με ειδικά αντισεισμικά μέτρα, όπως σεισμική μόνωση. Αυτά συμπεριφέρονται με ειδικό τρόπο κάτω από σεισμική φόρτιση, και συνήθως δεν παρουσιάζουν βλάβες, εκτός αν η σεισμική μόνωση αστοχήσει με κάποιο συγκεκριμένο τρόπο. Κτήρια αυτού του τύπου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθόλου για εκτίμηση έντασης.

Μελετημένες κατασκευές με σύγχρονα δομικά συστήματα, που δεν έχουν σχεδιαστεί να αντέχουν σε πλευρικά σεισμικά φορτία, είναι δυνατόν να παρουσιάσουν έναν ορισμένο βαθμό αντισεισμικής αντοχής, ο οποίος μπορεί να είναι συγκρίσιμος με το βαθμό που έχει προβλεφθεί σε μελετημένα κτήρια με αντισεισμικό σχεδιασμό (ERD). Επίσης, κατασκευές που έχουν σχεδιαστεί για να αντέχουν σε υψηλά φορτία ανεμοπίεσης μπορεί να θεωρηθεί ότι διαθέτουν ενυπάρχουσα αντοχή στο σεισμό. Καλά χτισμένα (όχι μελετημένα) κτήρια από ξυλεία ή τοιχοποιία μπορούν να συμπεριφερθούν με τρόπο συγκρίσιμο με κτήρια που έχουν αντισεισμικό σχεδιασμό (ERD), χαρακτηριστικά για κατηγορία τρωτότητας D και κατ' εξαίρεση E. Αυτό μπορεί επίσης να ισχύει σε κτήρια στα οποία έχουν εφαρμοστεί ειδικά μέτρα ενίσχυσης (αναστήλωση). Σε τέτοιες περιπτώσεις, ακόμη και αγροτικές λίθινες κατασκευές με καλά μέτρα ενίσχυσης μπορούν να συμπεριφερθούν αρκετά πάνω από την κανονική τους κατηγορία τρωτότητας.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, χάριν απλοποίησης, οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό (ERD), και αυτές με χαμηλό επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD), ενοποιούνται σ' έναν τύπο κατασκευής, αφού συμπεριφέρονται γενικά με παρόμοιο τρόπο. Η τυπική (πιθανότερη) κατηγορία τρωτότητας τέτοιων κατασκευών είναι C. Αυτό δεν έχει σκοπό να καταργήσει ολοκληρωτικά τη χρησιμότητα ενός χαμηλού επιπέδου αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD), που ενδείκνυται κυρίως για τον μετριασμό περιπτώσεων πολύ χαμηλής ποιότητας. Κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος με χαμηλό βαθμό αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD) υποβιβάζονται στην κατηγορία B μόνο σε κάποιες εξαιρετικές περιπτώσεις, ενώ παρόμοιες κατασκευές χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό (ERD) μπορούν εύκολα να εξομοιωθούν με την κατηγορία B και σε εξαιρετικές περιπτώσεις με την κατηγορία A.

Η σημασία των οριζοντίων στοιχείων στον καθορισμό της συμπεριφοράς των κατασκευών κάτω από σεισμική φόρτιση έχει συχνά παραμεληθεί στο παρελθόν, τουλάχιστον όσον αφορά στις κατασκευές από τοιχοποιία. Η αντοχή των δαπέδων ενός κτηρίου, ή άλλων οριζόντιων στοιχείων ακαμψίας, συχνά παίζει αποφασιστικό ρόλο στον καθορισμό της τρωτότητας μιάς κατασκευής. Πρέπει κανείς να σημειώσει ότι μπορεί να είναι δύσκολο ή αδύνατο να καθοριστεί από το εξωτερικό ενός κτηρίου τι είδους δάπεδα ή οριζόντια στοιχεία υπάρχουν. Είναι πολύ σημαντική η δυνατότητα να εξεταστεί επίσης και το εσωτερικό του κτηρίου, εφ' όσον είναι δυνατό, ώστε να εκτιμηθεί σωστά η τρωτότητα στις επιτόπιες έρευνες.

2.2.2 Κτήρια από τοιχοποιία

2.2.2.1 Λιθοδομές

Αυτές είναι παραδοσιακές κατασκευές όπου ακατέργαστοι λίθοι χρησιμοποιούνται ως κύριο υλικό κατασκευής, συνήθως με κονίαμα κακής ποιότητας, με αποτέλεσμα κτήρια με μεγάλο βάρος και χαμηλή αντίσταση σε πλευρικά φορτία. Τα δάπεδα είναι κατά κανόνα από ξύλο, και δεν παρέχουν οριζόντια ακαμψία.

2.2.2.2 Πλινθοδομές/τσιμεντολιθοδομές

Αυτό το είδος κατασκευής συναντάται σε πολλά μέρη όπου μπορούν να βρεθούν κατάλληλοι άργιλοι. Οι μέθοδοι κτισίματος πλινθοδομής διαφέρουν ευρέως, και αυτό εισάγει μερικές διαφοροποιήσεις στην αντοχή των πλίνθινων κατοικιών στις σεισμικές δονήσεις. Τοίχοι κατασκευασμένοι από στρώσεις πλίνθνων χωρίς χρήση τούβλων είναι άκαμπτοι και με χαμηλή αντοχή. Τα σπίτια από τούβλο μπορούν να έχουν καλύτερη συμπεριφορά ανάλογα με την ποιότητα του κονιάματος, και σε μικρότερο βαθμό, ανάλογα με την ποιότητα του τούβλου. Το βάρος της στέγης είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στην συμπεριφορά τέτοιων κτηρίων, εφ' όσον οι βαρείες στέγες αποτελούν μειονέκτημα. Πλινθόκτιστες κατοικίες με ξύλινους σκελετούς διαθέτουν πρόσθετη αντοχή και συμπεριφέρονται σημαντικά καλύτερα. Τέτοια κτήρια μπορούν να υποστούν βλάβες στους τοίχους σχετικά εύκολα, ενώ ο ξύλινος σκελετός παραμένει άθικτος λόγω της μεγαλύτερης ελαστικότητάς του. Συναντά επίσης κανείς περιπτώσεις όπου ασύνδετα ξύλινα δοκάρια και υποστυλώματα χρησιμοποιούνται σε πλινθόκτιστες κατοικίες. Αυτά παρέχουν πρόσθετη οριζόντια ακαμψία και επομένως βελτιώνουν τη συμπεριφορά, αλλά όχι όσο θα μπορούσε να πετύχει ένας συνδεδεμένος σκελετός.

Ο τύπος κατοικίας που απαντάται σε μερικές περιοχές της Ευρώπης γνωστός ως «ξύλο και λάσπη», όπου ένας ξύλινος σκελετός γεμίζεται με πηχάκια επικαλυμμένα με λάσπη, είναι παρόμοιος με την κατασκευή από πλινθοδομές/ξύλο.

2.2.2.3 Απλή λιθοδομή

Η απλή λίθινη κατασκευή διαφέρει από την ακατέργαστη λιθοδομή στο ότι οι λίθοι του χτισίματος έχουν υποστεί κάποια κατεργασία πριν από τη χρήση. Αυτοί οι λαξευμένοι λίθοι τοποθετούνται στην κατασκευή του κτηρίου σύμφωνα με ορισμένες τεχνικές ώστε να ενισχυθεί η αντοχή της κατασκευής, π.χ. χρησιμοποιώντας μεγαλύτερους λίθους για να δεθούν οι τοίχοι στις γωνίες (γωνιόλιθους). Συνήθως, τέτοια κτήρια αντιμετωπίζονται σαν να ανήκουν στην κατηγορία τρωτότητας Β, και αντιμετωπίζονται σαν να ανήκουν στην κατηγορία Α μόνο όταν είναι σε κακή κατάσταση ή αν έχουν κατασκευαστεί με ιδιαίτερα κακή τεχνική.

2.2.2.4 Ογκώδης λιθοδομή

Κτήρια με πολύ μεγάλους λίθους συνήθως περιορίζονται σε μνημειακές κατασκευές, κάστρα, μεγάλα αστικά κτήρια, κλπ. Ειδικά κτήρια αυτού του τύπου όπως καθεδρικοί ναοί ή κάστρα δεν μπορούν κανονικά να χρησιμοποιηθούν για εκτίμηση έντασης για λόγους που αναφέρονται στην Ενότητα 2.3.5. Παρ' όλα αυτά, μερικές πόλεις περιλαμβάνουν συνοικίες δημόσιων κτηρίων του 19^{ου} αιώνα αυτού του τύπου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκτίμηση έντασης. Αυτά τα κτήρια συνήθως έχουν μεγάλη αντοχή, η οποία συντελεί στην ένταξή τους σε υψηλή κατηγορία τρωτότητας (C ή ακόμη και D για περιπτώσεις εξαιρετικά καλά κατασκευασμένες).

2.2.2.5 Άοπλα τούβλα/τσιμεντόλιθοι

Αυτός ο πολύ συνηθισμένος τύπος κατασκευής είναι ο αρχετυπικός τύπος κτηρίου «B» στην αρχική κλίμακα MSK που αποτελεί σημείο αναφοράς για την κατάταξη άλλων τύπων κατασκευών. Στον Ευρωκώδικα 8 μια τέτοια κατασκευή αναφέρεται με την ένδειξη «βιομηχανοποιημένοι λίθοι». Η ίδια η μεγάλη τους διάδοση σημαίνει ότι μπορεί κανείς να συναντήσει συχνά δείγματα σε τόσο κακή κατάσταση που να κατατάσσονται μόνο στην κατηγορία A. Είναι λιγότερο συνηθισμένο να βρεθούν δείγματα τόσο καλά κατασκευασμένα ώστε να κατατάσσονται στην κατηγορία C, αλλά αυτές είναι μάλλον περιπτώσεις μεγάλων σπιτιών κατασκευασμένων με υψηλές προδιαγραφές για τους πλούσιους, ή κατασκευασμένων σε μέρη όπου απαιτείται πλευρική αντοχή για να αντιμετωπισθεί το φορτίο του ανέμου (ανεμοπίεση). Σ' αυτόν τον τύπο κτηρίου είναι χαρακτηριστικό ότι δεν έχουν γίνει ειδικές προσπάθειες για τη βελτίωση των οριζόντιων στοιχείων της κατασκευής, αφού τα δάπεδα είναι κατά κανόνα ξύλινα και επομένως εύκαμπτα.

Γενικά, η τρωτότητα επηρεάζεται από τον αριθμό, το μέγεθος και τη θέση των ανοιγμάτων. Μεγάλα ανοίγματα, μικροί λαμπάδες μεταξύ ανοιγμάτων και γωνιολίθων, καθώς και τοίχοι μεγάλου μήκους χωρίς κατακόρυφες ενισχύσεις συντελούν σε ένα περισσότερο τρωτό κτήριο. Ένα πρόβλημα που θα πρέπει να προσεχθεί είναι η χρήση συστημάτων τοίχων με κενά με εσωτερικές και εξωτερικές παρειές, που μπορούν, αν δεν είναι σωστά συνδεδεμένοι, να δημιουργήσουν τοίχους πολύ χαμηλής αντοχής με ανεπαρκή αντίσταση στον σεισμό που έχουν πολύ κακή συμπεριφορά.

2.2.2.6 Άοπλο τούβλο με δάπεδα από οπλισμένο σκυρόδεμα

Παρ' όλο που οι τοίχοι ενός κτηρίου είναι το πιο εμφανές τμήμα του για τον παρατηρητή, τα οριζόντια στοιχεία μπορούν στην πραγματικότητα να είναι πιο σημαντικά στον καθορισμό της αντοχής μιας κατασκευής σε πλευρικά φορτία. Επομένως ο τύπος κατασκευής όπου οι τοίχοι είναι άοπλο τούβλο αλλά τα δάπεδα είναι οπλισμένο σκυρόδεμα, θα έχει σημαντικά καλύτερη συμπεριφορά από την συνηθισμένη κατασκευή από τούβλο. Όπου οι τοίχοι είναι συνδεδεμένοι και δεμένοι μεταξύ τους με άκαμπτη πλάκα δαπέδου με περιμετρικά δοκάρια, δημιουργείται ένα σύστημα μορφής κουτιού που μειώνει αποτελεσματικά τον κίνδυνο της κατάρρευσης τοίχων, ή της αποκόλλησης και μετατόπισης διασταυρούμενων κατακόρυφων τοίχων. Αυτή η βελτιωμένη απόδοση θα επιτευχθεί μόνο αν η πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος είναι σωστά συνδεδεμένη με την κατασκευή, πράγμα που δεν συμβαίνει πάντα. Όταν η κατασκευή είναι καλά συνδεδεμένη, η τρωτότητα είναι πιθανότατα στην κατηγορία C – σε αντίθετη περίπτωση είναι στην κατηγορία B.

2.2.2.7 Οπλισμένο τούβλο και εγκιβωτισμένη τοιχοποιία

Σ' αυτή την ομάδα συναντώνται διάφορα συστήματα στα οποία έχει γίνει σημαντική προσπάθεια να βελτιωθεί η απόδοση και η ελαστικότητα των κατασκευών από τοιχοποιία. Στην οπλισμένη τοιχοποιία, ράβδοι ή χαλύβδινο πλέγμα οπλισμού ενσωματώνονται (με κονίαμα) σε οπές ή ανάμεσα σε στρώσεις τούβλων τοιχοποιίας, δημιουργώντας ένα σύνθετο υλικό που ενεργεί σαν ένας πολύ ανθεκτικός και εύκαμπτος τοίχος ή σύστημα τοίχων. Τέτοιος οπλισμός συναντάται και στην κατακόρυφη και στην οριζόντια διεύθυνση. Η εγκιβωτισμένη τοιχοποιία χαρακτηρίζεται από τοιχοποιία χτισμένη άκαμπτα ανάμεσα σε υποστυλώματα και δοκάρια και στις τέσσερις πλευρές, και παρέχει παρόμοιο επίπεδο αντοχής. Σ' αυτές τις περιπτώσεις η πρόθεση δεν είναι να συμπεριφερθούν τα συνδεδεμένα στοιχεία ως πλαίσιο ανθεκτικό στη ροπή, όπου η τοιχοποιία στις περισσότερες περιπτώσεις θα ενεργούσε σαν μη φέρον στοιχείο πλήρωσης. Σε μερικές περιοχές παρουσιάζονται ειδικά συστήματα λίθων όπου κατασκευάζονται δομικοί λίθοι ειδικού σχήματος (π.χ. αλληλοσυνδεδεμένοι) από σκυρόδεμα – αυτοί συνήθως έχουν πολύ καλή συμπεριφορά. Ένα

άλλο αποδοτικό σύστημα είναι γνωστό ως τοιχοποιία γεμισμένη με τσιμεντοκονίαμα, και περιλαμβάνει τοίχους που αποτελούνται από ένα εξωτερικό και εσωτερικό κέλυφος από τούβλο, που συνδέονται με ένα πυρήνα από σκυρόδεμα οπλισμένο οριζόντια και κατακόρυφα. Σ' αυτή την περίπτωση, μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα αν η σύνδεση είναι ασθενής και/ή τα κελύφη δεν είναι σωστά συνδεδεμένα. Η συνολική συμπεριφορά τέτοιων συστημάτων θα μπορούσε να είναι ισοδύναμη με την οπλισμένη τοιχοποιία, παρ' όλο που η εμπειρία μ' αυτή τη μορφή κατασκευής είναι προς το παρόν περιορισμένη.

2.2.3 Κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα

Αυτός ο τύπος κατασκευής, τόσο συνήθης στις σύγχρονες πόλεις, παρουσιάζει εξαιρετικά μεγάλες διαφοροποιήσεις στην εμφάνιση, στο σχεδιασμό και στην αντοχή, δημιουργώντας δυσκολία στην παρουσίαση ενός απλού οδηγού σχετικά με τον τρόπο αντιμετώπισης αυτών των κατασκευών. Στον Πίνακα Τρωτότητας γίνεται διαχωρισμός βασισμένος στο επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού – ο τρόπος εφαρμογής αυτού του διαχωρισμού εξετάζεται στην Ενότητα 2.3.8.

2.2.3.1 Κατασκευές με σκελετό οπλισμένου σκυροδέματος

Το δομικό σύστημα των κατασκευών με σκελετό οπλισμένου σκυροδέματος αποτελείται από δοκάρια και υποστυλώματα τα οποία δημιουργούν ένα σκελετό και τα οποία συνδέονται με μονολιθικούς κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων ανθεκτικούς σε ροπή και σε διάτμηση. Οι κατασκευές με σκελετό Ο.Σ. αντέχουν και σε κατακόρυφα και σε οριζόντια φορτία. Η συμπεριφορά των σκελετών Ο.Σ. καθορίζεται από την αναλογία μεταξύ του ύψους του υποστυλώματος και του μήκους του δοκαριού καθώς και από την αντοχή (διατομών) των υποστυλωμάτων και δοκαριών. Υποστυλώματα με χαμηλή αντοχή και δοκάρια με υψηλή αντοχή είναι ένδειξη ευπαθούς συστήματος στα πλευρικά φορτία. Οι κατασκευές με σκελετό Ο.Σ. είναι πολύ συνήθεις και ευρέως διαδεδομένες, αλλά θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως ο τύπος κατασκευής με τις μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις στην σεισμική αντοχή. Σε μερικές περιπτώσεις η τρωτότητα είναι συγκρίσιμη με κτήρια από πλίνθους ή αργούς λίθους οδηγώντας σε παραπλανητική (υψηλή) εκτίμηση έντασης σεισμού, αν λάβουμε υπ' όψη την πιο πιθανή κατηγορία τρωτότητας από τον Πίνακα Τρωτότητας αγνοώντας την πιθανή διακύμανση και τις εξαιρετικές περιπτώσεις. Η αστοχία κατασκευών με σκελετό Ο.Σ. συχνά οδηγεί σε εντυπωσιακές περιπτώσεις βλαβών. Οι βλάβες που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια προηγούμενων σεισμών παρέχουν εμπειρία σχετική με τα τυπικά ελαττώματα σχεδιασμού και με τα αίτια για την μορφή των βλαβών που αναφέρονται κατ'επανάληψη. Διαφορές στην ακαμψία και στην αντοχή του δομικού συστήματος σε σχέση με την εγκάρσια και διαμήκη διεύθυνση θα πρέπει να αποφεύγονται. Ο χρήστης θα πρέπει να θεωρήσει την αναλογία του πλάτους και του ύψους της διατομής των υποστυλωμάτων καθώς και τη σύνδεση μεταξύ εγκαρσίων πλαισίων, ως ένδειξη χαμηλής αντοχής σε μία διεύθυνση (πιθανώς την διαμήκη).

Στις περισσότερες περιπτώσεις στην πράξη τα δομικά συστήματα μπορούν να περιγραφούν ως σκελετοί Ο.Σ. με στοιχεία πλήρωσης από τοιχοποιία. Η πιθανή αλληλεπίδραση μεταξύ σκελετού Ο.Σ. και ασταθών στοιχείων πλήρωσης μπορεί να συμβάλει σε ένα περισσότερο τρωτό σύστημα. Λόγω αυτής της αλληλεπίδρασης, τα υποστυλώματα και οι αρμοί αναγκάζονται να αντιδράσουν στα επιπρόσθετα φορτία για τα οποία εν γένει δεν έχουν υπολογιστεί. Αν το στοιχείο πλήρωσης έχει ανοίγματα ή άλλες ασυνέχειες, προκαθορίζεται ένα επακόλουθο «μικρού υποστυλώματος» που έχει ως αποτέλεσμα την αστοχία υποστυλωμάτων σε διάτμηση (διαγώνιες ρωγμές με κάμψη των οπλισμών των υποστυλωμάτων). Αυτό είναι επίσης ένδειξη τρωτού τύπου κτηρίου, και ακόμη και σε περιπτώσεις όπου θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει ως δεδομένο ένα ορισμένο επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού σύμφωνου με τους κώδικες (ERD), αυτή είναι μια ένδειξη ότι ο

τελικός (πραγματικός) αντισεισμικός σχεδιασμός (ERD), τείνει να είναι κάτω από τον πιθανότερο.

Για σκελετούς Ο.Σ. (αλλά επίσης και για μεταλλικούς και ξύλινους σκελετούς) ο αντισεισμικός σχεδιασμός συνδέεται με μια ειδική μορφή βλαβών. Θα πρέπει να προβλεφθούν ενισχυμένες ζώνες για τους κόμβους στα άκρα των δοκών. Βλάβες στα υποστυλώματα ή στους κόμβους δοκών- υποστυλωμάτων δεν είναι αποδεκτές. Ωστόσο, εν γένει οι βλάβες επικεντρώνονται στα υποστυλώματα. Αν έχει αποκολληθεί το σκυρόδεμα επικάλυψης των οπλισμών θα πρέπει κανείς να ελέγξει τον οπλισμό όσον αφορά τις αποστάσεις των συνδετήρων που οφείλουν να είναι πυκνότεροι σε όλες τις κρίσιμες ζώνες. Τέτοιες λεπτομέρειες στον οπλισμό δίνουν μια εντύπωση των χαρακτηριστικών του σχεδιασμού και του τελικού (πραγματικού) βαθμού αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD).

Η σεισμική τρωτότητα των σκελετών Ο.Σ. επηρεάζεται από όλους τους παράγοντες που προαναφέρθηκαν, όπως κανονικότητα, ποιότητα υλικών, ποιότητα εργασίας ή ελαστικότητα. Οι σκελετοί Ο.Σ. είναι ιδιαίτερα τρωτοί σε ασυνέχειες της πλευρικής ακαμψίας καθ' ύψος του κτηρίου. Ένα ασταθές ισόγειο μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την κατάρρευση όλου του κτηρίου. Κτήρια αυτού του είδους είναι πολύ τρωτά έναντι πλευρικών φορτίων. Αν τα κτήρια δεν έχουν κανονικότητα στο ισόγειο, οι βλάβες θα επικεντρωθούν σε περιοχές που είναι μακριά από το κέντρο ακαμψίας, δηλαδή αν έχουν βλαβεί ορισμένα εξωτερικά υποστυλώματα, αυτό θα πρέπει να θεωρηθεί ως ένδειξη τάσεων (φαινομένων) στρέψης και τρωτού σκελετού. Όλα αυτά τα φαινόμενα και οι μορφές βλαβών δεν θα πρέπει να αγνοούνται κατά τον καθορισμό της καταλληλότερης κατηγορίας τρωτότητας.

2.2.3.2 Κατασκευές από τοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος

Οι κατασκευές από τοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος χαρακτηρίζονται από κατακόρυφα στοιχεία που υποστηρίζουν άλλα στοιχεία και που έχουν επιμήκεις διατομές με αναλογία μήκους προς πάχος μεγαλύτερη από 4 και/ή μερικό εγκιβωτισμό διατομών. Αν δύο ή περισσότερα τοιχεία συνδέονται με κανονική μορφή με συνδετήρια δοκάρια, το δομικό σύστημα αποκαλείται κατασκευή με συνδεδεμένα τοιχεία, όπου τα δοκάρια πρέπει να εξασφαλίζουν επαρκή ελαστικότητα και είναι προορισμένα να είναι τα σημεία διάχυσης ενέργειας σύμφωνα με τις αρχές του πρόσφατου αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD). Η τρωτότητα επηρεάζεται από τα μεγάλα ανοίγματα και ασυνέχειες στα τοιχώματα και το γεωμετρικό τους σχήμα καθ' ύψος του κτηρίου καθώς και ασυνέχειες στο ισόγειο (που δημιουργούν έναν ασταθή όροφο).

Οι κατασκευές από τοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ακαμψία σε σχέση με τα κτήρια με σκελετό Ο.Σ. Αν τα τοιχεία δεν τοποθετηθούν με κανονικότητα, και σε όλες τις εξωτερικές παρειές του κτηρίου, τάσεις στρέψης μπορούν να συμβάλουν στην μερική αστοχία όλου του συστήματος. Έλλειψη κανονικότητας στην κάτοψη ή εσωτερικά ελαττώματα θα πρέπει να θεωρηθούν ως σοβαρά μειονεκτήματα, ακόμη και στην περίπτωση που η εξωτερική όψη είναι ενιαία, που θα μπορούσαν να συντείνουν σε εξαιρετικές περιπτώσεις τρωτότητας.

Αντίθετα με τους σκελετούς Ο.Σ., τα τοιχεία Ο.Σ. τείνουν να συμπεριφέρονται μέσα σε μικρότερο εύρος κατηγοριών τρωτότητας. Σύμφωνα με τον Πίνακα Τρωτότητας εξαιρετικές περιπτώσεις περιορίζονται στην κατηγορία τρωτότητας Β (χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό) και στην κατηγορία τρωτότητας C για τοιχεία με αντισεισμικό σχεδιασμό. Υπάρχουν πολλά δομικά συστήματα που αποτελούνται από τρισδιάστατους σκελετούς στο και από φέροντα τοιχεία (τα λεγόμενα διπλά συστήματα) ή από ένα σύστημα εύκαμπτων σκελετών που συνδυάζονται με τοιχεία συγκεντρωμένα κοντά στο κέντρο ή διατεταγμένα συμμετρικά σε μια διεύθυνση του κτηρίου (τα λεγόμενα συστήματα με πυρήνα). Τα συστήματα με πυρήνα θεωρείται ότι συμπεριφέρονται με λιγότερη ελαστικότητα από τα συστήματα με σκελετό, τοιχεία ή τα διπλά συστήματα.

2.2.4 Χαλύβδινες κατασκευές

Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν κτήρια για τα οποία το κύριο δομικό σύστημα παρέχεται από χαλύβδινα πλαίσια. Από υπάρχουσες μακροσεισμικές αξιολογήσεις, μόνο λίγα δεδομένα για κατασκευές με χαλύβδινο σκελετό είναι προς το παρόν διαθέσιμα, αλλά αυτά δείχνουν έναν υψηλό βαθμό αντοχής στο σεισμό. Παρ' όλα αυτά όμως δομικές βλάβες μπορεί να καλύπτονται από μη δομικά στοιχεία όπως επενδύσεις ή υαλοπετάσματα, ή πρόσθετα στοιχεία από σκυρόδεμα (που προσφέρουν επιπλέον πυροπροστασία) σε σύνθετα συστήματα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι βλάβες στους κόμβους του σκελετού θα είναι ορατές μόνο αφού αφαιρεθεί η επικάλυψη από σκυρόδεμα.

Η απόφαση για το επίπεδο της αντοχής στο σεισμό, και επομένως και για την πιο ενδεδειγμένη κατηγορία τρωτότητας, θα πρέπει να λάβει υπ' όψη το σύστημα ακαμψίας καθώς και τον τύπο των κόμβων σύνδεσης. Η ελαστικότητα του όλου συστήματος καθορίζεται από το σύστημα πλευρικής αντίστασης (δηλ. τον τύπο του σκελετού και το είδος των ενισχύσεων). Για κτήρια με χαλύβδινο σκελετό χωρίς ειδικά αντισεισμικά μέτρα ή αντισεισμικό σχεδιασμό, η πιθανή κατηγορία τρωτότητας είναι D. Ενισχύσεις που επηρεάζουν τα υποστυλώματα (ενισχύσεις τύπου K) προσφέρουν μικρότερη αντοχή στο σεισμό, και θα πρέπει να αντιπροσωπεύονται από την κατηγορία τρωτότητας C. Στις περισσότερες περιπτώσεις σκελετοί με αντίσταση στη ροπή, σκελετοί με διατμητικούς τοίχους/πυρήνα από Ο.Σ., ή σκελετοί με ενισχύσεις έκκεντρες ή σχήματος X ή V παρέχουν πλευρική αντοχή και εξασφαλίζουν εύκαμπτη συμπεριφορά. Η κατηγορία τρωτότητας E μπορεί να θεωρηθεί η πιθανότερη. Στην περίπτωση βελτιωμένου επιπέδου αντισεισμικού σχεδιασμού η κατηγορία τρωτότητας F μπορεί να θεωρηθεί πιθανή. Οι πιθανές κατηγορίες τρωτότητας για κατασκευές με χαλύβδινο σκελετό ανθεκτικές στη ροπή εξαρτώνται από τον βαθμό αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD), όπως εξετάζεται στην ενότητα 2.3.7.

2.2.5 Ξύλινες κατασκευές

Τα ξύλινα κτήρια εξετάζονται σχετικά λιγότερο επειδή δεν συναντώνται και τόσο συχνά στις πιο ενεργές σεισμικές περιοχές της Ευρώπης. Η ενδογενής ελαστικότητα των ξύλινων κατασκευών τους προσδίδει υψηλή αντίσταση στις βλάβες, παρ' όλο που αυτό μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την κατάστασή τους. Χαλαροί σύνδεσμοι ή σαθρό ξύλο μπορούν να καταστήσουν ένα ξύλινο σπίτι ιδιαίτερα τρωτό στην κατάρρευση. Στον σεισμό του Kobe του 1995 ήταν αξιοσημείωτο ότι παραδοσιακά ξύλινα σπίτια σε περιοχές της πόλης επέδειξαν πολύ χαμηλή αντοχή λόγω της κακής κατάστασής τους. Αυτό ήταν ένα πολύ καλό παράδειγμα του πως η τρωτότητα εξαρτάται από κάτι άλλο, πέραν του τύπου της κατασκευής.

Το δομικό σύστημα που εξασφαλίζει πλευρική αντοχή θα πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά. Αν τα δοκάρια και τα υποστυλώματα συνδέονται με καρφωτά ελάσματα (από γύψο και άλλα ασταθή υλικά) ή αν αυτοί οι σύνδεσμοι είναι ευπαθείς, η κατασκευή θα αστοχήσει αν αστοχήσουν οι σύνδεσμοι. Αυτός ο τύπος ξύλινης κατασκευής κατά κανόνα αντιπροσωπεύεται από την κατηγορία τρωτότητας C, και θα πρέπει να διακρίνεται από τις κατασκευές με ξύλινο σκελετό που είναι ανθεκτικές έναντι πλευρικών σεισμικών φορτίων. Η ελαστικότητα των ξύλινων κατασκευών εξαρτάται από την ελαστικότητα των συνδέσμων.

Στο μέλλον θα πρέπει να γίνουν κάποιες βελτιώσεις στον τρόπο με τον οποίο οι ξύλινες κατασκευές αντιμετωπίζονται από την κλίμακα. Αυτές θα πρέπει να περιλάβουν μια υποδιαίρεση των ξύλινων κατασκευών σε διαφορετικές ομάδες, και να εξετάσουν με λεπτομέρεια τα είδη βλαβών στα ξύλινα κτήρια που δεν περιγράφονται στον πίνακα των βαθμών βλάβης της κλίμακας με τον ίδιο τρόπο που αυτό γίνεται για τις κατασκευές από τοιχοποιία και Ο.Σ.

2.3. Παράγοντες που επηρεάζουν τη σεισμική τρωτότητα των κτηρίων

Υπάρχει σημαντικός αριθμός διαφορετικών παραγόντων που επηρεάζουν την συνολική τρωτότητα μιας κατασκευής εκτός από τον τύπο της. Αυτοί οι παράγοντες ισχύουν γενικά για όλους τους τύπους κατασκευών, είτε έχουν μελετηθεί είτε όχι, καθώς και κατασκευές με ή χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό (ERD).

2.3.1.1 Ποιότητα και έντεχνη κατασκευή

Σύμφωνα με την κοινή λογική θα μπορούσε να πει κανείς ότι ένα καλοχτισμένο κτήριο θα είναι ανθεκτικότερο από ένα που είναι κακοχτισμένο, αλλά αυτό δεν είχε ληφθεί υπ' όψη στο παρελθόν στις κλίμακες έντασης, αναμφίβολα και εν μέρει λόγω της δυσκολίας καθορισμού του τι αποτελεί «καλό» και «κακό». Ακόμη και να κάνει κανείς τη διάκριση αυτών των συνθηκών σε υποκειμενική βάση είναι καλύτερο από το να τις αγνοήσει εντελώς. Η χρήση υλικών καλής ποιότητας και καλών τεχνικών κατασκευής θα έχει ως αποτέλεσμα ένα κτήριο που θα είναι πολύ περισσότερο ικανό να αντέξει τη δόνηση, παρά η χρήση κακής ποιότητας υλικών και άτεχνης κατασκευής. Στην περίπτωση των υλικών, η ποιότητα του κονιάματος είναι ιδιαίτερα σημαντική, και ακόμη και από ακατέργαστη λιθοδομή μπορεί να δημιουργηθεί ένα επαρκώς ανθεκτικό κτήριο αν το κονίαμα είναι υψηλής ποιότητας. Άτεχνη κατασκευή μπορεί να περιλαμβάνει και αμέλεια και μέτρα περιορισμού του κόστους, όπως παράλειψη του ορθού δεσίματος των μερών της κατασκευής. Σε περιπτώσεις κατασκευών που έχουν μελετηθεί, αλλά κατασκευάστηκαν με κακή ποιότητα κατασκευής, μπορεί να συμβεί η τελειωμένη κατασκευή να αποτυγχάνει στην πραγματικότητα να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του ισχύοντα αντισεισμικού κανονισμού για τα κτήρια.

2.3.2 Κατάσταση συντήρησης

Ένα κτήριο που έχει συντηρηθεί σωστά θα έχει συμπεριφορά σύμφωνα με την αναμενόμενη αντοχή του σε σχέση με άλλους παράγοντες. Ένα κτήριο που έχει αφεθεί στη φθορά μπορεί να είναι σημαντικά ευπαθέστερο, αρκετά ώστε να τοποθετείται σε τουλάχιστον μια κατηγορία χαμηλότερα ως προς την τρωτότητα. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί σε περιπτώσεις εγκαταλελειμένων ή ερειπωμένων κτηρίων, και επίσης σε περιπτώσεις όπου υπάρχει εμφανής έλλειψη συντήρησης. Μια περίπτωση που πρέπει να αναφερθεί ιδιαίτερα είναι αυτή των κτηρίων που έχουν ήδη υποστεί βλάβες (συνήθως από προηγούμενο σεισμό, όπου κανείς έχει να αντιμετωπίσει μια σειρά δονήσεων). Τέτοια κτήρια μπορεί να έχουν πολύ κακή αντίδραση, τέτοια ώστε ένας σχετικά ασθενής μετασεισμός να μπορεί να προκαλέσει δυσανάλογη ποσότητα βλαβών (συμπεριλαμβανομένης της κατάρρευσης) μεταξύ κτηρίων που είχαν βλαβεί από τον κύριο σεισμό.

Θα πρέπει κανείς να τονίσει ότι ένα κτήριο μπορεί να φαίνεται πως είναι σε καλή κατάσταση επειδή έχει δοθεί προσοχή μόνο στη διατήρηση της αισθητικής εμφάνισης του κτηρίου, δηλ. καινούργιο επίχρυσμα και καλός χρωματισμός δεν σημαίνουν απαραίτητα ότι και το δομικό σύστημα του κτηρίου είναι σε καλή κατάσταση.

2.3.3 Κανονικότητα

Από την οπτική γωνία της αντοχής στο σεισμό, το ιδανικό κτήριο θα ήταν ένας κύβος στον οποίο όλες οι εσωτερικές διαφοροποιήσεις στην ακαμψία (όπως κλιμακοστάσια) θα ήταν συμμετρικά διατεταγμένα. Επειδή τέτοια κτήρια θα ήταν μειονεκτικά ως προς τη λειτουργία και απαράδεκτα ως προς την αισθητική, αναμένει κανείς περισσότερο ή λιγότερο σημαντικές αποκλίσεις από αυτή την τέλεια κάτοψη στα περισσότερα κτήρια που συναντά. Όσο

μεγαλύτερη η εκτροπή από την κανονικότητα ή τη συμμετρία, τόσο μεγαλύτερη η τρωτότητα του κτηρίου στη σεισμική δόνηση, και συχνά είναι δυνατόν να παρατηρηθεί σε κτήρια με βλάβες με ποιο τρόπο η έλλειψη κανονικότητας έχει σαφώς συντείνει στη βλάβη (π.χ. στην κατάρρευση ασταθών ορόφων).

Σύμφωνα με τις σημερινές εξελίξεις στους κανονισμούς (δηλ. Ευρωκώδικας 8) τα κτήρια που μελετώνται πρέπει να ταξινομούνται σύμφωνα με την δομική κανονικότητά τους, με βάση και τις γενικές παραμέτρους (διαστάσεις, γεωμετρικές αναλογίες) και τις γενικές και τοπικές αποκλίσεις από μια κανονική κάτοψη ισογείου και κατακόρυφης μορφής. Αυτοί οι παράγοντες εφαρμόζονται επίσης και σε κατασκευές που δεν μελετώνται. Η κανονικότητα θα πρέπει να εξετασθεί υπό γενικότερη λογική, δηλ. η κανονικότητα είναι κάτι περισσότερο από απλή συμμετρία στην κάτοψη και στην όψη. Η κανονικότητα με τη λογική αυτής της κλίμακας περιλαμβάνει και τα φυσικά χαρακτηριστικά ενός κτηρίου και, για κατασκευές που μελετώνται, επίσης τα μέτρα που λαμβάνονται μέσα σ' αυτό για να εξασφαλίσουν μια απλή, ή, σε περιορισμένη έκταση, ελεγχόμενη συμπεριφορά στην σεισμική δράση. Για κατασκευές που μελετώνται, είναι αναμενόμενο να λαμβάνονται μέτρα για να εξασφαλίζεται ότι η κανονικότητα ανταποκρίνεται με τους κανόνες του αντισεισμικού σχεδιασμού.

Η εμφανής έλλειψη κανονικότητας είναι εύκολο να αναγνωριστεί. Για παράδειγμα, κτήρια με κάτοψη ισογείου που έχουν σχεδιαστεί σε σχήμα Γ ή κάτι παρόμοιο συναντώνται συχνά και υφίστανται δυνάμεις στρέψης που μπορεί να αυξήσει κατά πολύ τις βλάβες που θα υποστούν. Θα ήταν παράλογο να υποθέσει κανείς ότι ένα κτήριο ικανοποιεί τις προδιαγραφές της κανονικότητας μόνο με το δεδομένο της συμμετρίας στις εξωτερικές του διαστάσεις. Ακόμη και αν η κάτοψη ισογείου είναι κανονική, μπορούν να ανακύψουν προβλήματα σε κτήρια που έχουν έντονη ασυμμετρία στην διάταξη εσωτερικών στοιχείων με διαφορετική ακαμψία. Η θέση φρεάτων ανελκυστήρων και κλιμακοστασίων είναι αξιολογούμενη από αυτή την άποψη.

Συναντά κανείς συχνά περιπτώσεις κτηρίων στα οποία ένας όροφος (συνήθως ο κατώτερος) είναι σημαντικά ασθενέστερος από τους άλλους. < συχνά μπορεί να είναι πολύ ανοιχτός, με υποστυλώματα για υποστήριξη των υπερκείμενων ορόφων αλλά χωρίς τοιχώματα. Τέτοιες περιπτώσεις είναι γνωστές ως ασθενείς όροφοι, και είναι πολύ επιρρεπείς στην κατάρρευση. Συνεχείς λωρίδες παραθύρων σ' όλο το μήκος του κτηρίου μπορούν να προκαλέσουν παρόμοια φαινόμενα.

Σε μερικές περιπτώσεις κτήρια που αρχικά είχαν ικανοποιητικό επίπεδο κανονικότητας μπορούν να επηρεαστούν αρνητικά από μεταγενέστερες μετατροπές. Για παράδειγμα, η μετατροπή του ισογείου ενός κτηρίου σε χώρο στάθμευσης ή σε κατάσταση μπορεί να το κάνει ασθενέστερο (δημιουργώντας έναν ασθενή όροφο). Η κατασκευή επέκτασης σε ένα κτήριο είναι πιθανό να κάνει την κάτοψη λιγότερο κανονική, και να επιφέρει αντικανονικότητα στην ακαμψία και στην συχνότητα στο σύνολο της κατασκευής. Παλιά κτήρια από τοιχοποιία μπορεί να έχουν υποστεί εκτεταμένες τροποποιήσεις στην μακρά ιστορία τους, με αποτέλεσμα μετατοπίσεις δαπέδων σε διαφορετικές στάθμες, θεμελιώσεις σε διαφορετικές στάθμες σε κεκλιμένο έδαφος, κ.ο.κ.

2.3.4 Ελαστικότητα

Η ελαστικότητα είναι το μέτρο της ικανότητας ενός κτηρίου να αντέχει πλευρικά φορτία σε μια μετελαστική περιοχή, δηλ. διαχέοντας τη σεισμική ενέργεια και δημιουργώντας βλάβες σε μια ελεγχόμενη έκταση εντοπισμένα, ανάλογα με τον τύπο κατασκευής και το δομικό σύστημα. Η ελαστικότητα μπορεί να είναι άμεση συνάρτηση του κατασκευαστικού τύπου: σωστά δομημένα χαλύβδινα σπίτια έχουν υψηλή ελαστικότητα, και επομένως αντέχουν καλά στις δονήσεις, συγκρινόμενα με περισσότερο εύθραυστα κτήρια με χαμηλή ελαστικότητα όπως τα σπίτια από τούβλο. Σε κτήρια σχεδιασμένα αντισεισμικά, οι παράμετροι του κτηρίου που καθορίζουν τα δυναμικά χαρακτηριστικά (ακαμψία και κατανομή μάζας) θα είναι

ελεγχόμενες. Και η ποιότητα της μετατροπής και της διάχυσης της ενέργειας θα πρέπει να διασφαλίζεται με τη σύζευξη μεταξύ εδάφους, θεμελίων και δομικών στοιχείων και με την αποφυγή δυσμενών τοπικών συγκεντρώσεων βλαβών (θραύση).

2.3.8 Θέση

Η θέση ενός κτηρίου σε σχέση με άλλα γειτονικά κτήρια μπορεί να επηρεάσει την συμπεριφορά του στο σεισμό. Στην περίπτωση σειράς σπιτιών σε ένα αστικό οικοδομικό τετράγωνο, συχνά τα σπίτια που είναι στο τέλος της σειράς ή σε γωνιακή θέση πλήττονται χειρότερα. Η μια πλευρά του σπιτιού είναι πακτωμένη σε ένα γειτονικό σπίτι ενώ η άλλη πλευρά δεν είναι, με αποτέλεσμα μια ασυμμετρία στην συνολική ακαμψία της κατασκευής που θα οδηγήσει σε αυξημένες βλάβες.

Σοβαρές βλάβες μπορεί προκληθούν από δύο ψηλά κτήρια διαφορετικών ιδιοσυχνοτήτων που είναι τοποθετημένα υπερβολικά κοντά μεταξύ τους. Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού μπορεί να ταλαντευθούν με διαφορετικές συχνότητες και να προσκρούσουν το ένα πάνω στο άλλο, δημιουργώντας ένα φαινόμενο γνωστό ως σύγκρουση. Μια τέτοια βλάβη δεν αποτελεί μέτρο της ισχύος της σεισμικής δόνησης και δεν πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη στον καθορισμό της έντασης.

2.3.9 Ενίσχυση

Όταν έχουν ληφθεί μέτρα για να ενισχυθούν τα κτήρια έναντι σεισμικών δονήσεων, το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ουσιαστικά νέων, σύνθετων τύπων κτηρίων. Αυτοί μπορούν να διαφέρουν ριζικά στη συμπεριφορά τους από το βασικό κτήριο πριν την επέμβαση. Για παράδειγμα, το να πάρει κανείς μια παλιά κατασκευή από αργούς λίθους και να βελτιώσει τα οριζόντια στοιχεία αντικαθιστώντας τα δάπεδα ή προσθέτοντας δεσίματα μπορεί να βελτιώσει την απόδοσή της μέχρι και στην κατηγορία Β. Άν επιπλέον αυτού, εφαρμοστούν και τσιμεντενέσεις ή ρητινενέσεις ή μανδύες ΟΣ, η απόδοση μπορεί να βελτιωθεί μέχρι τις κατηγορίες που αποδίδονται σε κτήρια με αντισεισμικό σχεδιασμό (ERD).

2.3.10 Αντισεισμικός σχεδιασμός (ERD)

Για τους σκοπούς μιας μακροσεισμικής κλίμακας είναι αδύνατον να δοθεί μια πλήρης κατάταξη των μελετημένων κτηρίων, που να αντικατοπτρίζει διαφορές και εκλεπτύνσεις στο πλαίσιο εθνικών αντισεισμικών κανονισμών. Συσχετισμοί μεταξύ επιπέδων αντοχής στο σεισμό σύμφωνα με αντισεισμικούς κανονισμούς σε Ευρωπαϊκές και άλλες χώρες και τυπικές κατηγορίες τρωτότητας που παρέχονται θα πρέπει να εξελιχθούν και απαιτούν μια συζήτηση μεταξύ ειδικών διαφόρων χωρών. Οι παράγοντες τρωτότητας για διαφορετικούς τύπους κατασκευών θα πρέπει να αξιολογηθούν για τις μελετημένες κατασκευές κατά κύριο λόγο με βάση το σκοπούμενο επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού (σύμφωνα με τους κανονισμούς). Αυτά τα επίπεδα μπορούν να διαφέρουν μεταξύ διαφορετικών χωρών. Επίσης δεν είναι ενιαία σε σχέση με το επίπεδο και τους σκοπούς των εθνικών αντισεισμικών κανονισμών, και μπορούν να μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου σε κάθε χώρα ή περιοχή. Η πραγματική κατηγορία τρωτότητας θα αποδοθεί σύμφωνα με το τελικό (πραγματικό) επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD), που μπορεί να διαφέρει (παρ' όλο που δεν θα έπρεπε στις περισσότερες περιπτώσεις) από το επίπεδο που συμμορφώνεται με τους κανονισμούς, εξαιτίας άλλων παραγόντων.

2.3.10.1 Αντισεισμικός σχεδιασμός σύμφωνα με τους κανονισμούς (ERD)

Με την παραδοχή ότι τα κτήρια σε μια σεισμική ζώνη i έχουν μελετηθεί και σχεδιασθεί για ένα σεισμό μελέτης έντασης (ή εδαφικής κίνησης), που να συνδυάζει συνθήκες θέσης και υπεδάφους της ζώνης i , τα κτήρια που μελετώνται κατατάσσονται σύμφωνα με το ενσωματωμένο επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD). Ο αντισεισμικός σχεδιασμός διέπεται από τους εθνικούς σεισμικούς κανονισμούς.

Το επίπεδο του αντισεισμικού σχεδιασμού μπορεί να διακρίνεται με βάση τις παραμέτρους σχεδιασμού (ένταση, μέγιστη εδαφική κίνηση, διάτμηση βάσης) οι οποίες είναι άμεσα συσχετισμένες με την σεισμική ζώνη i . Επομένως, είναι δυνατόν κανείς να προβλέψει το επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD) σύμφωνα με τους κανονισμούς και με αυτό να αξιολογήσει τους τύπους ERD- i των μελετημένων κτηρίων στην περιοχή έρευνας με βάση τη σεισμική ζώνη που καθορίζεται στο πλαίσιο του εθνικού αντισεισμικού κανονισμού. Μπορεί να ληφθεί ως παραδοχή ότι για τα κτήρια ο τύπος ERD- i μπορεί να καθοριστεί, όπου το i εκφράζει την ένταση του σεισμού μελέτης καθώς και το επίπεδο αντοχής στο σεισμό.

Συνήθως, κάθε περιοχή ή πόλη χαρακτηρίζεται από ένα μόνο τύπο ERD- i . Αλλά για τον προσδιορισμό της έντασης είναι αναγκαίο να είναι διαθέσιμες πληροφορίες που να καθορίζουν την κατανομή ή τις μεμονωμένες θέσεις των κτηρίων αυτών. Μια περιοχή ή πόλη μπορεί να χαρακτηρίζεται από διαφορετικούς τύπους ERD- i όταν υπάρχουν κτήρια που έχουν κατασκευαστεί με διαφορετικούς σεισμικούς κανονισμούς.

Τρεις τύποι ERD- i μπορούν να ταξινομηθούν όπως παρακάτω:

Τύπος ERD-L: Κτήρια που περιλαμβάνουν χαμηλό ή ελάχιστο επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού.

Αυτό το επίπεδο χαρακτηρίζεται από τον περιορισμό των κατασκευαστικών παραμέτρων (και σε μερικές περιπτώσεις μια απλοποιημένη μέθοδο υπολογισμού). Ανάλογα με την σπουδαιότητα του κτηρίου μπορεί να είναι επιτρεπτό να αγνοηθούν πρόσθετα σεισμικά φορτία. Ειδικά μέτρα λεπτομερειακού σχεδιασμού (για βελτίωση της ελαστικότητας) δεν είναι συνήθη για αυτό τον τύπο κτηρίου. Αυτός ο τύπος είναι ευρέως διαδεδομένος σε περιοχές με χαμηλή ή μέτρια σεισμικότητα. (Συνήθως, κτήρια αυτού του τύπου είναι σχεδιασμένα για ένταση 7 ή για βασικό συντελεστή διάτμησης 2-4 % g) Κτήρια που έχουν μελετηθεί και περιλαμβάνουν (λόγω της κανονικότητας και της ποιότητας κατασκευής) περιορισμένο ή ισοδύναμο επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού είναι συγκρίσιμα με αυτό τον τύπο ERD. Επομένως, κατασκευές Ο.Σ. χωρίς ERD και αυτές οι κατασκευές Ο.Σ. του Τύπου ERD-L θεωρείται ότι ανήκουν σε μια ομάδα κτηρίων στον Πίνακα Τρωτότητας.

Τύπος ERD-M: Κτήρια που έχουν μελετηθεί και περιλαμβάνουν ένα μέτριο (βελτιωμένο) επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού.

Αυτό το επίπεδο χαρακτηρίζεται από την εφαρμογή κανόνων σχεδιασμού. Εφαρμόζονται εν μέρει ειδικά μέτρα λεπτομερειακού σχεδιασμού (για βελτίωση της ελαστικότητας). Αυτός ο τύπος πρέπει να αναμένεται σε περιοχές μέτριας ή υψηλής σεισμικότητας. (Συνήθως, κτήρια αυτού του τύπου είναι σχεδιασμένα για ένταση 8 ή για βασικό συντελεστή διάτμησης 5-7 % g).

Τύπος ERD-H: Κτήρια που έχουν μελετηθεί και περιλαμβάνουν ένα υψηλό (εξειδικευμένο) επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού.

Εδώ, τα σεισμικά φορτία υπολογίζονται με δυναμικές μεθόδους. Ειδικά μέτρα λεπτομερειακού σχεδιασμού διατίθενται ώστε να εξασφαλίσουν ένα ελαστικό σύστημα όπου η σεισμική ενέργεια διανέμεται σε όλη την κατασκευή και διασκορπίζεται κυρίως σε πλαστικούς συνδέσμους χωρίς κατασκευαστική αστοχία. Αυτός ο τύπος πρέπει να αναμένεται σε περιοχές υψηλής σεισμικότητας. (Συνήθως, κτήρια αυτού του τύπου είναι σχεδιασμένα για ένταση 9 ή για βασικό συντελεστή διάτμησης 8-12 % g). Αυτό το επίπεδο δεν

συναντάται ή δεν απαιτείται συνήθως σε Ευρωπαϊκές χώρες, και θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από βελτιωμένη ελαστικότητα κατασκευαστικών συστημάτων και ελεγμένους μηχανισμούς πλαστικότητας ως αποτέλεσμα ειδικών αντισεισμικών μέτρων (δυναμικός σχεδιασμός).

Ο βαθμός αντισεισμικού σχεδιασμού προβλέπεται να είναι σχετικά ομοιόμορφος μέσα σε οποιαδήποτε σεισμική περιοχή για την οποία πρέπει να καθοριστεί η ένταση. Ο βαθμός μπορεί να είναι ανομοιόμορφος όταν τα κτήρια μέσα σε μια σεισμική περιοχή έχουν σχεδιαστεί για διαφορετικούς κανονισμούς, για παράδειγμα, όταν ένας παλιός κανονισμός αναθεωρείται ή αντικαθίσταται πλήρως από ένα νέο.

2.3.10.2 Σπουδαιότητα

Σύμφωνα με τις εξελίξεις των κανονισμών η σπουδαιότητα των μελετημένων κτηρίων πρέπει να ληφθεί υπόψη επειδή μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά επίπεδα αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD) για τον ίδιο τύπο κτηρίου. Η σπουδαιότητα ενός κτηρίου καθορίζεται από τον αριθμό των ενοίκων ή των επισκεπτών, τη χρήση του κτηρίου (ή τις συνέπειες διακοπής της χρήσης) ή τον κίνδυνο για το κοινό και το περιβάλλον στην περίπτωση αστοχίας του κτηρίου.

Η κατάταξη ως προς τη σπουδαιότητα δεν εναρμονίζεται και είναι επίσης αρκετά διαφορετική στους Ευρωπαϊκούς αντισεισμικούς κανονισμούς, και συνδέεται με τον καθορισμό των δεικτών ενίσχυσης του σεισμικού φορτίου (δείκτες σπουδαιότητας). Σε ειδικές περιπτώσεις κτήρια μεγαλύτερης σπουδαιότητας είναι σχεδιασμένα για φορτία που είναι χαρακτηριστικά για μια υψηλότερη ζώνη ή κατηγορία έντασης. Κτήρια μεγάλης σπουδαιότητας ή με μεγαλύτερες πιθανότητες κινδύνου θα πρέπει να μελετηθούν με προσοχή σε σχέση με το τελικό επίπεδο σεισμικών φορτίων μελέτης. Γενικά, θα πρέπει να ληφθεί υψηλότερο επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού για αυτό το είδος κτηρίων.

2.3.10.3 Τελικό (πραγματικό) επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD) και κατηγορία τρωτότητας

Μετά τον προσδιορισμό του επιπέδου συμφωνίας με τους κανονισμούς, είναι αναγκαίο να βρεθεί το κατάλληλο (ή πραγματικό) επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD) και να καθοριστεί η κατηγορία τρωτότητας. Αυτό περιλαμβάνει μελέτη του βαθμού κανονικότητας καθώς και της ποιότητας κατασκευής των διαφόρων τύπων κτηρίων ή δομικών συστημάτων, και την εφαρμογή σύγχρονων αρχών σχεδιασμού στην περιοχή μελέτης. Επιπλέον, είναι αναγκαίο να συγκριθούν τα επίπεδα μελέτης μελετημένων κτηρίων στην σεισμική περιοχή με τα ιδεατά χαρακτηριστικά των τύπων ERD-ι που εκφράζονται ως προς την ένταση μελέτης ή με άλλους συντελεστές μελέτης σχετικούς με την ζώνη. Είναι αναμενόμενο ότι στη μεγάλη πλειοψηφία των περιπτώσεων το πραγματικό επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD) θα είναι το ίδιο με το επίπεδο σύμφωνα με τους κανονισμούς. Εξαιρέσεις θα αποτελούν ειδικές κατασκευές (όπου το επίπεδο μπορεί να είναι υψηλότερο) και περιπτώσεις όπου ο κανονισμός δεν έχει εφαρμοστεί σωστά (όπου το επίπεδο μπορεί να είναι χαμηλότερο).

Το εύρος των πιθανών κατηγοριών στον Πίνακα Τρωτότητας είναι λίγο-πολύ δείκτης του υπάρχοντος επιπέδου αντισεισμικού σχεδιασμού (ERD). Οι κατηγορίες τρωτότητας υψηλότερες από C ή D είναι στην πράξη περιορισμένες σε μελετημένες κατασκευές με ένα ορισμένο επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού (ή μερικές ξύλινες κατασκευές).

Με βάση τα παραπάνω το πραγματικό επίπεδο ERD μέσα στο αναμενόμενο εύρος συνθηκών διαβάθμισης μπορεί να οριστεί όπως παρακάτω:

Για κτήρια με σκελετό Ο.Σ. του τύπου ERD-L είναι πιθανές οι κατηγορίες τρωτότητας C μέχρι D, με την C να είναι η πιθανότερη.

Για κτήρια με σκελετό Ο.Σ. του τύπου ERD-M είναι πιθανές οι κατηγορίες τρωτότητας D μέχρι E, με την D να είναι η πιθανότερη.

Για κτήρια με σκελετό Ο.Σ. του τύπου ERD-H είναι πιθανές οι κατηγορίες τρωτότητας E μέχρι F, με την E να είναι η πιθανότερη.

Για κατασκευές με τοιχεία Ο.Σ. του τύπου ERD-L και σκελετούς από χάλυβα (ανθεκτικούς στη ροπή) είναι πιθανή η κατηγορία τρωτότητας D.

Για κατασκευές με τοιχεία Ο.Σ. και σκελετούς από χάλυβα (ανθεκτικούς στη ροπή) του τύπου ΑΣ-Μ είναι πιθανές οι κατηγορίες τρωτότητας D μέχρι E, με την D να είναι η πιθανότερη για κατασκευές με τοιχεία Ο.Σ. και την E να είναι η πιθανότερη για σκελετούς από χάλυβα (ανθεκτικούς στη ροπή).

Για κατασκευές με τοιχεία Ο.Σ. και σκελετούς από χάλυβα (ανθεκτικούς στη ροπή) του τύπου ERD-H είναι πιθανές οι κατηγορίες τρωτότητας E μέχρι F, με την E να είναι η πιθανότερη για κατασκευές με τοιχεία Ο.Σ. και την F να είναι η πιθανότερη για σκελετούς από χάλυβα (ανθεκτικούς στη ροπή).

Για κτήρια με σκελετό Ο.Σ. χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό είναι πιθανές οι κατηγορίες B μέχρι C, με την C να είναι η πιθανότερη. Για κτήρια με σκελετό από Ο.Σ. με σοβαρά μειονεκτήματα (όπως εύκαμπτους ορόφους, ασθενή υποστυλώματα, απουσία στοιχείων ακαμψίας όπως τοίχους πλήρωσης από τούβλα ή διατμητικούς τοίχους) μπορεί να είναι ενδεδωμένη η κατηγορία B ή ακόμη και η Α. Για κτήρια με κανονικούς σκελετούς Ο.Σ. χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό αλλά με ενσωμάτωση κάποιου επιπέδου πλευρικής αντοχής (λόγω σχεδιασμού έναντι ανεμοπίεσης ή εξασφάλισης ευστάθειας) θα μπορούσε να είναι αντιπροσωπευτική η κατηγορία τρωτότητας D για εξαιρετικές περιπτώσεις.

Για κατασκευές με τοιχώματα Ο.Σ. χωρίς αντισεισμικό σχεδιασμό είναι πιθανές οι κατηγορίες τρωτότητας C μέχρι D, με την C να είναι η πιθανότερη. Για τοιχεία Ο.Σ. με σοβαρά ελαττώματα η κατηγορία τρωτότητας B μπορεί να θεωρηθεί ως εξαιρετική περίπτωση. Θα πρέπει να παρατηρήσει κανείς ότι τα ελαττώματα δεν οδηγούν στην τόσο δραστική υποβάθμιση της τρωτότητας που μπορεί να παρατηρηθεί στις περιπτώσεις κατασκευών με σκελετό Ο.Σ.

2.4 Προσδιορισμός της κατηγορίας τρωτότητας

Κατά την εκτίμηση της κατηγορίας τρωτότητας μιας κατασκευής ή ενός συγκροτήματος κατασκευών, μια εξέταση του τύπου κατασκευής του κτηρίου βοηθά στην εύρεση της σωστής σειράς στον Πίνακα Τρωτότητας. Η απόφαση για τον προσδιορισμό της κατηγορίας εξαρτάται από τη συσχέτιση των χαρακτηριστικών που περιγράφηκαν πιο πάνω με τα σύμβολα που ορίζονται για το εύρος των πιθανών κατηγοριών στον Πίνακα Τρωτότητας.

Το σύμβολο του κύκλου δείχνει την πιθανότερη κατηγορία. Αν δεν υπάρχουν ιδιαίτερα ισχυρά ή ασθενή χαρακτηριστικά σ' ένα κτήριο, τότε αυτή είναι η κατηγορία που πρέπει να αποδοθεί. Μια έντονη γραμμή δείχνει μια πιθανή διακύμανση προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Μερικά ισχυρά ή ασθενή χαρακτηριστικά μπορεί να κάνουν το κτήριο να τοποθετηθεί μέσα σ' αυτό το εύρος. Μια εστιγμένη γραμμή δείχνει το εύρος σε ακραίες περιπτώσεις - πολλά ισχυρά ή ασθενή χαρακτηριστικά, ή ισχυρά σημεία που είναι ιδιαίτερα αξιοπρόσεκτα, ή πολύ σοβαρά ελαττώματα, οδηγούν στην κατάταξη του κτηρίου μέσα σ' αυτό το εύρος.

Μερικά παραδείγματα μπορούν να εξηγήσουν αυτή τη διαδικασία.

(i) Ένα κτήριο αποτελείται από οπλισμένη οπτοπλινθοδομή με δάπεδα από Ο.Σ., με ένα ευπαθές ισόγειο (ασταθή όροφο), μέση κανονικότητα και μέση ποιότητα κατασκευής. Η κανονική κατηγορία θα ήταν C, αλλά το κτήριο δεν έχει πλεονεκτήματα που να αντισταθμίζουν τη σημαντική ανεπάρκεια του ασταθούς ορόφου, και μπορεί να ενταχθεί στην κατηγορία B, η οποία είναι στο πιθανό εύρος κατηγοριών τρωτότητας για αυτό τον τύπο κτηρίου.

(ii) Ένα κτήριο παρόμοιου σχεδιασμού είναι κατασκευασμένο μόνο από άοπλη οπτοπλινθοδομή. Αυτός ο τύπος κτηρίου είναι κανονικά κατηγορίας B. Η ανεπάρκεια του ασταθούς ορόφου δεν είναι αρκετή για να το υποβιβάσει στην κατηγορία A, αφού αυτή είναι το ακραίο σημείο του εύρους. Αν το κτήριο ήταν επιπλέον και σε κακή κατάσταση επειδή ήταν ακατοίκητο και δεν είχε συντηρηθεί για μερικά χρόνια, και εσωτερικά είχε μεγάλη έλλειψη κανονικότητας επιπλέον του ασταθούς ισογείου, αυτός ο συνδυασμός μειονεκτημάτων θα ήταν αρκετός για να το κατατάξει στην κατηγορία A.

Είναι σύνηθες τα ασταθέστερα κτήρια ενός συγκροτήματος να είναι αυτά που παθαίνουν βλάβες πρώτα σε ένα σεισμό. Ωστόσο, αυτή δεν είναι καλή δικαιολογία για να υποβαθμιστούν αυτομάτως όλα τα κτήρια κατά μια κατηγορία τρωτότητας. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν μόνο πληροφορίες για τους κτηριακούς τύπους (όπως για παράδειγμα συμβαίνει με τις περισσότερες ιστορικές αναφορές, όπου μερικές φορές απουσιάζουν ακόμη και αυτές οι πληροφορίες), πρέπει κανείς κανονικά να αποδώσει την πιθανότερη κατηγορία τρωτότητας, και να χρησιμοποιήσει διαφορετική κατηγορία μόνο ως τρόπο επίλυσης σε μια κατάσταση που διαφορετικά θα ήταν ανώμαλη.

2.5 Παρατηρήσεις για την εισαγωγή νέων κτηριακών τύπων

Κατά τη χρήση της κλίμακας εκτός Ευρώπης, ή σε περιοχές μέσα στην Ευρώπη όπου συναντάται ένας χαρακτηριστικός τοπικός κτηριακός τύπος, μπορεί να απαιτηθεί να αντιμετωπισθούν κτηριακοί τύποι που δεν καλύπτονται από τον Πίνακα Τρωτότητας με τη μορφή που έχει. Οι παρακάτω σύντομες οδηγίες δίνουν μερικές ενδείξεις σχετικά με την διαδικασία. Η διαδικασία αυτή πιθανόν να μην είναι άμεση και είναι καλύτερο να αναληφθεί από μια ομάδα ειδικών με κάποιο ελεγχόμενο τρόπο.

Ο στόχος εν γένει είναι η σύγκριση του νέου κτηριακού τύπου με αυτούς που ήδη έχουν καλυφθεί και η απόπειρα να εδραιωθεί μια ισοδυναμία. Αν για παράδειγμα θεωρείται ότι ο τύπος είναι το ίδιο ανθεκτικός, αλλά όχι ανθεκτικότερος, από μια συνήθη κατασκευή από οπτοπλινθούς, τότε ο τύπος θα μπορούσε να τοποθετηθεί βασικά στην κατηγορία B. Αν ο κτηριακός τύπος είναι τέτοιος ώστε να μην συμπεριφέρεται ποτέ χειρότερα από τα κτήρια από οπτοπλινθοδομή, αλλά σε μερικές περιπτώσεις συμπεριφέρεται σημαντικά καλύτερα, όταν η κατασκευή είναι πολύ καλή και λόγω εγγενούς ελαστικότητας, τότε θα μπορούσε κανείς να συμπεράνει πως αυτός ο τύπος θα παρουσιάζεται στον Πίνακα Τρωτότητας μ' ένα κύκλο κάτω από το B και μια γραμμή που να προεκτείνεται μέχρι το C αλλά όχι μέχρι το A.

Η ερώτηση είναι πως μπορεί να εδραιωθεί μια τέτοια ισοδυναμία. Ιδανικά, σε μια περιοχή όπου ο νέος κτηριακός τύπος συνυπάρχει μ' ένα κτηριακό τύπο ήδη υπάρχοντα στον πίνακα Τρωτότητας, τότε τα αποτελέσματα μιας αποτίμησης βλαβών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την εδραίωση μιας αντικειμενικής κατάταξης. Για παράδειγμα, σε μία πόλη, πολλά κτήρια από οπτοπλινθοδομή παθαίνουν βλάβες 2^{ου} βαθμού, αλλά μόνο λίγα από τα κτήρια του νέου τύπου παθαίνουν τέτοιες βλάβες. Η ένταση προσδιορίζεται σε 7, και τα στοιχεία δείχνουν ότι ο νέος κτηριακός τύπος είναι κατηγορίας C.

Αν αυτό δεν είναι δυνατόν, επειδή ο νέος κτηριακός τύπος είναι αποκλειστικός κτηριακός τύπος στην περιοχή, μπορεί να είναι δυνατόν να προσδιοριστούν εντάσεις 6-8 από άλλες

διαγνωστικές μεθόδους και κατόπιν να καθοριστεί η σωστή κατηγορία τρωτότητας εξετάζοντας το ποσοστό κτηρίων που υπέστησαν βλάβες.

Διαφορετικά, μπορεί να υπάρχει η δυνατότητα να εκτιμηθεί μια ισοδυναμία σε θεωρητική βάση από μια συγκριτική θεώρηση της ελαστικότητας και της αντοχής, λαμβάνοντας υπ' όψιν οριζόντια στοιχεία, καθώς και κατακόρυφα.

Πρέπει να δοθεί προσοχή σε κτηριακούς τύπους που θα μπορούσαν να θεωρηθούν σύνθετες κατασκευές. Ένα παράδειγμα είναι τα ξύλινα κτήρια με εξωτερική επένδυση από οπτόπλινθους. Σ' αυτή την περίπτωση, αν η επένδυση δεν είναι καλά δεμένη με την κατασκευή μπορεί να είναι πολύ ασταθής και ευπαθής, ενώ ο ξύλινος σκελετός να παραμείνει ελαστικός και ανεπηρέαστος. Τέτοια κτήρια μπορεί πολύ εύκολα να υποστούν μη δομικές βλάβες ενώ έχουν υψηλή αντίσταση στην δομική κατάρρευση. Κτήρια με ειδικές ενισχύσεις, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μπορεί να αποτελούν περιπτώσεις δύσκολες να εκτιμηθούν με απλό τρόπο.

3 Εκτίμηση της έντασης από ιστορικές αναφορές

3.1 Ιστορικά και αρχειακά δεδομένα

Ο όρος «ιστορικά δεδομένα» χρησιμοποιείται συχνά για να δώσει την έννοια των περιγραφών των αποτελεσμάτων ενός σεισμού από ιστορικές καταγραφές, δηλαδή γραπτές πηγές προγενέστερες από την ενόργανη περίοδο (πριν το 1900). Ωστόσο, πρέπει να τονιστεί ότι παρόμοια σημαντικά μακροσεισμικά δεδομένα είναι ακόμη διαθέσιμα και χρησιμοποιήθηκαν για σεισμούς του 20^{ου} αιώνα, ακόμα και πολύ πρόσφατους.

Επομένως, είναι πρακτικό να μελετηθούν από κοινού οι ιστορικές και οι σύγχρονες γραπτές ενδείξεις ως «αρχειακά δεδομένα». Αυτός ο όρος χρησιμοποιείται εδώ για να διαφοροποιηθούν οι περιγραφές των αποτελεσμάτων ενός σεισμού που έχουν καταγραφεί για μη σεισμολογικούς σκοπούς από δεδομένα ερωτηματολογίων που συγκεντρώθηκαν υπό την επίβλεψη σεισμολόγων. Αυτά τα δεδομένα πρέπει να ανακτηθούν και να ερμηνευθούν σύμφωνα με ιστορικές μεθόδους, ανεξαρτήτως του κατά πόσο σχετίζονται π.χ. με τη δεκαετία του 1890 ή του 1980.

Η ανάκτηση και διαχείριση των γραπτών αναφορών απαιτεί φροντίδα και εμπειρία, όπως φαίνεται σε ένα μεγάλο μέρος της πρόσφατης βιβλιογραφίας. Ιδιαίτερα ο ερευνητής που επεξεργάζεται τις γραπτές αναφορές πρέπει να αντιλαμβάνεται ότι η πληροφορία έχει φτάσει σε αυτόν μετά από μία μακρά και πολύπλοκη πορεία. Επομένως, είναι σημαντικό να αρχίσει την επεξεργασία του λαμβάνοντας υπόψη το περιεχόμενο των δεδομένων με ιστορικούς, γεωγραφικούς αλλά και λογοτεχνικούς όρους.

Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στα ακόλουθα σημεία :

(i) Η σπουδαιότητα της πηγής, λαμβάνοντας υπόψη το κίνητρο για την καταγραφή της και το πλαίσιο στο οποίο δημιουργήθηκε. Ποια είναι η ευπάθεια της πηγής ως προς τους σεισμούς και τα άλλα φυσικά φαινόμενα; (Για παράδειγμα, σε χαμηλότερες εντάσεις είναι πιο πιθανό να έχει καταγραφεί ένας σεισμός σε ένα προσωπικό ημερολόγιο από ότι στα πρακτικά ενός Δημοτικού Συμβουλίου).

(ii) Το πλαίσιο στο οποίο εμφανίζεται η αναφορά μπορεί να περιλαμβάνει σημαντικές πληροφορίες και δεν θα πρέπει να αγνοείται. Για παράδειγμα, ένα βιβλίο μπορεί να περιλαμβάνει μία σύντομη περιγραφή των αποτελεσμάτων ενός σεισμού σε ένα κεφάλαιο, αλλά να παρέχει κάποιες λεπτομέρειες που να διορθώνουν κατά κάποιο τρόπο την πληροφορία σε ένα άλλο σημείο του τόμου. Αν η αναφορά του σεισμού απομονωθεί, η ποιοτική αυτή πληροφορία, που μπορεί να είναι ζωτικής σημασίας, θα χαθεί. Ο τρόπος διατύπωσης είναι επίσης σημαντικός, και η πληροφορία δεν θα πρέπει να περιορισθεί σε μία περίληψη, έτσι ώστε να αφαιρεθεί η χροιά του πρωτοτύπου.

(iii) Η χωρο-χρονική τοποθέτηση της πληροφορίας. Αυτό είναι πολύ σημαντικό: η απρόσεκτη διαχείριση εδώ μπορεί να καταλήξει σε διπλές καταχωρίσεις σεισμών, δεδομένα για έναν σεισμό να αποδοθούν σε ένα διαφορετικό γεγονός ή στον σωστό σεισμό αλλά σε λάθος τόπο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα δεδομένα δεν είναι δυνατόν να αναλυθούν επαρκώς όσον αφορά στον χώρο ή στον χρόνο ή και στα δύο – σε τέτοιες περιπτώσεις, αυτό πρέπει να υποδεικνύεται ξεκάθαρα όταν τα δεδομένα χαρτογραφούνται.

Αυτές οι λίγες παράγραφοι δεν αποσκοπούν να δράσουν ως αναλυτικός οδηγός για τεχνικές έρευνας ιστορικών σεισμών· το θέμα αυτό εξετάζεται σε μάκρος στη σχετική βιβλιογραφία.

3.2 Τύποι κατασκευών (κατηγορίες τρωτότητας) σε ιστορικές αναφορές

Σε ιστορικές μαρτυρίες συχνά αναφέρονται λεπτομερώς βλάβες σε σημαντικά μνημεία

(κάστρα, εκκλησίες, παλάτια, πύργους, κίνες κλπ.). Σπανιότερα αναφέρονται τα αποτελέσματα σε κοινά κτήρια, τα οποία είναι τα μόνα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο πλαίσιο της κλίμακας. Το πρώτο είδος δεδομένων εξετάζεται στη συνέχεια στην Ενότητα 3.5, καθώς τα κτήρια αυτά εμφανίζουν ειδικά προβλήματα.

Όσον αφορά στα κοινά κτήρια, οι κατηγορίες τρωτότητας των παραδοσιακών σπιτιών κυμαίνονται στις περισσότερες περιπτώσεις από Α έως Β, ακόμη και έως C και D (ξύλινες κατασκευές). Από την βιβλιογραφία ξέρουμε ελάχιστα για τους τύπους των κτηρίων στην Ευρώπη κατά τον 17^ο αιώνα, εκτός από το προφανές γεγονός ότι οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν τα υλικά που ήταν τα πιο προσιτά για αυτούς και ότι όσο πιο εύπορος ήταν ο ιδιοκτήτης, τόσο πιο γερό και καλύτερα διατηρημένο θα ήταν το σπίτι του. Το σίγουρο, πάντως, είναι ότι στον Μεσαίωνα τα περισσότερα σπίτια σε πολλά μέρη της Ευρώπης ήταν φτιαγμένα από ξύλο, ενώ η μετάβαση στα σπίτια από πέτρα ή τούβλα ήταν μακρά και σε ορισμένες περιπτώσεις μόνο μερική. Χωρίς λεπτομερή πληροφορία, όμως, είναι πολύ δύσκολο να γίνει οποιαδήποτε αξιόπιστη εκτίμηση της αντοχής αυτών των κατασκευών. Δεν είναι βέβαιο, π.χ., αν οι μεσαιωνικές ξύλινες κατασκευές ήταν τόσο ανθεκτικές, όσο αυτές που γνωρίζουμε σήμερα.

Μπορούν να προταθούν ορισμένες μέθοδοι για την επίλυση του προβλήματος - για παράδειγμα, αν πιθανολογείται ότι ο τύπος της κατοικίας σε ένα συγκεκριμένο τόπο και χρόνο ήταν κατηγορίας τρωτότητας είτε Α, ή Β, είναι πιθανό να εκτιμηθεί η ένταση θεωρώντας κατηγορία Α, στην συνέχεια να γίνει μία δεύτερη εκτίμηση θεωρώντας κατηγορία Β και μετά να χρησιμοποιηθεί το εύρος των βαθμών έντασης που δίνεται από τις δύο διαφορετικές εκτιμήσεις. Ή θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη άλλοι παράγοντες πολιτιστικής κληρονομιάς· αν υπάρχουν ενδείξεις ότι οι κατασκευές ήταν ασθενέστερες σε φτωχές αγροτικές περιοχές από ότι στις πιο ευημερούσες πόλεις, θα ήταν λογικό να αποδοθεί υψηλότερο ποσοστό κατηγορίας τρωτότητας Α στις καλύτερες και Β στις πόλεις. Η αντίληψη ότι οι πρώτες κατασκευές που θα καταστραφούν είναι κατά πάσα πιθανότητα αυτές που βρίσκονται στη χειρότερη κατάσταση, ίσως βοηθήσει (αλλά δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται στα τυφλά ή αυτόματα) να παρθούν αποφάσεις σε μερικές περιπτώσεις.

3.3 Συνολικός αριθμός κτηρίων

Προκειμένου να γίνει εκτίμηση της έντασης χρησιμοποιώντας το ποσοστό των κτηρίων που έπαθαν βλάβες, είναι απαραίτητο να γνωρίζει κανείς όχι μόνο πόσα σπίτια έπαθαν βλάβες, αλλά και πόσα σπίτια δεν έπαθαν. Οι πηγές των δεδομένων που περιγράφουν τις βλάβες δεν μεταφέρουν συστηματικά (ή συχνά) και αυτό το είδος της πληροφορίας. Ωστόσο, πληροφορίες για τον συνολικό αριθμό των κτηρίων σε ένα τόπο μπορεί συχνά να ληφθούν με κάποια επιτυχία ερευνώντας άλλα είδη πηγών, όπως δημογραφικές μελέτες, τοπογραφικές εργασίες, απογραφές πληθυσμού κλπ. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να βρεθούν χωρίς δυσκολία αξιόπιστα αριθμητικά στοιχεία. Πιο συχνά είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν εκτιμήσεις βασισμένες σε δεδομένα πληθυσμού με διάφορες υποθέσεις και συσχετισμούς. Οι αριθμοί αυτοί θα μεταφέρουν κάποια αβεβαιότητα που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στην εκτίμηση της έντασης, και συχνά οδηγούν σε αβέβαιες - αλλά και πάλι χρήσιμες - εκτιμήσεις.

Μία επιπλέον επιπλοκή είναι ότι τα διαθέσιμα αριθμητικά στοιχεία μπορεί να σχετίζονται με την περιοχή που περιβάλλει μία μικρή πόλη, καθώς και ορισμένα χωριά, μικρούς οικισμούς, και ερειπωμένα σπίτια, αν και η διατύπωση προτείνει ότι πρόκειται για την ίδια την πόλη που περιγράφεται. Οι περιγραφές των βλαβών μπορούν να έχουν το ίδιο πρόβλημα. Είτε μπορεί να λυθεί αυτό το πρόβλημα, είτε όχι σε ιδιαίτερες περιπτώσεις, πρέπει όμως να αναγνωρισθεί ότι μία τέτοια κατάσταση μπορεί να οδηγήσει σε παρερμηνείες της τάξης του ± 1 βαθμού έντασης. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι ίσως καλύτερο να παραμένει κανείς πιστός σε ένα εύρος εντάσεων όπως 7 - 8, κλπ.

3.4 Ποιότητα των περιγραφών

Έγγραφα που αναφέρουν αποτελέσματα σεισμών, ανάλογα με τη φύση τους, συχνά επικεντρώνονται στα πιο αξιολογούμενα και άξια δημοσιεύσεως αποτελέσματα, ενώ παραλείπονται όλες οι άλλες λεπτομέρειες. Η σιωπή μίας πηγής όσον αφορά σε μικρότερης σημασίας αποτελέσματα μπορεί να οφείλεται σε έναν αριθμό παραγόντων και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως απόδειξη ότι τίποτα άλλο δεν συνέβη εκτός από αυτό που περιγράφεται. Ομοίως, αντίστροφες υποθέσεις είναι επίσης αβάσιμες. Για παράδειγμα, δεν έχει έννοια να εξάγονται συμπεράσματα όπως, «αν η καμπάνα του πύργου έπεσε κάτω, τότε θα πρέπει να έχουν προκληθεί τουλάχιστον ορισμένες ασήμαντες βλάβες στα περισσότερα από τα υπόλοιπα κτήρια». Ο μόνος τρόπος για να βελτιωθούν τα δεδομένα είναι η περαιτέρω έρευνα (αυτό μπορεί και να γίνει χωρίς επιτυχία). Πληροφορίες που καταγράφονται λίγες μέρες, εβδομάδες ή ακόμη και μήνες μετά τον σεισμό, από την ίδια ή από άλλες πηγές, μπορεί να διαφωτίσουν είτε εφοδιάζοντας με νέα δεδομένα για βλάβες, είτε με έμμεσες ενδείξεις των αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα, ενδείξεις ότι η ζωή σε ένα τόπο συνεχίζεται ως συνήθως μετά από ένα σεισμό – οι άνθρωποι εξακολουθούν να ζουν και να εργάζονται στα σπίτια τους, το δημοτικό συμβούλιο συνεδριάζει όπως πάντα, η λειτουργία στις εκκλησίες συνεχίζεται – μπορούν να θεωρηθούν αντιφατικές σε σχέση με μία περιγραφή που οδηγεί κάποιον να πιστέψει ότι η ένταση ήταν τις τάξης των 9 βαθμών.

Αν τα δεδομένα παραμένουν πενιχρά μετά από την εξάντληση όλων των δρόμων, τότε πρέπει να ληφθούν ως έχουν και η εκτίμηση της έντασης θα πρέπει να γίνει με ένα εύρος αβεβαιότητας που να αντιπροσωπεύει κατάλληλα την ανεπάρκεια των δεδομένων. Μία καλή διαδικασία είναι να κρατείται σημείωση για το πώς έφτασε κανείς στις συγκεκριμένες αποφάσεις για τις τιμές.

3.5 Βλάβες σε μνημειακά κτήρια

Οι βλάβες σε μνημειακά κτήρια συνήθως αντιπροσωπεύονται καλύτερα σε αρχαιακές πηγές από ότι οι βλάβες σε κοινά σπίτια, για δύο λόγους:

- (i) Αυτά τα κτήρια είναι πιο σημαντικά για τους συγγραφείς τέτοιων αναφορών εξαιτίας της κοινωνικής, οικονομικής, συμβολικής ή πολιτιστικής τους αξίας.
- (ii) Η δομική και η μη-δομική πολυπλοκότητα τέτοιων κτηρίων είναι τέτοια που είναι πιο πιθανό να υποστούν βλάβες από ότι τα κοινά κτήρια, ακόμη και αν είναι καλύτερα χτισμένα.

Αυτή είναι η περίπτωση, για παράδειγμα, όταν μικρά αρχιτεκτονικά διακοσμητικά στοιχεία αποκολλώνται από εκκλησίες κατά την διάρκεια μίας σεισμικής δόνησης που είναι γενικά κάτω από το επίπεδο στο οποίο προκαλούνται βλάβες. Πρέπει κανείς να είναι πολύ προσεκτικός ώστε να μην υπερεκτιμήσει την ένταση ως επακόλουθο τέτοιου είδους αποτελεσμάτων.

Σε ένα μέρος, τα μνημειακά κτήρια είναι συνήθως μοναδικά ή ελάχιστα. Επομένως, είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθούν δεδομένα που σχετίζονται με αυτά τα κτήρια με ένα στατιστικό τρόπο, όπως απαιτεί η κλίμακα. Τέτοια δεδομένα πρέπει, λοιπόν, να χρησιμοποιούνται με προσοχή, ως συμπληρωματικά σε άλλες ενδείξεις (αν είναι διαθέσιμες). Αν τα μόνα διαθέσιμα δεδομένα είναι αυτού του είδους, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί εύρος έντασης για να υποδειχθεί η αβεβαιότητα στην ερμηνεία.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, στις οποίες δίνονται πολύ λεπτομερείς περιγραφές βλαβών για ένα κτήριο το οποίο υπάρχει ακόμη και σήμερα και μπορεί να ερευνηθεί, ή για το οποίο υπάρχουν λεπτομερείς περιγραφές, χρήσιμα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν για το σεισμό κάνοντας εξειδικευμένες αναλύσεις.

4 Η χρήση των κλιμάκων έντασης

Η χρήση των κλιμάκων έντασης γίνεται παραδοσιακά κυρίως μέσω της έρευνας με ερωτηματολόγια και της έρευνας υπαίθρου, που πραγματοποιούνται αμέσως μετά από ένα σεισμό. Λόγω του αυξανόμενου ενδιαφέροντος για παλαιότερους σεισμούς από τα μέσα της δεκαετίας του '70, έγινε μεγαλύτερη χρήση των κλιμάκων έντασης ως εργαλεία ανάλυσης σε γραπτές μαρτυρίες με μεγάλη ετερογένεια. Επίσης, οι μηχανικοί και οι χωροτάκτες στρέφονται όλο και πιο συχνά στην ένταση για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των κτηρίων, με σκοπό την εκτίμηση μελλοντικών αστοχιών. Το παρόν κείμενο αποτελεί μελέτη για τη γενική χρήση της κλίμακας EM-98, και όχι πλήρες εγχειρίδιο για τη μακροσεισμική. Παρόλα αυτά, μερικές χρήσιμες παρατηρήσεις μπορούν να γίνουν στο πλαίσιο αυτό.

4.1 Παρατηρηθείσες και υπολογισθείσες εντάσεις

Η ένταση, έτσι όπως περιγράφεται στις παρούσες οδηγίες, εκφράζεται εξ ολοκλήρου ως μία παράμετρος η οποία προέρχεται από δεδομένα παρατήρησης. Είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι μερικές φορές οι τιμές της έντασης που μπορεί να συναντήσει κανείς δεν έχουν εκτιμηθεί από παρατηρήσεις σε έναν τόπο, αλλά αποτελούν το αποτέλεσμα υπολογισμού από δεδομένα από άλλους τόπους. Αυτό απαντάται πολύ συχνά σε καταλόγους, των οποίων οι συντάκτες έχουν χρησιμοποιήσει παρατηρηθείσες τιμές έντασης για να υπολογίσουν την αναμενόμενη ένταση ακριβώς πάνω στο επίκεντρο του σεισμού.

Η συζήτηση για τέτοιου είδους πρακτικές είναι πέρα από τους σκοπούς των οδηγιών που δίνονται, αλλά θα ήταν χρήσιμο αν όλες οι τιμές έντασης που αναφέρονται και που δεν προκύπτουν από πραγματικά δεδομένα παρατήρησης να έχουν ξεχωριστό χαρακτηρισμό από τις άλλες.

4.2 Συσχετίσεις με τις παραμέτρους εδαφικής κίνησης

Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει για τη συσχέτιση της έντασης με συγκεκριμένες φυσικές παραμέτρους της εδαφικής κίνησης, ιδιαίτερα με τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, και μερικές πρώιμες κλίμακες συνήθως περιελάμβαναν τις τιμές της ισοδύναμης μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης μέσα στην κλίμακα. Ενώ είναι αναμφισβήτητο ότι τα αποτελέσματα που παρατηρούνται, από τα οποία προέρχονται οι τιμές έντασης, είναι το αποτέλεσμα των παραμέτρων της πραγματικής εδαφικής κίνησης, η σχέση μεταξύ τους είναι πολύπλοκη και δεν επιδέχεται απλών συσχετίσεων· επίσης υπάρχουν ενδείξεις ότι η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση δεν είναι η μοναδική και πιο σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την ένταση. Οι σχέσεις μεταξύ έντασης και μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης παρουσιάζουν πολύ μεγάλη διασπορά, τόση που να καθιστούν τις αναμενόμενες τιμές μικρής σημασίας (παρόλο που η διασπορά μπορεί να μειωθεί αν χρησιμοποιηθούν φασματικές επιταχύνσεις).

Για τον λόγο αυτό, δεν έχει γίνει καμία προσπάθεια που να περιλαμβάνει ένα συγκριτικό πίνακα έντασης και παραμέτρων εδαφικής κίνησης, όπως η επιτάχυνση.

4.3 Συσχέτιση με άλλες κλίμακες

Το ιδεώδες είναι να μην προσπαθεί κανείς να μετατρέψει τιμές έντασης μιας κλίμακας σε άλλης μέσω εμπειρικού τύπου ή πίνακα, παρόλο που έχουν δημοσιευθεί πολλοί τέτοιοι πίνακες. Αντίθετα, τα δεδομένα πρέπει να επανεκτιμώνται με χρήση της κλίμακας στην οποία θέλει κανείς να εκφράσει τα αποτελέσματά του. Αυτό στην πράξη είναι συχνά δύσκολο ή αδύνατο, οπότε ένα είδος παράγοντα μετατροπής εφαρμόζεται τελικά.

Η εμπειρία δείχνει ότι η σύγκριση διαφορετικών κλιμάκων έντασης δεν είναι σαφής, αφού οι τιμές συχνά ποικίλλουν περισσότερο από ερευνητή σε ερευνητή, αν χρησιμοποιούν την ίδια κλίμακα, από ότι διαφέρουν από κλίμακα σε κλίμακα, αν ο ερευνητής παραμένει ο ίδιος. Αυτό είναι ιδιαίτερος αληθής για τις κύριες δωδεκαβάθμιες κλίμακες, λόγω της στοιχειώδους ομοιότητάς τους στο περίγραμμα. Αν κάποιος αποπειραθεί να κάνει συγκριτική αξιολόγηση, θα υπογραμμίσει τις μικροδιαφορές με σαφή τρόπο, οπότε η κλίμακα δεν θα χρησιμοποιηθεί σύμφωνα με τη συνήθη πρακτική, οπότε το πείραμα θα ήταν άκυρο. Η άλλη περίπτωση είναι να χρησιμοποιήσει κανείς τις κλίμακες με περισσότερο φυσικό, ευέλικτο τρόπο, οπότε οι όποιες διαφορές στην ερμηνεία εξαφανίζονται.

Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν θα πρέπει να υπάρχει δυσκολία στη μετατροπή μεταξύ τιμών στις κλίμακες MSK και EMS, σύμφωνα με τη σχέση $MSK = EMS$. Η πιο συνήθης διαφορά είναι ότι μερικές τιμές με αβεβαιότητα, όπως 4-5 MSK ή 6-7 MSK θα προσδιοριστούν τώρα με περισσότερη βεβαιότητα ως 4 EMS και 6 EMS. Άλλες διαφορές μπορεί να προκύψουν από τις κατά γράμμα ή αυστηρές ερμηνείες της κλίμακας MSK. Για παράδειγμα, με σχολαστική ανάγνωση του κειμένου της MSK, το όριο για βλάβες ήταν η ένταση 6. Η πρακτική εμπειρία έδειξε ότι στην πραγματικότητα μερικές φορές εμφανίζονται βλάβες σε περιπτώσεις όπου όλα τα άλλα δεδομένα υποδεικνύουν μικρότερες εντάσεις, οπότε οι ερευνητές που αναγνώριζαν αυτό το πρόβλημα έδιναν πιθανές τιμές εντάσεων μικρότερες του 6 MSK, ακόμα και αν αναφέρονταν βλάβες. Άλλοι ερευνητές που δεν έκαναν αυτήν την παραδοχή μπορεί να έβρισκαν ότι οι εντάσεις που ήταν βαθμού 6 MSK μπορεί να γίνουν 5 EMS.

4.4 Ποιότητα εκτίμησης έντασης και δείγμα δεδομένων

Ένα σημαντικό, αλλά συχνά παραμελημένο, σημείο είναι ότι τα μακροσεισμικά δεδομένα δεν είναι ποτέ, ή πολύ σπάνια είναι, η πλήρης αποτίμηση των αποτελεσμάτων ενός σεισμού. Όταν μία πόλη με 20.000 κτήρια δονείται από ένα σεισμό, κάθε ένα από αυτά τα κτήρια θα επηρεαστούν, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο. Ο χρήστης μπορεί να έχει δεδομένα από μερικές δεκάδες κτηρίων μόνο, πάνω στα οποία θα βασίσει την εκτίμησή του. Με άλλα λόγια, τα δεδομένα του είναι ένα δείγμα του συνόλου των αποτελεσμάτων που παρατηρούνται. Οπότε είναι εύλογο το ερώτημα: αυτό το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό του συνόλου του πληθυσμού, ή όχι; Όσο μικρότερος είναι ο αριθμός των αναφορών, σε απόλυτους αριθμούς, τόσο μεγαλύτερο σφάλμα αναμένεται ανάλογα με τους παρατηρητές που αναφέρουν ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα, σε σύγκριση με την πραγματική αναλογία που θα παρατηρείτο σε όλη την πόλη. Αν τα δεδομένα έχουν συγκεντρωθεί με την κατάλληλη προσοχή, λαμβάνοντας υπόψη τεχνικές τυχαίας δειγματοληψίας, τότε είναι δυνατό να υπολογιστεί το στατιστικό σφάλμα του δείγματος. Δυστυχώς αυτό δεν συμβαίνει συχνά. Συνιστάται σε όσους ασχολούνται με τη συλλογή και μελέτη μακροσεισμικών πληροφοριών να εξοικειωθούν με τα ερωτηματολόγια και τις μεθοδολογίες δειγματοληψίας που έχουν αναπτυχθεί για τις κοινωνικές επιστήμες.

Ο χρήστης μπορεί να μην έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την ποιότητα των δεδομένων του, αλλά θα έχει τουλάχιστον μία ιδέα για το ποια είναι η ποιότητα, και θα μπορεί να την παρουσιάσει είτε με ποιοτικά σχόλια, περιλαμβάνοντας δειγματοληπτικά μεγέθη (π.χ. αριθμός ερωτηματολογίων), είτε με τη χρήση μίας κωδικοποίησης, όπως με τη χρήση χαρακτήρων μικρότερου μεγέθους για τις εντάσεις που προέρχονται από ασθενέστερα δείγματα.

Το πρόβλημα ίσως είναι λιγότερο σοβαρό, και μπορεί να μην ανακύψει καθόλου, στις περιπτώσεις όπου ο χρήστης έχει πλήρη έλεγχο των δεδομένων του που συγκεντρώθηκαν από επιτόπιες έρευνες. Μπορεί να είναι πολύ σοβαρό όταν τα δεδομένα προέρχονται από δεύτερο ή τρίτο χέρι. Ένα σαρωτικό σχόλιο δημοσιογράφου για τη σοβαρότητα των αποτελεσμάτων σε μία πόλη μπορεί να βασίζεται σε πολύ περιορισμένη έρευνα ή αναφορά

ενός παρατηρητή μπορεί να ξαναγραφεί σαν να ήταν χαρακτηριστική, ενώ στην πραγματικότητα δεν ήταν. Αυτό συχνά αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα στις μελέτες ιστορικών σεισμών, όπου ο χρήστης βασίζεται σε σχετικά λίγα δεδομένα που είχαν την τύχη να διασωθούν.

Ένα παράδειγμα μπορεί να απεικονίσει το θέμα αυτό: Ας υποθέσουμε ότι η μοναδική πληροφορία που έχουμε από μία συγκεκριμένη πόλη είναι ότι πολλοί άνθρωποι με δυσκολία μπορούσαν να σταθούν όρθιοι. Αυτό αποτελεί διάγνωση για ένταση 7, αλλά, χωρίς την υποστήριξη άλλων διαγνώσεων, είναι η εκτίμηση του βαθμού 7 δικαιολογημένη; Είναι δύσκολο να διατυπωθούν σαφείς οδηγίες ως προς το τι είναι και τι δεν είναι επαρκής ένδειξη στην οποία θα βασιστεί η εκτίμηση της έντασης. Όταν τα δεδομένα είναι πενιχρά, μία χρήσιμη προσέγγιση είναι να επισημανθούν οι εκτιμήσεις έντασης χρησιμοποιώντας 7; ή μικρότερο χαρακτήρα, ή κάτι ανάλογο. Εναλλακτικά, ένας ποιοτικός κώδικας μπορεί να καθοριστεί για κάθε εκτίμηση έντασης.

4.5 Ποιότητα και αβεβαιότητα

Μπορεί να παρουσιαστούν πολλές περιπτώσεις όπου δεν μπορεί να αποδοθεί με βεβαιότητα ένας μοναδικός βαθμός έντασης. Τότε πρέπει να αποφασιστεί αν θα γίνει μία κατά προσέγγιση εκτίμηση της έντασης ή αν τα δεδομένα είναι τόσο αντιφατικά, ώστε είναι καλύτερα να αφήσει κανείς το πρόβλημα ανεπίλυτο.

Στις περιπτώσεις όπου τα δεδομένα πληρούν και υπερβαίνουν τις περιγραφές για ένταση βαθμού 6, αλλά σαφώς δεν συμβαδίζουν με το βαθμό 7, η βέλτιστη λύση είναι να χρησιμοποιήσει κανείς τη μικρότερη τιμή της έντασης. Συστήνεται να διατηρείται ο ακέραιος αριθμός της κλίμακας, και όχι χαρακτηρισμοί όπως «6.5» ή «6^{1/2}» ή «6+». Είναι αμφίβολο αν μία μεγαλύτερη ακρίβεια στην ένταση είναι απαραίτητη ή υλοποιήσιμη στην πράξη. Αν υπάρχει η αίσθηση ότι πρέπει για κάποιο λόγο να παρουσιαστεί περισσότερη λεπτομέρεια, θα πρέπει να δοθεί με περιγραφικό τρόπο.

Παράδειγμα: ένα χωριό έχει 180 σπίτια (λιθοδομές), από τα οποία 30 εκτιμώνται ότι είναι κατηγορίας τρωτότητας A και τα υπόλοιπα B. Από τα σπίτια κατηγορίας A, τα 15 έχουν βλάβες βαθμού 1, 10 βαθμού 2 και 5 δεν έχουν βλάβες. Από τα σπίτια κατηγορίας B, τα 10 έχουν βλάβες βαθμού 1, 5 βαθμού 2 και τα υπόλοιπα δεν έχουν βλάβες. Αν ληφθούν υπόψη μόνο οι βλάβες, τα στοιχεία είναι υπεραρκετά για να δικαιολογήσουν ένταση βαθμού 6, αλλά σαφώς ανεπαρκή για να δικαιολογήσουν ένταση 7 (μόνο λίγα B2, κανένα A3). Ο βαθμός έντασης περιγράφεται καλύτερα ως 6.

Μπορεί, παρόλα αυτά, να υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα δεδομένα να ερμηνεύονται εξίσου καλά π.χ. με βαθμό 6 ή 7 (αλλά σαφώς όχι 8). Στις περιπτώσεις αυτές η ένταση πρέπει να γράφεται 6-7, που σημαίνει ή 6 ή 7, αλλά δεν υπονοεί μία ενδιάμεση τιμή. Το να εκφράζεται η ένταση με ένα εύρος τιμών είναι τώρα συνήθης πρακτική, κυρίως για ιστορικά δεδομένα που είναι συχνά ανεπαρκή να επιτρέψουν μεγαλύτερη ακρίβεια. Ακόμα και μεγαλύτερο εύρος από δύο συνεχείς βαθμούς είναι δυνατό, θα ήταν πιθανό να γραφεί 6-8, χωρίς αυτό να σημαίνει 7. Παράδειγμα: μία μαρτυρία αναφέρει «στην πόλη μας καπνοδόχοι έπεσαν αλλά κανένα σπίτι δεν έπαθε σοβαρές βλάβες». Σε αυτήν την περιορισμένη αναφορά δεν υπάρχει ένδειξη για το ποσοστό των καπνοδόχων που έπεσαν, οπότε η ένταση θα μπορούσε να ήταν 6 ή 7. Η δήλωση ότι σίγουρα δεν υπήρχαν σοβαρές βλάβες υποδεικνύει ότι η ένταση δεν ήταν βαθμού 8. Η ένταση είναι 6-7.

Ασαφείς εκτιμήσεις, όπως <6 (μικρότερο του 6) ή >7 (μεγαλύτερο του 7) είναι αποδεκτές όταν δεν είναι εφικτή μεγαλύτερη ακρίβεια. Παράδειγμα: μία μαρτυρία αναφέρει «πολλές βλάβες στην Cortona». Αν δεν μπορούν να ανακτηθούν περισσότερες πληροφορίες, η ένταση είναι >6. Θεωρητικά, θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι ο συμβολισμός >6 ερμηνεύεται ως 6-12, αλλά στην πράξη ένα άνω όριο συνήθως συνάγεται.

Ένα επιπλέον πρόβλημα δημιουργείται όταν τα δεδομένα είναι αμφίβολα· για παράδειγμα, τα αποτελέσματα στους ανθρώπους μπορεί μόνο να υπονοούν ένταση 6, ενώ τα αποτελέσματα στις κατασκευές υπονοούν ένταση 8, ή το αντίθετο. Αν αυτό το πρόβλημα εμφανίζεται συστηματικά, μπορεί να είναι ένδειξη ότι ένας παράγοντας χαρακτηριστικός της περιοχής ή της κουλτούρας της παίζει ρόλο (οι άνθρωποι τρομάζουν ευκολότερα, ή επικρατούν ανεπαρκείς τεχνικές δόμησης) και πρέπει να ληφθεί υπόψη. Κατά την εφαρμογή της κλίμακας, αν προκύψουν τέτοιες μεμονωμένες περιπτώσεις και δεν διακρίνεται κάποια συνάφεια, τότε είναι απαραίτητο να εκφραστεί η ένταση με εύρος, όπως προαναφέρθηκε.

Πάντοτε θα υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα δεδομένα στερούνται λεπτομέρειας, ή είναι εντελώς αντιφατικά ή υπερβολικά ώστε καμιά εκτίμηση έντασης δεν μπορεί να γίνει. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι απαραίτητο να υιοθετηθεί μία σύμβαση που να υποδηλώνει την παρατήρηση, όπως π.χ. μία τελεία ή το γράμμα F (felt=αισθητός) και να μην εκτιμηθεί βαθμός έντασης. Αν χρειάζεται, μία επεξηγηματική παραπομπή μπορεί να επισυναφθεί.

Παράδειγμα: ένα χρονικό αναφέρει «αυτός ο σεισμός έγινε και στην Ravenna, Ancona και Perugia». Δεν μπορεί να εκτιμηθεί ένταση στους τρεις αυτούς τόπους, αλλά θα πρέπει να καταγραφεί ότι ο σεισμός έγινε αισθητός εκεί με το ανάλογο σύμβολο (όπως «F», ή μία τελεία). Σημειώνεται ότι η πληροφορία είναι περιορισμένη, δεν είναι γνωστό αν έγιναν ή όχι βλάβες.

Διάκριση μπορεί να γίνει μεταξύ του όρου «βεβαιότητα» και «ποιότητα» (και οι δύο λέξεις χρησιμοποιούνται εδώ με ειδικό τρόπο). Οι περιπτώσεις όπου τα δεδομένα δεν επιτρέπουν ακριβή εκτίμηση έντασης, οπότε χρειάζονται τιμές τύπου 6-7 ή >6, είναι περιπτώσεις όπου ο βαθμός της έντασης περιέχει αβεβαιότητα. Συνεπώς, δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η ένταση που εκτιμήθηκε είναι η βέλτιστη δυνατή λύση για τα δεδομένα, αλλά τα δεδομένα αυτά δεν έχουν ικανοποιητική πληρότητα ώστε να επιτρέψουν να αποδοθεί ένας μοναδικός βαθμός έντασης. Στις περιπτώσεις όπου τα δεδομένα ταιριάζουν ακριβώς με την κλίμακα, αλλά είναι τόσο λίγα ώστε δεν μπορεί κανείς να είναι βέβαιος ότι είναι αντιπροσωπευτικά των παρατηρήσεων, είναι αυτές όπου η τιμή της έντασης μπορεί να χαρακτηριστεί ως χαμηλής ποιότητας. Ως παράδειγμα αναφέρεται η μαρτυρία «τα παράθυρα έτριξαν στο Manchester» που υποδεικνύει ένταση 4 και μόνο, αλλά, ανάλογα με τις άλλες παρατηρήσεις που θα μπορούσαν να υπάρχουν και τον αριθμό τους, η πραγματική ένταση μάλλον θα πρέπει να κυμάνθηκε μεταξύ 3-5. Σε τέτοια περίπτωση, υπάρχει μία τιμή έντασης από τα υπάρχοντα δεδομένα, αλλά υπάρχει η αίσθηση ότι δεν είναι η σωστή και, αν υπήρχαν περισσότερα στοιχεία, η τιμή αυτή μπορεί να άλλαζε. Είναι πιθανό τα δεδομένα να χαρακτηρίζονται και από αβεβαιότητα και από χαμηλή ποιότητα. Για τις τιμές έντασης με χαμηλή ποιότητα προτείνεται να χαρακτηρίζονται από ένα δείκτη, αν πρέπει να χρησιμοποιηθούν.

4.6 Καμπύλες βλαβών

Οι πρώιμες κλίμακες έντασης γενικά αντιμετώπιζαν τις βλάβες με περιορισμένο τρόπο εκφράζοντας την άποψη ότι, σε μια ορισμένη τιμή έντασης, θα συμβούν ορισμένα είδη βλαβών στα κτίρια, υπονοώντας ότι η κατανομή των βλαβών θα ήταν ομοιογενής. Αυτό μετριάστηκε κάπως από το εισαγωγικό σχόλιο στη διατύπωση της Τροποποιημένης κλίμακας Mercalli από τον Richter το 1956, σύμφωνα με το οποίο οποιοδήποτε αποτέλεσμα θα μπορούσε να παρατηρηθεί είτε σε ηπιότερη μορφή, είτε μόνο σε λίγες περιπτώσεις σε ένα βαθμό έντασης μικρότερο από αυτόν στον οποίο θα παρουσιαζόταν. Επομένως, ήταν μια σημαντική εξέλιξη όταν η κλίμακα MSK εισήγαγε μια προσέγγιση των βλαβών συγχρόνως ποιοτική και ποσοτική, και αυτό ακολουθείται και αναπτύσσεται στην κλίμακα EM-98. Η ποιοτική άποψη εξετάζει τον κτιριακό τύπο και την τρωτότητα. Η ποσοτική άποψη εξετάζει την πιθανότητα εκδήλωσης βλαβών διαφορετικών βαθμών.

Γενικά, για τους βαθμούς έντασης στους οποίους συμβαίνουν βλάβες, παρατηρείται μια γραμμική αύξηση των βλαβών. Αν η ποσότητα των βλαβών είναι η ίδια, για κάθε αύξηση της τρωτότητας κατά μια κατηγορία, προκύπτει αύξηση κατά ένα βαθμό στον προσδιορισμό της έντασης. Αυτές οι μορφές αυξανόμενων βλαβών με αυξανόμενη ένταση προκύπτουν από στατιστικές κατανομές δομικών και μη δομικών βλαβών που έχουν παρατηρηθεί. Παρ' όλο που σε κάποιες εξαιρετικές περιπτώσεις μπορεί να εμφανισθούν μη κανονικές κατανομές βλαβών, είναι αναμενόμενο ότι, με μεγάλη πιθανότητα, οποιαδήποτε κατανομή βλαβών για μια ορισμένη ένταση, που θα εμφανιστεί στο πεδίο έρευνας, θα αντιστοιχεί σ' αυτές που δίδονται εδώ.

Σε μια ιδανική περίπτωση, θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει την κατανομή των βλαβών στα κτίρια ίσης τρωτότητας που υποβάλλονται στην ίδια ένταση ως μια κανονική κατανομή ανάλογα με τον μέσο βαθμό βλάβης. Οι βαθμοί βλαβών που δίνονται στην κλίμακα EM-98 αντιπροσωπεύουν έναν επιμερισμό μιας αλληλουχίας πιθανών βαθμών βλάβης. Ένας τέτοιος επιμερισμός πρέπει να γίνει προς όφελος της ευκολίας διάκρισης στο πεδίο έρευνας. Αν μπορούσε να σχεδιαστεί μια συνάρτηση βλαβών περισσότερο συνεχής, θα έπρεπε να δείχνει μια κανονική κατανομή, και οι διαγνωστικές μέθοδοι που δίνονται στην κλίμακα αντιπροσωπεύουν ενδεικτικά σημεία σ' αυτή την καμπύλη. Θα πρέπει κανείς να θυμάται ότι είναι μόνο ενδεικτικά σημεία, και ότι μπορούν να παρατηρηθούν διασταυρώσεις άλλων βαθμών βλάβης πάνω στην καμπύλη. Αν, για κάποιο βαθμό έντασης, προσδιοριστεί ότι λίγα κτίρια μιας ορισμένης κατηγορίας τρωτότητας παθαίνουν βλάβες 3^{ου} βαθμού, ενώ πολλά παθαίνουν βλάβες 2^{ου} βαθμού, πρέπει να ληφθεί ότι θα εντοπιστούν και περιπτώσεις στο κατώτερο άκρο της κατανομής. Στην περίπτωση αυτή, μπορεί κανείς να αναμένει πολλά κτίρια να υποστούν βλάβες 1^{ου} βαθμού και λίγα να είναι άθικτα.

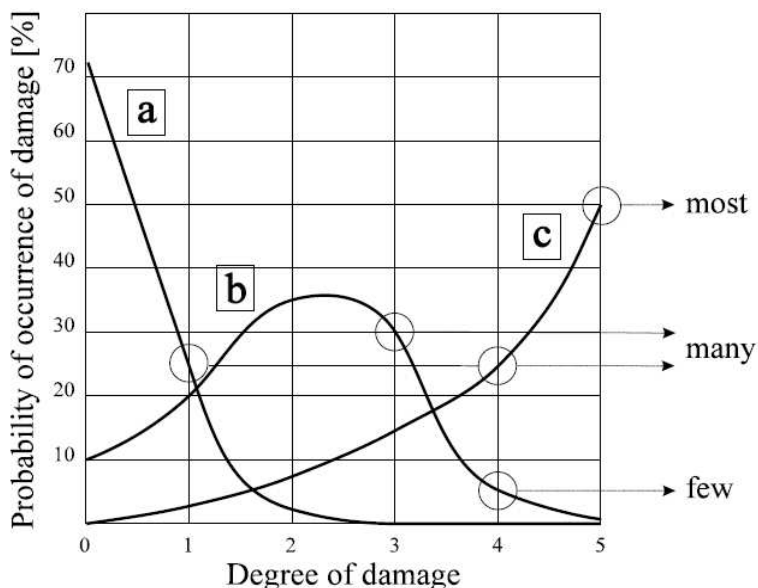
Ακριβώς όπως οι καθορισμένοι βαθμοί βλαβών αντιπροσωπεύουν διακριτά σημεία σε μια συνεχή συνάρτηση βλαβών που καλύπτει κάθε διαβάθμιση από απουσία βλάβης μέχρι ολοκληρωτική κατάρρευση, έτσι και οι βαθμοί της κλίμακας έντασης αντιπροσωπεύουν διακριτά στάδια σε μια υποθετική, περισσότερο συνεχή συνάρτηση δόνησης. Επομένως μπορεί κανείς να φανταστεί, πάλι σε μια ιδεατή περίπτωση, ότι όσο αυξάνεται η ένταση, η κατανομή των βλαβών μεταφράζεται σε όλο και υψηλότερα σημεία στη συνάρτηση των βλαβών, ενώ διατηρεί το βασικό σχήμα της.

Παρ' όλα αυτά, επειδή η συνάρτηση βλαβών έχει απόλυτα άνω και κάτω όρια, το σχήμα της κατανομής βλαβών θα πρέπει να μεταβάλλεται όσο προσεγγίζονται αυτά τα όρια. Επομένως, σε χαμηλές εντάσεις βλέπει κανείς το άκρο μιας κανονικής καμπύλης σε χαμηλούς βαθμούς βλαβών, ενώ η μάζα της κατανομής «συσσωρεύεται» στο σημείο που αντιπροσωπεύει την απουσία βλάβης, εφ' όσον δεν είναι δυνατόν να υπάρχουν αρνητικές τιμές βαθμών βλάβης. Και παρόμοια, για πολύ υψηλές εντάσεις, ιδανικά θα έπρεπε να δει κανείς το ανώτερο άκρο της κανονικής καμπύλης σε υψηλούς βαθμούς βλαβών, ενώ η μάζα της κατανομής συσσωρεύεται στο σημείο που αντιπροσωπεύει την ολοκληρωτική κατάρρευση, που δεν μπορεί να ξεπεραστεί.

Αυτό απεικονίζεται διαγραμματικά στο Σχήμα 4-1, στο οποίο σημειώνονται οι τρεις κυριότερες συναρτήσεις βλαβών: «τύπος a» για χαμηλότερες εντάσεις (τυπικά για ένταση 6), όπου η συνάρτηση δείχνει μονοτονικά φθίνουσα πιθανότητα βλάβης σε υψηλότερους βαθμούς, «τύπος b» που είναι η βασική περίπτωση όπου μια κανονική κατανομή πιθανοτήτων παρατηρείται κοντά στο μέσο βαθμό βλάβης και «τύπος c», που είναι μια μονοτονικά αύξουσα πιθανότητα με αύξοντα βαθμό βλάβης, τυπικά για τις υψηλότερες εντάσεις (όπως η ένταση 10). Στο Σχήμα 4-1 οι πραγματικές καμπύλες που απεικονίζονται είναι χαρακτηριστικές για παρατηρήσεις στο πεδίο έρευνας από ανεξάρτητους κτιριακούς τύπους παρά από κατηγορίες τρωτότητας, αλλά η αρχή είναι η ίδια.

Ο προσδιορισμός ή η περιγραφή των βαθμών έντασης στην κλίμακα γίνεται επιλέγοντας ένα ή δύο χαρακτηριστικά σημεία τομής σ' αυτές τις καμπύλες για κάθε κατηγορία τρωτότητας, όπου η καμπύλη τέμνεται με έναν ορισμένο βαθμό βλάβης. Επομένως, για παράδειγμα, για

ένταση 8, για κατηγορία τρωτότητας C, τα σημεία τομής στη συνάρτηση βλαβών είναι για βαθμούς βλάβης 2 και 3. Δεν αναφέρεται τίποτα για την πιθανότητα βλαβών 1^{ου} βαθμού ή την απουσία βλαβών, αλλά αυτές οι πιθανότητες υπάρχουν και υποδηλώνονται στο Σχήμα 4-1. Τα σημεία που δίνονται γενικά αφορούν τον μεγαλύτερο βαθμό ή βαθμούς βλαβών που πρέπει να αναμένονται (η «απόφαση μέγιστης βλάβης»). Αυτά έχουν τις μεγαλύτερες πιθανότητες να αναφερθούν ή να εξετασθούν.



○ intersecting points between typical damage probability functions and damage grades taken for the classification of intensity degrees

Level of intensity:

a I = VI **b** I = VIII **c** I = X

Σχήμα 4-1: Σχέση μεταξύ χαρακτηριστικών κατανομών συχνότητας βαθμών βλάβης για διαφορετικούς βαθμούς έντασης και ορισμοί που χρησιμοποιούνται στην παρούσα κλίμακα έντασης.

Στον άξονα x παριστάται ο Βαθμός βλάβης και στον άξονα γ η Πιθανότητα εμφάνισης βλάβης (%). Με κύκλο παρουσιάζονται τα σημεία τομής μεταξύ χαρακτηριστικών συναρτήσεων πιθανότητας βλάβης και βαθμών βλάβης που λαμβάνονται για την κατάταξη των βαθμών έντασης.

Η χρήση των στατιστικών αποτελεσμάτων των αποτυπώσεων βλαβών μπορεί να είναι το κλειδί για την εισαγωγή νέων κτιριακών τύπων, καθώς και για τον καλύτερο συσχετισμό συγκεκριμένων κτιριακών τύπων με τις πιο εύλογες ή πιθανές κατηγορίες τρωτότητας.

4.7 Περιορισμοί στις δωδεκαβάθμιες κλίμακες

Έχει παρατηρηθεί ότι παρά το γεγονός ότι η κλίμακα EM-98 και άλλες όπως η MSK, οι περισσότερες εκδόσεις της MM, κλπ. είναι δωδεκαβάθμιες, στην πράξη τείνουν να λειτουργούν ως οκταβάθμιες κλίμακες. Πρακτικά, ένταση βαθμού 1 σημαίνει «δεν είναι αισθητός» και ο βαθμός 2 χρησιμοποιείται σπάνια, επειδή ο σεισμός είναι τόσο ασθενής που συνήθως δεν αναφέρεται. Στο άλλο άκρο της κλίμακας, ο βαθμός 12 καθορίζεται έτσι ώστε να περιγράφει τα μέγιστα πιθανά αποτελέσματα, τα οποία δεν είναι απαραίτητο να παρατηρηθούν σε ένα σεισμό. Οι εντάσεις βαθμού 10 και 11 δύσκολα ξεχωρίζουν στην πράξη, με το βαθμό 11 να εμφανίζεται σπάνια. Συνεπώς, το ωφέλιμο εύρος των κλιμάκων αυτών τείνει συνήθως να είναι μεταξύ των βαθμών 3 και 10.

4.8 Ο υποτιθέμενος απών βαθμός στην κλίμακα MSK

Ένα από τα προβλήματα που αντιμετώπισε η ομάδα εργασίας (OE) κατά την αναθεώρηση της κλίμακας MSK ήταν το ήδη γνωστό πρόβλημα ενός βαθμού που απουσιάζει μεταξύ των

εντάσεων 6 και 7 της MSK. Το πρόβλημα απασχόλησε αρκετά την ΟΕ και το τελικό συμπέρασμα ήταν ότι αυτό είναι μία αυταπάτη, γεγονός που αποδεικνύεται αρκετά εύκολα. Αν η MSK ήταν μη γραμμική εξαιτίας ενός βαθμού που απουσιάζει μεταξύ 6 και 7, αυτό θα εμφανιζόταν στη μελέτη των ισοσειστών χαρτών. Έτσι, όλοι αυτοί οι χάρτες θα παρουσίαζαν ένα δυσανάλογο μεγάλο χωρικό κενό μεταξύ των ισοσειστών 6 και 7 MSK, σε σχέση με την απόσταση μεταξύ των ισοσειστών 5 και 6, καθώς και με αυτήν μεταξύ 7 και 8 MSK. Μετά από 30 χρόνια χρήσης της MSK ποτέ δεν έχει παρουσιαστεί τέτοιο πρόβλημα, οπότε η κλίμακα ορθώς ορίζεται ως γραμμική.

Αλλά, γιατί επιμένει να υπάρχει αυτή η αυταπάτη; Για να απαντηθεί η ερώτηση αυτή, είναι απαραίτητο να εξεταστεί πάλι η φύση της έντασης και των κλιμάκων της. Αν κάποιος θεωρούσε την εδαφική δόνηση ως φυσική παράμετρο, ή καλύτερα ως ένα συνδυασμό φυσικών παραμέτρων στις οποίες η επιτάχυνση, η ταχύτητα, η μετατόπιση και η διάρκεια είναι συνδυασμένες, θα έπρεπε να υποθέσει ότι υπάρχει πλήρης αλληλουχία πιθανών τιμών τους, που κυμαίνεται από τη μηδενική δόνηση έως τη μέγιστη πιθανή σεισμική κίνηση. Εφόσον η ένταση είναι κατά κάποιο τρόπο ανάλογη με αυτή τη συνδυασμένη μέτρηση της εδαφικής δόνησης, θα έχει και αυτή μία υποθετική αλληλουχία εύρους από μηδενικά αποτελέσματα έως τα μέγιστα πιθανά.

Παρόλα αυτά, η ένταση δεν μπορεί να οριστεί ως συνεχής παράμετρος. Για να είναι εφαρμόσιμη, οφείλει να διακριτοποιηθεί σε ακέραιες τιμές. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να οριστεί μία τιμή έντασης στην ελάχιστη και μία στη μέγιστη κατάσταση και να υπάρχει μία ομαλή κατανομή ενός αριθμού υποδιαιρέσεων μεταξύ των δύο ακραίων τιμών, για τις οποίες η σφοδρότητα των αποτελεσμάτων να περιγράφεται σαφώς. Είναι αυτονόητο ότι δεν αναμένεται να ακολουθήσει η Φύση βήμα προς βήμα τις περιγραφές της κλίμακας. Θα ήταν παράλογο να φανταστεί κανείς ότι στην πραγματικότητα τα αποτελέσματα κοντά στο επίκεντρο θα έπρεπε να ακολουθούν επακριβώς και χωρίς διακύμανση την περιγραφή της κλίμακας για ένταση π.χ. 8 σε μία απόσταση και μετά να μειωθούν απότομα στα αποτελέσματα που περιγράφει ο βαθμός 7, κ.ο.κ.

Ο αριθμός των επιμέρους υποδιαιρέσεων, καθώς και η θέση τους, οφείλει να ικανοποιεί δύο κριτήρια: 1) να είναι ισομερή και 2) να είναι διακριτά μεταξύ τους στην πράξη. Η εμπειρία κατά τον 20^ο αιώνα έδειξε ότι ο βέλτιστος αριθμός υποδιαιρέσεων που μπορεί να διακριθεί στην πράξη, διατηρώντας την ισομέρεια, είναι 12. Κάποιοι ερευνητές σε ειδικές συνθήκες, κυρίως όταν πρόκειται για ιστορικούς σεισμούς, έχουν βρει μικρότερο βέλτιστο αριθμό υποδιαιρέσεων. Όμως, στις περισσότερες σύγχρονες μελέτες, οι δωδεκαβάθμιες κλίμακες έχουν πολύ καλή απόδοση.

Εν τούτοις, επισημαίνεται ότι μερικές ενδιάμεσες υποδιαιρέσεις είναι διακριτές, κυρίως σε περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται ένα είδος κατωφλίου αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα, όταν μία διάγνωση εμφανίζεται για πρώτη φορά, σε αντιδιαστολή με απλώς αυξανόμενη συχνότητα παρατήρησής της. Αυτό συμβαίνει μεταξύ των βαθμών 6 και 7, όπου μπορεί κανείς να καθορίσει έναν ενδιάμεσο βαθμό που περιγράφει μεγαλύτερα αποτελέσματα από τον 6 και μικρότερα από τον 7. Παρόλα αυτά, το γεγονός ότι είναι δυνατόν να καθοριστεί ο ενδιάμεσος αυτός βαθμός στο σημείο αυτό της κλίμακας ευκολότερα από ότι σε άλλο σημείο, δεν βοηθάει. Δεν υπάρχει νόημα να υπάρχει ένας επιπλέον βαθμός ο οποίος δεν διατηρεί τη γραμμικότητα της υπόλοιπης κλίμακας.

Για πρακτικούς λόγους, οι δώδεκα βαθμοί της κλίμακας θα πρέπει να είναι επαρκείς και συστήνεται στους χρήστες να μη χρονοτριβούν προσπαθώντας να εισάγουν ενδιάμεσους βαθμούς, ακόμα και σε περιπτώσεις όπου αυτό είναι δυνατό. Η απλούστερη και αποδοτικότερη πρακτική είναι να περικοπούν όλες οι δεκαδικές εντάσεις, έτσι ώστε να ληφθεί η σωστή ακέραια τιμή της έντασης. Έτσι, στα αποτελέσματα που μπορεί να αντιστοιχούν σε βαθμό μεταξύ 6 και 7 θα πρέπει να αποδίδεται βαθμός έντασης 6 EMS.

5 Παραδείγματα που απεικονίζουν την κατάταξη των βλαβών στους κτιριακούς τύπους

Τα παραδείγματα βλαβών από σεισμούς σε κτίρια κατατάσσονται με βάση τους διαφορετικούς τύπους κατασκευών (βλ. τον Πίνακα Τρωτότητας της EMS-98) και με βάση το βαθμό της βλάβης (από 1 μέχρι 5) που υπέστησαν (βλ. την Κατάταξη των Βλαβών της EMS-98)

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
		1	2	3	4	5
Πλινθοδομή	East Kazakstan 1990 / Saisan			●		
						
<p>Σχόλιο:</p> <p>Οι μεγάλες και εκτεταμένες ρωγμές στους περισσότερους τοίχους υποδεικνύουν βλάβες 3^{ου} βαθμού.</p>						

Εικόνα 5-1

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Πλινθοδομή	Carpathia 1986 / Moldava, Leono	1	2	3	4	5
					●	
						
<p>Σχόλιο:</p> <p>Η απώλεια σύνδεσης μεταξύ εξωτερικών τοίχων και η μερική αστοχία στο κάτω μέρος της αριστερής γωνίας υποδεικνύουν βλάβες 4^{ου} βαθμού (σοβαρή αστοχία τοίχων). Η δεξιά πλευρά του κτιρίου φαίνεται να μην έχει σοβαρές βλάβες και είναι προφανώς σε καλύτερη κατάσταση. Μια τελική κατάταξη θα έπρεπε να εξετάσει τις αιτίες αυτής της διαφοροποίησης.</p>						

Εικόνα 5-2

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Πλινθοδομή	Tadjikistan 1985 / Kairakkoum	1	2	3	4	5
					●	
						
<p>Σχόλιο:</p> <p>Αυτό το παράδειγμα δείχνει σοβαρή αστοχία των τοίχων, εκτιμάται σαν βλάβες 4^{ου} βαθμού</p>						

Εικόνα 5-3

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
		1	2	3	4	5
Λιθοδομή	North Peloponnisos 1995 / Aegion				●	



Σχόλιο:

Η σοβαρή αστοχία των τοίχων σ' αυτό το παράδειγμα υποδεικνύει βλάβες 4^{ου} βαθμού. Η πρωτότητα επηρεάζεται από την κακή ποιότητα του κονιάματος και την αναποτελεσματικότητα των στοιχείων σκυροδέματος στην κατασκευή.

Εικόνα 5-4

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
		1	2	3	4	5
Λιθοδομή (με πολύ ασθενές κονίαμα)	Campania-Basilicata 1980 / Balvano					
						●

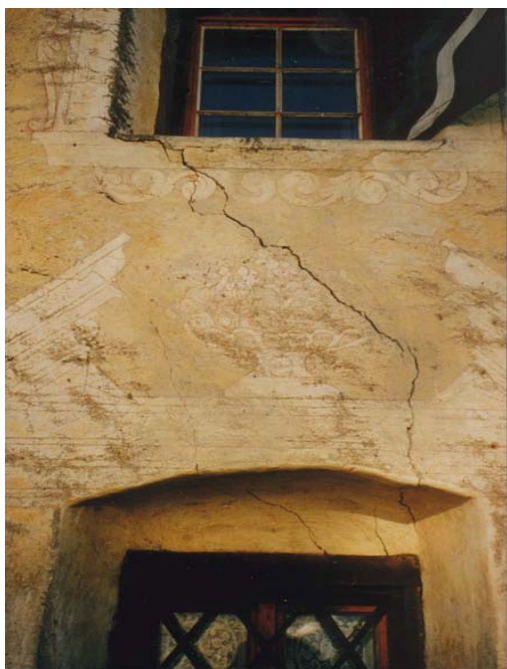


Σχόλιο:

Οι πλάκες των ορόφων έχουν καταρρεύσει και το ίδιο συμβαίνει με τους περισσότερους τοίχους. Αυτές είναι πολύ βαρείες δομικές βλάβες 5^{ου} βαθμού

Εικόνα 5-5


ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Απλή λιθοδομή	Grison Switzerland 1991 / Vaz	1	2	3	4	5
			●			



Σχόλιο:

Η επιμήκης ρωγμή σ' αυτό τον τοίχο είναι αρκετά μεγάλη ώστε να αποτελεί ελαφρά δομική βλάβη. Αυτή η βλάβη θα πρέπει να θεωρηθεί σαν 2^{ου} βαθμού.

Εικόνα 5-6

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Απλή λιθοδομή	Montenegro Yugoslavia 1979	1	2	3	4	5
				●		
						
<p>Σχόλιο:</p> <p>Το κεντρικό στοιχείο τοιχοποιίας στο πάνω μέρος το οποίο κατέρρευσε είναι αέτωμα και δεν φέρει τη στέγη. Επομένως αυτή είναι μη δομική βλάβη, και θα πρέπει να καταταχθεί σαν βαρειά μη δομική βλάβη, δηλαδή 3^{ου} βαθμού.</p>						

Εικόνα 5-7

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Απλή Λιθοδομή	Montenegro Yugoslavia 1979	1	2	3	4	5
					●	
						
<p>Σχόλιο:</p> <p>Τμήματα των φερόντων τοίχων έχουν καταρρεύσει, προκαλώντας μερική κατάρρευση της στέγης και των πλακών ορόφων. Αυτή είναι βαρεία δομική βλάβη και επομένως 4^{ου} βαθμού.</p>						

Εικόνα 5-8

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Άοπλη τοιχοποιία	NW-Bohemia - Vogtland 1985, Czech Republic / Skalna	1	2	3	4	5
			•			



Σχόλιο:

Παρ' όλο που στο εξωτερικό του κτιρίου δεν είναι ορατή καμμιά δομική βλάβη, στο εσωτερικό φαίνεται ότι έχουν δημιουργηθεί ρωγμές σε αρμούς μεταξύ τοίχων και πλακών, που αποτελούν ελαφρά δομική βλάβη. Αρκετά μεγάλα τεμάχια από επίχρισμα έχουν πέσει από το εξωτερικό και επίσης έχουν πέσει επιχρίσματα από εσωτερικούς τοίχους. Οι βλάβες είναι 2^{ου} βαθμού.

Εικόνα 5-9

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
		1	2	3	4	5
Άοπλη τοιχοποιΐα	Roermond, The Netherlands 1992 / Heinsberg					
			●			



Σχόλιο:

Πολλές καμινάδες έχουν βλαβεί και έχουν μετακινηθεί κεραμίδια στη στέγη. Δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες και εκτεταμένες ρωγμές στους περισσότερους τοίχους, και επομένως οι βλάβες πρέπει να εκτιμηθούν ως 2^{ου} βαθμού.

Παρατήρηση: Η καμινάδα στα αριστερά της εικόνας αστόχησε εξαιτίας της διαφορετικής συμπεριφοράς στη δόνηση των δύο γειτονικών κτιρίων. Τμήματα της σπασμένης καμινάδας χτύπησαν τη στέγη και αποκόλλησαν κεραμίδια. Αυτή η βλάβη στα κεραμίδια είναι επομένως ένα δευτερεύον αποτέλεσμα και δεν προκλήθηκε απευθείας από τη σεισμική δόνηση.

Εικόνα 5-10

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Άοπλη τοιχοποιία	Swabian Alb 1978, Germany / Albstadt	1	2	3	4	5
			●			



Σχόλιο:

Πολλές κατακόρυφες ρωγμές εμφανίστηκαν σαν αποτέλεσμα μετακίνησης μεταξύ τοίχων. Αυτή είναι ελαφρά δομική βλάβη και ο βαθμός βλάβης είναι 2.

Εικόνα 5-11

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
		1	2	3	4	5
Άοπλη τοιχοδομή	Corregio, Italy 1996 / Bagnolo (Reggio Emilia)					
			•			



Σχόλιο:

Παρατηρώντας τους εξωτερικούς τοίχους μπορεί κανείς να δει πολλές ρωγμές στην οπτοκλινοδομή πλήρωσης, υποδεικνύοντας βλάβες 2^{ου} βαθμού. Πρέπει κανείς επίσης να επιθεωρήσει το εσωτερικό του κτιρίου προκειμένου να επιβεβαιώσει αυτή την εκτίμηση του βαθμού βλάβης

Εικόνα 5-12

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Άοπλη τοιχοποιΐα	Friuli, Italy 1976 / Gemona (Udine)	1	2	3	4	5
				●		



Σχόλιο:

Υπάρχουν μεγάλες διαγώνιες ρωγμές στους περισσότερους τοίχους, αλλά δεν είναι τόσο σοβαρές και οι τοίχοι δεν έχουν αστοχήσει. Σ' αυτή την περίπτωση η βλάβη είναι 3^{ου} βαθμού.

Παρατήρηση: Η διαφορά στην κατάταξη του βαθμού βλάβης σχετικά με την επόμενη εικόνα.

Εικόνα 5-13

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
		1	2	3	4	5
Άοπλη τοιχοποιΐα, με πλάκες ΟΣ	Friuli, Italy 1976 Braulins (Udine)					
					●	
						
<p>Σχόλιο:</p> <p>Οι μεγάλες διαγώνιες ρωγμές στους τοίχους, και η μερική απώλεια σύνδεσης μεταξύ των εξωτερικών τοίχων είναι ένδειξη βαρείας δομικής βλάβης. Αυτή είναι βλάβη 4^{ου} βαθμού.</p>						

Εικόνα 5-14

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Άοπλη τοιχοποιΐα, με πλάκες ΟΣ	North Peloponnisos, Greece 1995 / Aegion	1	2	3	4	5
				●		



Σχόλιο:

Οι ρωγμές στον εξωτερικό τοίχο είναι μεγάλες και εκτεταμένες, αλλά δεν διεισδύουν όλες σ' όλο το πάχος του τοίχου. Αυτή είναι μέτρια δομική βλάβη και βλάβη 3^{ου} βαθμού.

Εικόνα 5-15

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Σκελετός ΟΣ	Mexico City 1985	1	2	3	4	5
				●		



Σχόλιο:

Αυτό το κτίριο ΟΣ έχει υποστεί ρωγμές σε υποστυλώματα και σε τοίχους πλήρωσης με αποκόλληση τμημάτων επιχρίσματος. Σε μερικές περιπτώσεις υπάρχει μερική αστοχία των τοίχων πλήρωσης από οπτοπλινθοδομή. Η δομική βλάβη (στα υποστυλώματα) είναι μέτρια, και η μη δομική βλάβη (στους τοίχους πλήρωσης) είναι βαρεία, καθιστώντας τη βλάβη βαθμού 3.

Εικόνα 5-16

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Σκελετός ΟΣ	Irpinia-Basilicata, Italy 1987 / Sant' Angelo dei Lombardi	1	2	3	4	5
					●	



Σχόλιο:

Πολλοί εξωτερικοί τοίχοι πλήρωσης έχουν αστοχήσει πλήρως, και αυτό αποτελεί πολύ βαρεία δομική βλάβη. Σε μερικές περιπτώσεις υπάρχουν βαρείες βλάβες στους αρμούς δοκαριών-υποστυλωμάτων. Αυτές είναι βλάβες 4^{ου} βαθμού

Εικόνα 5-17

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Σκελετός ΟΣ	North Peloponnisos, Greece 1995 / Aegion	1	2	3	4	5
						●
						
<p>Σχόλιο: Όλο το ισόγειο έχει καταρρεύσει πλήρως. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο βαθμός βλάβης είναι 5.</p>						

Εικόνα 5-18

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Σκελετός ΟΣ	North Peloponnisos, Greece 1995 / Aegion	1	2	3	4	5
						•



Σχόλιο:

Το μεσαίο τμήμα αυτού του κτιρίου έχει καταρρεύσει πλήρως, καθιστώντας τη βλάβη 5^{ου} βαθμού.

Εικόνα 5-19

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Σκελετός ΟΣ	Mexico City 1985	1	2	3	4	5
					●	



Σχόλιο:

Αυτό το κτίριο υπέστη μερική κατάρρευση του άνω μέρους του. Παρ'όλο που μεμονωμένοι ανώτεροι όροφοι έχουν αστοχήσει, κανένα τμήμα του κτιρίου δεν κατέρρευσε πλήρως μέχρι το επίπεδο του εδάφους, έτσι οι βλάβες είναι 4^{ου} βαθμού.

Εικόνα 5-20

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Σκελετός ΟΣ	Spitak, Armenia 1988 / Leninakan	1	2	3	4	5
						●
						
<p>Σχόλιο:</p> <p>Αυτές είναι προφανώς πολύ βαρείες δομικές βλάβες και σχεδόν ολοκληρωτική κατάρρευση, και επομένως βλάβες 5^{ου} βαθμού.</p> <p><i>Παρατήρηση:</i> Αυτός ο σκελετός ΟΣ που περιλάμβανε ένα ορισμένο επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού επηρεάστηκε δυσμενώς από την ανεπαρκή σύνδεση μεταξύ δοκών και υποστυλωμάτων. Αυτός ο κτιριακός τύπος είναι τυπικό παράδειγμα όπου κανείς θα έπρεπε να αποδώσει χαμηλή κατηγορία τρωτότητας, σ' αυτή την περίπτωση Β, που αντιπροσωπεύει μια εξαιρετικά χαμηλή κατηγορία γι' αυτό τον τύπο κατασκευής.</p>						

Εικόνα 5-21

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Τοιχεία ΟΣ	Great Hanshin, Japan 1995 / Kobe	1	2	3	4	5
						●



Σχόλιο:

Το ισόγειο έχει καταρρεύσει πλήρως. Αυτές είναι βλάβες 5ου βαθμού.

Εικόνα 5-22

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Τοιχεία ΟΣ	Great Hanshin, Japan 1995 / Kobe	1	2	3	4	5
				●		



Σχόλιο:

Αυτό το κτίριο υπέστη μέτριες δομικές βλάβες σ' όλο του το ύψος. Οι ρωγμές επικεντρώνονται στα ασθενή κατακόρυφα στοιχεία χαμηλού ύψους της εξωτερικής όψης. Η ακεραιότητα του συνόλου δεν έχει προσβληθεί. Ο βαθμός βλαβών εκτιμάται σε 3.

Εικόνα 5-23

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Χαλύβδινος σκελετός	Great Hanshin, Japan 1995 / Kobe	1	2	3	4	5
					●	



Σχόλιο:

Ένας από τους επάνω ορόφους αυτού του κτιρίου έχει καταρρεύσει, και υπάρχει πλευρική κάμψη υποστυλωμάτων. Αυτή είναι βαρεία δομική βλάβη. Μερικά από τα βαρεία τοιχοπετάσματα έπεσαν λόγω αστοχίας των συνδέσμων. Αυτές θα μπορούσαν να εκτιμηθούν σαν βλάβες 4^{ου} βαθμού.

Εικόνα 5-24

ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΕΙΣΜΟΣ / ΤΟΠΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ				
Ξύλινη κατασκευή	Great Hanshin, Japan 1995 / Kobe	1	2	3	4	5
					●	



Σχόλιο:

Το κτίριο στα αριστερά υπέστη βαρείες βλάβες στους αρμούς του σκελετού. Οι βλάβες θα μπορούσαν να εκτιμηθούν ως 4^{ου} βαθμού.

Παρατήρηση: Λόγω της ανεπάρκειας του συστήματος ακαμψίας στο ισόγειο (ασθενής όροφος) όλο το κτίριο μετακινήθηκε προς τα δεξιά. Το γειτονικό κτίριο προσέφερε πλευρική στήριξη, άρα σ' αυτή την περίπτωση η κατάρρευση του κτιρίου δεν είναι ολοκληρωτική. Μια καλή απεικόνιση του αποτελέσματος στο οποίο μπορεί να οδηγήσει η θέση ενός κτιρίου σε σχέση με άλλα κτίρια.

Εικόνα 5-25

Αναφορές Φωτογραφιών:

Εικόνες 5-1, 5-2, 5-3 από τον E.T. Kenjebaev και A.S. Taubaev (Almaty)

Εικόνες 5-5, 5-7, 5-8, 5-16, 5-17, 5-20, 5-21 από τον H. Tiedemann
(Swiss Reinsurance Company, Zürich)

Εικόνες 5-4, 5-6, 5-15, 5-18, 5-19, 5-22, 5-23, 5-24, 5-25 από τον Th.
Wenk (Eidgenössische Technische Hochschule, Ζυρίχη)

Εικόνες 5-13, 5-14 από τον D. Molin (Servizio Sismico Nazionale, Rome)

Εικόνα 5-12 από τον A. Tertulliani (Istituto nazionale di Geofisica, Rome)

Εικόνες 5-9, 5-10 από τον G. Grünthal (GeoforschungsZentrum, Potsdam)

Εικόνα 5-11 από την Landesstelle für Bautechnik Baden Württemberg

6. Παραδείγματα εκτίμησης έντασης

Παράδειγμα 1 – Από γραπτές μαρτυρίες

Οι δύο περιγραφές που ακολουθούν αναφέρονται στα αποτελέσματα του σεισμού των Θαλασσιών Άλπεων στις 20 Ιουλίου 1564 στα χωριά La Bollène, Roquebillière και Belvédère της περιοχής Nissard (Νίκαια της Γαλλίας).

Η παρακάτω αναφορά γράφτηκε από το συμβολαιογράφο της Νίκαιας Λυμπονίς· το πρωτότυπο κείμενο χάθηκε και έγινε γνωστό χάρη στην μεταγραφή του από τον Σκαλιέρο, ένα τοπικό ιστορικό του 18^{ου} αιώνα, ο οποίος σημειώνει ότι το κείμενο είναι προσαρτημένο στο συμβολαιογραφικό πρωτόκολλο του 1565:

“De admirabili hora et horrendo terremotu in comitatu Niciense ipso. Anno ipsi millesimo quingentesimo [quingagesimo eliminado] sexagesimo quarto indictione septima et die iovis vigesima iulii circa unam horam noctis fuit quidam terremotus in Comitatu Niciense absque tamen aliquo damno veruntamen tota nocte per illius discursum sepius iterato ipso terremotu in vale Lantusie qui adeo infremuit et impetum fecit ut locus Boleen omnino devastatus et diriptus remansit ad quod omnes parietes domorum dirupte sunt et duo partes ex tribus personarum eiusdem loci mortui sunt et fere alia tertia pars remansit vulnerata in locis rocabigliera et de bello vedere fere pro dimidia remansit dirupta et devastata adeo quod in loco Rocabigliera mortui sunt viginti due et fere sexaginta vulnerati in loci de bello vedere mortui sunt quinquaginta et totidem vulnerati
a fol. 79 dicto, del protocollo di Gio. Lubonis del 1564.”

«Για την παράδοση ώρα και τον τρομερό σεισμό που έγινε στο κομιτάτο της Νίκαιας την ίδια χρονιά στο χιλιοστό πεντακοσιοστό [πεντηκοστό διαγραμμαμένο] εξηκοστό τέταρτο χρονολογική εποχή [ινδικτιώνος] έβδομη και μέρα καταστρεπτική [Διός] γύρω στις 20 Ιουλίου μία ώρα της νύχτας έγινε κάποιος σεισμός στο κομιτάτο της Νίκαιας χωρίς όμως κάποια βλάβη αλλά όλη τη νύχτα εξ αιτίας της συνεχούς διάδοσης εκείνου για δεύτερη φορά έδωσε σεισμό στην περιοχή Lantusie [Latusque] ο οποίος ήταν τόσο ηχηρός και ορμητικός ώστε ο τόπος Boleene αφανίστηκε ολότελα και ρηγματώθηκε [ερειπώθηκε] στον οποίο όλοι οι τοίχοι των σπιτιών είχαν ρωγμές και τα 2/3 του πληθυσμού αυτού του τόπου σκοτώθηκαν και σχεδόν το άλλο 1/3 τραυματίστηκαν· στους τόπους Roquebillière [rocabigliera] και Belvédère [de bello] σχεδόν το μισό μέρος αφανίστηκε και [ήταν] τόσο ερειπωμένο ενώ στην περιοχή Rocabigliera σκοτώθηκαν 22 και σχεδόν 60 τραυματίστηκαν και στον τόπο Belvédère [bello vedere] σκοτώθηκαν 50 και όλοι τραυματίστηκαν.

[μετάφραση δική μας]

Η δεύτερη αναφορά είναι η ιστορία της Provence από τον Καίσαρα Νοστράδαμο, πρωτότοκο γιό του περίφημου Μιχαήλ· η πηγή αυτή περιέχει μία έκθεση που λέγεται ότι την είχε αφήσει «σε ρολό γραμμένο στην τοπική διάλεκτο της Νίκαιας κάποιος από την περιοχή της Νίκαιας που πέρασε από το Salon (Salon-de-Provence, όπου ο Νοστράδαμος διήνυσε τα τελευταία χρόνια της ζωής του) την ίδια εποχή» με το σεισμό.

“En ce mesme temps [1564] passa par nostre ville de Sallon, un qui se disoit de ces quartiers la, lequel racompant ces tristes choses et ces tant estranges prodiges, laissa un roolle en sa langue naturelle et Nissarde qui est comme un vieil Provençal des villes et chasteaux ruynes: ... La Boullene entierement et de fond en comble ruynee, deux cens cinquante morts, et quatorze blessés”.

[Τον ίδιο καιρό [1564] πέρασε από την πόλη μας, τη Sallon, ένας που μιλούσε για εκείνα τα μέρη, ο οποίος διηγούμενος αυτά τα θλιβερά πράγματα και αυτές τις τόσο παράξενες προφητείες, άφησε ένα ρολό [πάπυρο;] γραμμένο στη γλώσσα του και στη γλώσσα της

Nissard που μοιάζει με παλιά προβηγκιικά [και περιγράφει] τις ερειπωμένες πόλεις και τα κάστρα: η Boullene [Bollene] συνολικά και εκ θεμελίων ερειπωμένη, 250 νεκροί και 14 τραυματίες]

[μετάφραση δική μας]

Ανάλυση

Αυτή η αναφορά είναι χαρακτηριστικό είδος διαθέσιμου υλικού σε σχέση με τους πρώιμους ιστορικούς σεισμούς. Η ποσότητα των πληροφοριών είναι εξαιρετικά περιορισμένη, τόσο σε σχέση με τις βλάβες, όσο και με το είδος των κτηρίων. Από μία επιφανειακή εκτίμηση φαίνεται ότι η Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική κλίμακα δεν είναι τόσο ικανή όσο άλλες κλίμακες να αντιμετωπίσει περιπτώσεις όπου λεπτομερείς πληροφορίες για τα κτήρια δεν είναι διαθέσιμες. Αυτό δεν ισχύει στην προκειμένη περίπτωση· άλλες κλίμακες ή κάνουν υπόγειες υποθέσεις για τον τύπο του κτηρίου, γεγονός το οποίο περιορίζει τις επιλογές του αναλυτή, ή χρησιμοποιούν γενικές κατηγοριοποιήσεις, οι οποίες παρέχουν ελάχιστη ανάλυση.

Στην περίπτωση της Bollène, η πληροφορία περιορίζεται στη δήλωση ότι «όλοι οι τοίχοι των κτηρίων κατέρρευσαν». Τα ερωτήματα που πρέπει να τεθούν είναι τα εξής: (α) ποιά ήταν η κατηγορία τρωτότητας των κτηρίων· (β) ποιός ήταν ο πραγματικός βαθμός βλάβης και ποιά η κατανομή της· και, παράλληλα, (γ) σε ποίο βαθμό είναι η αναφορά υπερβολική; Θεωρώντας τις παραπάνω ερωτήσεις με την αντίστροφη σειρά: η πείρα δείχνει ότι εμφανίζεται συχνά ένας βαθμός υπερβολής σε ιστορικές περιγραφές για σεισμικές καταστροφές, και όσο λιγότερη λεπτομέρεια διατίθεται, τόσο η πιθανότητα αυξάνει να είναι ανακριβής. Η υπερβολή εμφανίζεται σε δύο είδη. Ποσότητες μπορεί να είναι υπερβολικές: είναι πιθανότερο το «όλοι» να σημαίνει «οι περισσότεροι». Ο βαθμός μπορεί να είναι υπερβολικός: «κατάρρευση» συχνά μπορεί να σημαίνει «σοβαρές βλάβες». Άρα, η πιθανή ερμηνεία της φράσης «όλοι οι τοίχοι των κτηρίων κατέρρευσαν» είναι ότι «τα περισσότερα κτήρια υπέστησαν μία σύμμιξη βλαβών βαθμού 4 και 5, μερικά μάλιστα μπορεί και να είχαν λιγότερες βλάβες». Όσον αφορά στην τρωτότητα, θα περίμενε κανείς μία σύμμιξη A και B από τις γενικές γνώσεις για τα ιστορικά κτήρια της περιοχής. Αν γνωρίζαμε ότι η ακριβής κατανομή βλαβών ήταν ότι πολλά κτήρια υπέστησαν βλάβες βαθμού 4, τότε, αν όλα τα κτήρια ήταν κατηγορίας A, θα αποδίδαμε ένταση 8 και αν ήταν κατηγορίας B, ένταση 9. Αυτή η διαδικασία θα μας έδινε ένα εύρος τιμών, στο οποίο θα πρέπει να κυμαίνεται η ένταση στην πιθανότερη περίπτωση συνδυασμού κατηγοριών A και B. Εκτός αν κάποιος είχε λόγο να υποθέσει ότι η μεγάλη πλειοψηφία των κτηρίων θα πρέπει να ανήκει στη μία κατηγορία ή στην άλλη, τότε μία εκτίμηση 8-9 θα ήταν το λογικό αποτέλεσμα. Στην περίπτωση αυτή έχουμε την επιπρόσθετη αβεβαιότητα σχετικά με την έκταση των βλαβών, με αξιόπιστες ερμηνείες που κυμαίνονται από πολλά κτήρια με βλάβες βαθμού 4, μερικά βαθμού 5, έως τα περισσότερα κτήρια με βλάβες βαθμού 4, πολλά βαθμού 5. Ο συνδυασμός των δύο αβεβαιότητων παρέχει ένα αξιόπιστο εύρος τιμών έντασης από 8-10. (Σημειώνεται ότι στην κλίμακα, όπου χρησιμοποιείται το «πολλά βαθμού 5», το «τα περισσότερα βαθμού 4» δεν αναφέρεται πάντοτε ρητά, αλλά υπονοείται, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί).

Για την Roquebillière και τη Belvédère «τα μισά σπίτια υπέστησαν βαρείες βλάβες». Σε αυτή την περίπτωση, η ερμηνεία της κατανομής των βλαβών ως «τα περισσότερα βαθμού 4, πολλά βαθμού 5» δεν μπορεί πλέον να υποστηριχθεί. Η «Πολλά βαθμού 4, μερικά βαθμού 5» είναι ακόμη αξιόπιστη, και η «πολλά βαθμού 3, μερικά βαθμού 4» μπορεί να ληφθεί υπόψη, αλλά ταιριάζει λιγότερο. Με την τρωτότητα να κυμαίνεται πάλι μεταξύ A και B, έχουμε εύρος εντάσεων 7-9, αλλά το πιθανότερο είναι 8-9.

Παράδειγμα 2 – Από γραπτές μαρτυρίες

Οι δύο περιγραφές που ακολουθούν αφορούν στα αποτελέσματα ενός σεισμού στις 7 Σεπτεμβρίου 1801 στο Comrie της Σκωτίας. Και οι δύο προέρχονται από εφημερίδες του Εδιμβούργου, σύγχρονες του σεισμού. Εκείνη την εποχή, το Εδιμβούργο ήταν η κοντινότερη

πόλη όπου τυπώνονταν εφημερίδες. Η απόσταση μεταξύ Comrie και Εδιμβούργου είναι 75 χλμ. περίπου. Η ώρα του σεισμού ήταν γύρω στις 6 π.μ.

Η παρακάτω αναφορά γράφτηκε από ένα παρατηρητή στο Comrie στις 9 Σεπτεμβρίου, δύο ημέρες δηλαδή μετά το σεισμό. Δημοσιεύθηκε στην εφημερίδα Edinburgh Advertiser (15 Σεπτεμβρίου 1801, σελ. 174):

1) «Η δόνηση ήταν πολύ μεγάλη και τόσο ανησυχητική, που δεν περιγράφεται... Πλάκες έπεσαν από μερικά σπίτια, και πολλά ελεύθερα αντικείμενα έπεσαν κάτω με μεγάλη φόρα. Αντικείμενα χτύπησαν μεταξύ τους με μεγάλο θόρυβο, όπως μπουκάλια, ποτήρια κλπ. Αρκετοί μεγάλοι λίθοι και τμήματα βράχων αποκολλήθηκαν και κύλησαν στις πλαγιές των βουνών. Κομμάτια από πέτρινα αναχώματα έπεσαν, και ένα κομμάτι γης μετατοπίστηκε από τη θέση του. Αν η δόνηση είχε λίγο περισσότερη ορμή, αρκετά ασθενή σπίτια είναι πιθανό να είχαν πέσει· αλλά κατά τύχη καμμία περαιτέρω βλάβη δεν προκλήθηκε πέρα από όσα προαναφέρθηκαν.»

Η δεύτερη περιγραφή γράφτηκε επίσης στο Comrie στις 9 Σεπτεμβρίου, και δημοσιεύθηκε στην εφημερίδα Edinburgh Evening Courant (14 Σεπτεμβρίου 1801, σελ. 3):

2) «... Ο θόρυβος και η δόνηση ήταν στιγμιαία· όλοι όσοι ήταν στο κρεβάτι τρομοκρατήθηκαν ότι τα σπίτια τους θα κατέρρεαν τριγύρω τους, και πολλοί εδώ και στην περιοχή πετάχτηκαν έξω όσο γρηγορότερα γινόταν – η διάρκεια μπορεί να ήταν 5-6 δευτερόλεπτα και όλη την ώρα τα πατώματα, κρεββάτια και παραθυρόφυλλα δονούνταν βίαια και οι οροφές έτριζαν και λύγιζαν σε μεγάλο βαθμό. Τα άλογα που βοσκούσαν έδειχναν πολύ φοβισμένα και είχαν τα αυτιά τους τεντωμένα· οι αγελάδες στους σταύλους έδειχναν από τη στάση τους μεγάλη ανησυχία, και τα σκυλιά και άλλα ζώα έδειχναν σημάδια φόβου. Ένας βοσκός, λίγα μίλια δυτικά, μόλις είχε ξεχωρίσει το κοπάδι βοοειδών, αλλά μόλις άρχισε η γη να τρέμει, το κοπάδι ξαναμαζεύτηκε αμέσως.»

Παρατηρήσεις

Οι δύο αυτές περιγραφές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες, και περιέχουν πληροφορίες περισσότερες του συνηθισμένου για την περίπτωση ενός μικρού χωριού (ο πληθυσμός το 1801 ήταν περίπου 1500), για αποτελέσματα σεισμού μετρίου μεγέθους στην περίοδο αυτή.

Είναι απαραίτητο να γίνει αναφορά στον τύπο των κτηρίων της περιοχής, που θα πρέπει να ήταν στην πλειοψηφία τους πέτρινα σπίτια (συνήθως μονόροφα), με ξύλινες στέγες καλυμένες με πλάκες. Αυτές οι κατασκευές μπορεί να θεωρηθούν ότι εμπίπτουν στην κατηγορία τρωτότητας Β. Η αντοχή αυτών των κτηρίων ήταν πιθανότατα αρκετά καλή, αν δεν είχαν επηρεαστεί από έλλειψη συντήρησης.

Μία πρώτη ένδειξη για το βαθμό έντασης συνήθως εξασφαλίζεται από την παρατήρηση των βλαβών. Εδώ οι βλάβες είναι προφανώς ελαφρές, και δεν αναφέρονται καθόλου από το δεύτερο παρατηρητή. Το κυριότερο αποτέλεσμα που παρατηρήθηκε ήταν η πτώση πλακών από μερικά σπίτια. Τεχνικά, αυτό συνιστά βλάβη βαθμού 3, αλλά αφού δεν υπάρχουν άλλες ενδείξεις για άλλα αποτελέσματα που εντάσσονται στο βαθμό βλάβης 3 (βλάβες σε καπνοδόχους, τοίχους), είναι πιθανόν ότι αυτές οι πλάκες που έπεσαν ήταν χαλαρά συνδεδεμένες. Δεν γίνεται αναφορά σε ρωγμές στο σοβά, αλλά από την άλλη πλευρά αυτές οι βλάβες συχνά δεν αναφέρονται (α) επειδή δεν είναι εμφανείς στο εξωτερικό του κτηρίου (β) μπορεί να μην γίνουν αντιληπτές από τον ιδιοκτήτη από την πρώτη στιγμή, ειδικά αν προϋπάρχουν στο κτήριο κάποιες ρωγμές. Κατά συνέπεια, η απουσία αναφοράς σε βλάβες στο σοβά δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η έλλειψη αναφοράς σε βλάβες στις καπνοδόχους, οι οποίες είναι προεξέχον χαρακτηριστικό μίας οικοδομής, είναι μεγαλύτερης σημασίας, κυρίως επειδή ο πρώτος συγγραφέας αναφέρει συγκεκριμένα ότι καμμία άλλη βλάβη δεν παρατηρήθηκε πέρα από αυτές που περιγράφει. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται επίσης στο γεγονός ότι μερικά πολύ ασθενή σπίτια δεν κατέρρευσαν.

Το πρώτο συμπέρασμα που εξάγεται από την μελέτη των βλαβών είναι το ότι η ένταση είναι τουλάχιστον 5, αλλά όχι πάνω από 6. Για να ήταν η ένταση 7 θα ήταν απαραίτητες

περισσότερες ενδείξεις ότι πολλά σπίτια είχαν βλάβες, κυρίως στις καπνοδόχους. Στην προκειμένη περίπτωση δεν συμβαίνει αυτό. Τα «πέτρινα αναχώματα» που αναφέρονται εδώ είναι τοίχοι περιφραξης. Αυτό το είδος κατασκευής δεν αναφέρεται στην EMS, αλλά η εμπειρία έχει δείξει ότι τέτοια βλάβη ξεκινά από την ένταση 5.

Σχετικά με τα αποτελέσματα στους ανθρώπους, και οι δύο αναφορές συμφωνούν ότι η δόνηση ήταν πολύ τρομακτική. Οι άνθρωποι φοβήθηκαν συγκεκριμένα ότι τα σπίτια τους καταρρέουν. Πολλοί πετάχτηκαν από τα κρεβάτια τους – δεν αναφέρεται ότι έτρεξαν έξω από τα σπίτια, αλλά είναι πιθανόν, και η περίπτωση αυτή μάλλον ταιριάζει με την περιγραφή στην κλίμακα «πολλοί φοβούνται και τρέχουν έξω» για την ένταση 6. Είναι εμφανές ότι ο σεισμός έγινε αισθητός στο ύπαιθρο (π.χ. από το βοσκό), αλλά όχι από πόσους. Τα αποτελέσματα στους ανθρώπους επιβεβαιώνουν ότι το πιθανό εύρος έντασης είναι 5-6, με πιθανότερη τιμή το 6.

Η πρώτη περιγραφή αναφέρει ότι πολλά αντικείμενα έπεσαν κάτω βίαια. Αυτό παραπέμπει περισσότερο στην περιγραφή της κλίμακας «μικρά αντικείμενα κανονικής σταθερότητας μπορεί να πέσουν» (ένταση 6), από όσο στην περιγραφή «μικρά, ασταθή αντικείμενα και/η αβέβαια στήριξης αντικείμενα μπορεί να μετατοπιστούν ή να πέσουν κάτω» (ένταση 5), και μοιάζει ακόμη και με την περιγραφή «μεγάλος αριθμός αντικειμένων πέφτουν από ράφια» (ένταση 7).

Η σύγκρουση μπουκαλιών, δόνηση των παραθυρόφυλλων, κλπ., είναι ένα αποτέλεσμα που ξεκινά από την ένταση 4 και συνεχίζει να παρατηρείται σε μεγαλύτερες εντάσεις. Εδώ είναι εμφανές ότι η ισχύς της σύγκρουσης είναι τουλάχιστον βαθμού 5.

Ο δεύτερος συγγραφέας αναφέρει αποτελέσματα σε ζώα. Οι αγελάδες μέσα στο σταύλο ήταν ανήσυχες (ένταση 5) αλλά τα άλογα και τα βοοειδή στο ύπαιθρο επίσης ανησύχησαν (ένταση 6).

Η αθροιστική θεώρηση των παραπάνω υποδεικνύει ότι ο βαθμός 6 είναι η βέλτιστη εκτίμηση της έντασης στο Comrie για το σεισμό της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1801. Κάποια επιβεβαίωση μπορεί να αναζητηθεί σε σεισμολογικά δεδομένα. Ο πρώτος συγγραφέας αναφέρει αποτελέσματα σε πρηνή – μεγάλες πέτρες και θραύσματα βράχων ολίσθησαν από τα βουνά, και ένα ανάχωμα υπέστη μικρή ολίσθηση. Το πρώτο αποτέλεσμα μοιάζει περισσότερο με μετατόπιση βραχωδών πρηνών παρά βραχοπτώσεις, αλλά και τα δύο αποτελέσματα ξεκινούν από την ένταση 5 και είναι χαρακτηριστικά για την ένταση 6-7 (6-8 στην περίπτωση βραχοπτώσεων). Το δεύτερο αποτέλεσμα συσχετίζεται με εντάσεις 5-7, αλλά ακριβώς επειδή δείχνει να είναι μεμονωμένη περίπτωση, δεν αποτελεί ισχυρό δείκτη. Αυτά τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τις εκτιμήσεις που προήλθαν από την εξέταση των υπολοίπων δεδομένων.

Παράδειγμα 3 – Από ερωτηματολόγια

Τα δεδομένα που ακολουθούν έχουν εξαχθεί από ερωτηματολόγια που αναφέρονται στα αποτελέσματα του σεισμού του Καρλάιλ στις 26 Δεκεμβρίου 1979 (μέγεθος M_L 4.8), στο Carlisle της Βόρειας Αγγλίας. Το ερωτηματολόγιο δημοσιεύθηκε στις τοπικές εφημερίδες: οι αναγνώστες κλήθηκαν να τα συμπληρώσουν και να τα στείλουν. Επομένως δεν εφαρμόστηκαν τεχνικές τυχαίας δειγματοληψίας κατά τη συλλογή των δεδομένων, και τα ποσοστά που υπολογίστηκαν από το δείγμα δεν αποτελούν εγγυημένα αξιόπιστους δείκτες του συνολικού πληθυσμού. Το ερωτηματολόγιο δεν σχεδιάστηκε με βάση την Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική κλίμακα, και κατά συνέπεια δεν σχετίζονται στενά όλες οι ερωτήσεις με το κείμενο της κλίμακας. Επομένως, στο παρόν παράδειγμα, η κλίμακα μπορεί να φανεί ότι εφαρμόζεται σε δεδομένα που δεν μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι τα βέλτιστα.

Για το σκοπό της παρούσας μελέτης η πόλη Carlisle χωρίστηκε σε τρεις περιοχές. Τα δεδομένα του δυτικού τμήματος χρησιμοποιούνται στο παράδειγμα αυτό. Ο αριθμός των

ερωτηματολογίων που συμπληρώθηκαν από αυτό το τμήμα της πόλης είναι 222. Η ώρα του σεισμού ήταν 03:57· σχεδόν όλοι οι παρατηρητές ήταν μέσα στα σπίτια και στο κρεβάτι. Δεν υπάρχουν αναφορές από ανθρώπους έξω από το σπίτι, αφού οι δρόμοι ήταν έρημοι αυτή την ώρα της νύχτας, το πρωί μετά την ημέρα των Χριστουγέννων.

Ερώτηση: Τι αισθανθήκατε;

87% αισθάνθηκαν ένα είδος κραδασμού· 19% τον περιέγραψαν ως ισχυρό (παρόλο που δεν τους ζητήθηκε να ποιοτικοποιήσουν την περιγραφή τους) · 1% τον περιέγραψαν ως ασθενή· 11% δεν αισθάνθηκαν δόνηση.

Παρατήρηση: Ο κραδασμός ήταν γενικά αισθητός ή ισχυρός.

Ερώτηση: Τι αισθάνθηκαν ή άκουσαν οι άλλοι κοντά σας;

73% είπαν ότι οι γείτονες αισθάνθηκαν ή άκουσαν το σεισμό· 12% είπαν όχι και οι υπόλοιποι δεν ήξεραν ή δεν απάντησαν.

Παρατήρηση: Ο σεισμός ήταν αισθητός από τους περισσότερους μέσα στα σπίτια.

Ερώτηση: Φοβηθήκατε ή αναστατώθήκατε;

69% απάντησαν καταφατικά - 18% αρνητικά. Τρεις ανέφεραν ότι βγήκαν έξω τρέχοντας, αλλά η ανάλογη ερώτηση δεν υπήρχε στο ερωτηματολόγιο, οπότε μπορεί και άλλοι να έκαναν το ίδιο.

Παρατήρηση: Πολλοί ή οι περισσότεροι ανησύχησαν ή φοβήθηκαν και τουλάχιστον μερικοί προσπάθησαν να τρέξουν έξω. Μέχρι στιγμής η ένταση δείχνει να βρίσκεται στο εύρος 5-7.

Ερώτηση: Οι πόρτες ή τα παράθυρα χτύπησαν;

54% είπαν ναι· 26% είπαν όχι.

Ερώτηση: Χτύπησε τίποτε άλλο;

54% είπαν ναι· 19% είπαν όχι.

Παρατήρηση: Από την μαρτυρία αυτή προκύπτει ότι η ένταση ήταν τουλάχιστον 4 και πιθανόν 5 ή περισσότερο.

Ερώτηση: Ταλαντεύτηκαν αναρτημένα αντικείμενα;

14% είπαν ναι· 26% είπαν όχι, και οι υπόλοιποι δεν είχαν αναρτημένα αντικείμενα να παρατηρήσουν, ή δεν μπορούσαν να δουν στο σκοτάδι, ή δεν απάντησαν.

Παρατήρηση: Εφόσον η δόνηση από ένα σχετικά μικρό σεισμό σε μικρή απόσταση (όπως στην προκειμένη περίπτωση) έχει μεγάλη πιθανότητα να είναι υψίσυχη, δεν αναμένονται πολλές παρατηρήσεις για ταλάντωση ανηρτημένων αντικειμένων. Στις περιπτώσεις αυτές ο λόγος των απαντήσεων ναι:όχι είναι περίπου 1:2 και υποδηλώνει αρκετά ισχυρή δόνηση, δηλαδή ένταση τουλάχιστον 5.

Ερώτηση: Έπεσε ή ανατράπηκε κάτι;

18% απάντησαν καταφατικά· 72% αρνητικά.

Παρατήρηση: Η ένταση ήταν τουλάχιστον 5.

Ερώτηση: Παρατηρήσατε βλάβες;

13% ανέφεραν κάποιο είδος βλάβης· 85% όχι. Οι περισσότερες βλάβες ήταν ρωγμές στο σοβά και στους τοίχους· επίσης πτώση πλακών, πτώση καπνοδόχων και αποκόλληση χαλαρών τούβλων. Σε μία περίπτωση αναφέρθηκε ότι ένα χάσμα δημιουργήθηκε μεταξύ ενός χώρου στάθμευσης και μίας προσθήκης σπιτιού.

Παρατήρηση: Τα σπίτια είναι κυρίως κτισμένα με τούβλα. Οι βλάβες συνοψίζονται στο ότι λίγα κτήρια κατηγορίας τρωτότητας Β υπέστησαν βλάβες βαθμού 1 και 2. Αυτό δεν ταιριάζει απόλυτα με τις περιγραφές που δίνονται στην κλίμακα, αλλά πλησιάζει περισσότερο την ένταση 6 από οτιδήποτε άλλο.

Ερώτηση: Έχετε κάποιες άλλες παρατηρήσεις;

Μία ποικιλία απαντήσεων συγκεντρώθηκε. Εννέα άτομα ανέφεραν ότι έπιπλα μετακινήθηκαν, ένα γεγονός που περιλαμβάνεται στην ένταση 6 της κλίμακας.

Σύνοψη: Σύμφωνα με τις παραπάνω μαρτυρίες, η βέλτιστη εκτίμηση για την ένταση είναι 6, παρά το γεγονός ότι η εκτίμηση είναι οριακή/κοντά στο περιθώριο και ορισμένοι θα συζητούσαν το βαθμό 5 ή 5-6. Ο βαθμός της βλάβης, η μετατόπιση επίπλων και ο αριθμός των ατόμων που φοβήθηκαν υποδεικνύει ένταση 6 και τα υπόλοιπα στοιχεία είναι τουλάχιστον σε συμφωνία με την τιμή αυτή. Παρόλα αυτά θα μπορούσε κάποιος να αναμένει μεγαλύτερο ποσοστό παρατηρήσεων για πτώση αντικειμένων.

7 Αποτελέσματα στο φυσικό περιβάλλον

Τα αποτελέσματα των σεισμών στο έδαφος, που συνοψίζονται εδώ ως «σεισμογεωλογικά» αποτελέσματα, έχουν συχνά συμπεριληφθεί στις κλίμακες εντάσεων, μεταξύ των οποίων και η κλίμακα MSK, αλλά στην πράξη είναι ιδιαίτερα δύσκολο να χρησιμοποιηθούν με ωφέλιμο τρόπο. Αυτό οφείλεται στο ότι τα αποτελέσματα αυτά είναι πολυσύνθετα, και συχνά επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες όπως η ενυπάρχουσα ευστάθεια πρανών, η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, κλπ., τα οποία μπορεί να μην είναι άμεσα εμφανή στον παρατηρητή. Συνεπώς, τα περισσότερα από αυτά τα αποτελέσματα μπορεί να παρατηρηθούν σε ευρύ πεδίο τιμών έντασης. Θεωρείται, επομένως, ότι αυτού του είδους οι μαρτυρίες είναι ανεπαρκείς για να καθιερώσουν ικανή συσχέτιση μεταξύ των «σεισμογεωλογικών» αποτελεσμάτων και συγκεκριμένων βαθμών έντασης. Μερικές γενικευμένες θεωρήσεις σχετικά με την περιορισμένη χρήση αποτελεσμάτων όπως η μεταβολή της στάθμης των πηγαδιών, ρωγμές στο έδαφος, κατολισθήσεις ή πτώσεις βράχων, παρουσιάζονται χωριστά στην ενότητα αυτή.

Η απομάκρυνση αυτού του είδους των διαγνώσεων από τις περιγραφές των βαθμών έντασης δεν γίνεται «ελαφρά τη καρδία», κυρίως εφόσον, σε αγροτικές και αραιοκατοικημένες (ή ακατοίκητες) περιοχές μπορεί να είναι διαθέσιμα ελάχιστα άλλου είδους δεδομένα. Το πρόβλημα είναι ότι, ενώ οι διακυμάνσεις στην τρωτότητα ανθρωπογενών κατασκευών μπορούν να παρουσιαστούν με κατανοητό αλλά και αδιαμφισβήτητο τρόπο, στην περίπτωση των αποτελεσμάτων στο φυσικό περιβάλλον, τα περισσότερα εξαρτώνται από πολύπλοκα γεωμορφολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά, τα οποία δεν μπορούν εύκολα (ή καθόλου) να εκτιμηθούν από τον παρατηρητή. Για παράδειγμα, οι καταπτώσεις βράχων που συχνά συμβαίνουν και χωρίς σεισμό, μπορούν εύκολα να ενεργοποιηθούν σε ένα περιβάλλον όπου οι εξωτερικές παρειές των βράχων είναι αποσαθρωμένες και ιδιαίτερα τρωτές, ενώ σε άλλες περιπτώσεις όπου οι βράχοι έχουν μεγάλη συνοχή μπορεί να προκληθούν μόνο με πολύ ισχυρή δόνηση. Οι συνθήκες που επηρεάζουν τέτοια φαινόμενα δεν είναι απαραίτητα σταθερές για κάθε τόπο· μπορεί να εξαρτώνται από την κατάσταση του υδροφόρου ορίζοντα, ή να ποικίλλουν με τις εποχές του χρόνου. Κατά ένα τρόπο, η κατάσταση παρομοιάζει με την τρωτότητα των κτηρίων – μία ασθενής παρεία βράχου είναι πιο τρωτή σε «βλάβη» με μορφή κατάπτωσης βράχων από ότι μία συνεκτική. Το πρόβλημα είναι ότι δεν υπάρχει τρόπος ούτε καν να εκτιμήσει κανείς την τρωτότητα με τον τρόπο που γίνεται στα κτήρια. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις, τα σεισμογεωλογικά αποτελέσματα συμβαίνουν με τέτοιο τρόπο, ώστε δεν μπορούν εύκολα να ποσοτικοποιηθούν στον ίδιο βαθμό που μπορούν οι άλλες παρατηρήσεις.

Είναι βέβαιο ότι η έκταση στην οποία εμφανίζονται αυτά τα φαινόμενα κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου σεισμού παρατηρείται ότι μπορεί να ποικίλλει στο χώρο, και κάποιες φορές αυτά μπορεί να είναι φαινομενικά χρήσιμα για τη διάκριση σχετικών βαθμών δόνησης. Για παράδειγμα, θα μπορούσε κανείς να παραστήσει γραφικά τη σχέση της χωρικής πυκνότητας των κατολισθήσεων ή της εδαφικής ρηγμάτωσης. Εν τούτοις, πρόσφατες μελέτες για την χωρική κατανομή των γεωτεχνικών παραμέτρων, όπως περιεκτικότητα των εδαφών σε υγρασία (που έχει κρίσιμη σπουδαιότητα για τον προσδιορισμό της ευστάθειας των πρανών) έχουν δείξει ότι αυτές οι ιδιότητες συχνά παρουσιάζουν ένα μοτίβο μορφοκλασματικής ομαδοποίησης. Συμπεραίνοντας, έχει παρατηρηθεί ότι οι κατανομές των κατολισθήσεων είναι τυπικά ομαδοποιημένες, ακόμα και αν δεν έχει γίνει σεισμός, και επίσης κατανομές που θα μπορούσαν εσφαλμένα να συσχετιστούν με την ένταση του σεισμού, στην πραγματικότητα δεν έχουν καμία σχέση με σεισμική δόνηση.

Επομένως, σε γενικό κανόνα, τα αποτελέσματα στη φύση θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με σύνεση και να συνδυάζονται με άλλα αποτελέσματα. Τα δεδομένα που αποτελούνται αποκλειστικά από αποτελέσματα στη φύση κανονικά δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της έντασης. Τέτοιου είδους στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιούνται για να επιβεβαιώνουν εντάσεις που έχουν εκτιμηθεί από άλλες διαγνώσεις. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει πάντα πρόβλημα εκτίμησης της έντασης σε μία ακατοίκητη περιοχή· στην καλύτερη

περίπτωση μπορεί να δοθεί ένα εύρος εντάσεων. Αυτό είναι λυπηρό, αλλά είναι προτιμότερο να αποδεχθεί κανείς αυτόν τον περιορισμό, από το να προσδιορίζει εντάσεις που είναι αναξιόπιστες προς χρήση.

Προσοχή πρέπει να δίνεται στον εντοπισμό της θέσης των αποτελεσμάτων αυτού του είδους· μπορεί να συμβούν στο ύπαιθρο σε σημαντική απόσταση από την κοντινότερη πόλη, στην οποία μπορεί να αποδοθούν από μία ανακριβή αναφορά.

Για τους σκοπούς της κλίμακας EM-98, τα σειсмоγεωλογικά αποτελέσματα παρουσιάζονται σε πίνακα. Για κάθε αποτέλεσμα χρησιμοποιούνται τρεις τύποι συμβόλων, ως εξής:

Γραμμές	-δείχνουν το πιθανό εύρος παρατήρησης
Κύκλοι (άδειοι ή συμπαγείς)	-δείχνουν το εύρος εντάσεων που είναι χαρακτηριστικές για το συγκεκριμένο αποτέλεσμα
κύκλοι (συμπαγείς)	-δείχνουν το εύρος εντάσεων για τις οποίες το συγκεκριμένο αποτέλεσμα χρησιμοποιείται ως διάγνωση

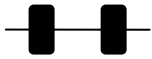
Οι γραμμές αυτές τερματίζουν σε βέλη που υποδεικνύουν το ενδεχόμενο ακραίων παρατηρήσεων ακόμα και πέραν των ορίων σε εξαιρετικές περιπτώσεις, διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες, ή ιδιαίτερη ευαισθησία. Για μερικά αποτελέσματα δεν σχεδιάζονται και οι τρεις κατηγορίες, όταν υπάρχει υποψία ότι η εμπειρία δεν είναι επαρκής για να διατυπωθεί γνώμη. Υπενθυμίζεται ότι για τα περισσότερα από αυτά τα αποτελέσματα η σοβαρότητα της παρατήρησης είναι ανάλογη του βαθμού της έντασης. Έτσι, για την πληροφορία «η ροή των πηγών επηρεάζεται», στην ένταση 5 θα περίμενε κανείς ελαφρά μεταβολή της ροής των πηγών, ενώ στις μεγαλύτερες εντάσεις η μεταβολή αυτή μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη. Αποφασίστηκε ότι το να επιχειρηθεί διάκριση στην κλίμακα μεταξύ «ελαφράς μεταβολής της ροής των πηγών» και «μεγάλης μεταβολής της ροής των πηγών» δεν θα είχε πρακτική αξία, με δεδομένες τις δυσκολίες ποσοτικοποίησης τέτοιου είδους εκφράσεων.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται, αναφορικά με τις εδαφικές ρωγμές κυρίως, στη διάκριση των γεωτεχνικών παρατηρήσεων, δηλαδή αυτών που προκλήθηκαν από τη δόνηση και των νεοτεκτονικών παρατηρήσεων, δηλαδή αυτών που προκλήθηκαν άμεσα από τη σεισμική διάρρηξη. Αυτό περιλαμβάνει μείζονες μεταβολές στην επιφάνεια της γης εξαιτίας των μεγάλων διαρρήξεων.

Τα αποτελέσματα που παρατίθενται στον Πίνακα ομαδοποιούνται σε τέσσερις κατηγορίες: υδρολογικά, αστοχία πρανών, οριζόντιες εδαφικές διεργασίες και συγκλίνουσες διεργασίες (σύνθετες περιπτώσεις). Η τελευταία κατηγορία καλύπτει τις περιπτώσεις όπου περισσότερα από ένα είδος διεργασίας εμπλέκονται στο αποτέλεσμα. Σημειώνεται ότι οι κατολισθήσεις εμφανίζονται και ως αστοχίες πρανών και ως συγκλίνοντα αποτελέσματα. Αυτό συμβαίνει επειδή μερικές κατολισθήσεις είναι άμεσο αποτέλεσμα της δόνησης που προκαλεί απόσπαση των βράχων, ενώ άλλες συμβαίνουν μόνο επειδή η αστάθεια των πρανών είναι συνδεδεμένη με ορισμένες υδρολογικές συνθήκες. Η διάκριση μεταξύ των παραπάνω περιπτώσεων μπορεί να μην είναι εύκολη· αυτά είναι τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν όταν ασχολείται κανείς με τέτοιου είδους παρατηρήσεις.

Πίνακας 7-1: Συσχέτιση σειсмоγεωλογικών φαινομένων με βαθμούς έντασης

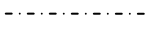
ΕΙΔΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ	ΕΝΤΑΣΗ											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ												
Στάθμη νερού πηγαδιών - Δευτερεύουσας σημασίας μεταβολές ¹⁾	●	●	○	○	○	○						
Στάθμη νερού πηγαδιών -Σημαντικές μεταβολές ²⁾						●	●	●				
Κύματα μεγάλης περιόδου σε στάσιμα ύδατα ³⁾												
Κυματισμός σε στάσιμα ύδατα εξ αιτίας τοπικής δόνησης						●	●	●				
Λιμναία ύδατα θολώνουν ⁴⁾								○	○	○		
Η ροή των πηγών επηρεάζεται ⁵⁾					○	●	●					
Η ροή των πηγών σταματά και ξεκινά							●	●	●			
Εκχύλιση λιμναίων υδάτων												
ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΣΕ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΥΠΟ ΚΛΙΣΗ (ΠΡΑΝΩΝ)												
Μετακίνηση λιθώνων σε πλαγιές (κώνοι κορημάτων)						●	●					
Μικροκατολισθήσεις ⁶⁾					●	●	●					
Ασήμαντες καταπτώσεις βράχων ⁷⁾					●	●	○					
Κατολισθήσεις, μεγάλες καταπτώσεις βράχων							●	●	●	●	●	●
ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΔΑΦΟΣ ⁸⁾												
Ασήμαντες ρωγμές στο έδαφος					●	●	●					
Μεγάλες σχισμές στο έδαφος								●	●	●	●	●
ΣΥΓΚΛΙΝΟΥΣΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ /ΣΥΝΘΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ												
Κατολισθήσεις (υδρολογικές) ⁹⁾					●	●	●	●	●	●	●	●
Ρευστοποίηση ¹⁰⁾							●	●	●	●	●	●



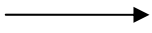
το πιο ωφέλιμο εύρος ως διαγνωστικό της έντασης



εντάσεις επίσης χαρακτηριστικές για αυτό το αποτέλεσμα



πιθανό εύρος παρατήρησης



πιθανό για ακραίες περιπτώσεις πέρα από τα δοθέντα όρια

Σημειώσεις στον πίνακα σεισμογεωλογικών αποτελεσμάτων

- 1) ανιχνεύσιμες μόνο από αυτόματα όργανα
- 2) εύκολα παρατηρήσιμες μεταβολές
- 3) αποτέλεσμα μακρινών σεισμικών δονήσεων· πιθανά με επαγόμενη θολερότητα λόγω των κυμάτων
- 4) λόγω της διαταραχής των ιζημάτων του πυθμένα
- 5) μεταβολές στο ρυθμό της ροής ή το θόλωμα του νερού των πηγών
- 6) σε χαλαρά υλικά που απαντούν σε φυσικά (όχθες ποταμών) ή σε ανθρωπογενή (πρανή δρόμων) περιβάλλοντα
- 7) ασήμαντες καταπτώσεις βράχων σε φυσικές (κρημνοί) ή σε ανθρωπογενείς (πρανή βράχων, λατομεία) θέσεις
- 8) αυτές οι δύο κατηγορίες διαπλέκονται μεταξύ τους. Απαιτείται προσοχή στη διάκριση των εδαφικών διαρρήξεων (σεισμογενών ή μη)
- 9) κατολισθήσεις που οφείλονται κυρίως σε υδρολογικά αίτια (μπορεί να είναι καθυστερημένα αποτελέσματα)
- 10) ρευστοποίηση (π.χ. κρατήρες άμμου, δημιουργία λοφίσκων)

8 Συνοπτική περιγραφή της EMS-98

Η συνοπτική περιγραφή της Ευρωπαϊκής Μακροσεισμικής Κλίμακας είναι περίληψη του κυρίως μέρους της και αποσκοπεί να παρουσιάσει μία απλοποιημένη και γενικευμένη άποψη της κλίμακας EM. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκπαιδευτικούς λόγους. Αυτή η συνοπτική περιγραφή δεν είναι κατάλληλη για εκτίμηση έντασης.

Ένταση EMS	Ορισμός	Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών αποτελεσμάτων που παρατηρήθηκαν
I	Μη αισθητός	Μη αισθητός.
II	Ανεπαίσθητος	Αισθητός μόνο από πολύ λίγους ανθρώπους που αναπαύονται μέσα στα σπίτια.
III	Ασθενής	Αισθητός μέσα σε κτήριο από λίγους ανθρώπους. Όσοι αναπαύονται αισθάνονται μια ταλάντωση ή ελαφρή δόνηση.
IV	Ευρέως αισθητός	Αισθητός από πολλούς ανθρώπους μέσα σε κτήρια και από πολύ λίγους έξω. Λίγοι ξυπνούν. Πιατικά, παράθυρα και πόρτες κροτούν.
V	Ισχυρός	Αισθητός από τους περισσότερους μέσα στα κτήρια και από λίγους έξω. Πολλοί άνθρωποι ξυπνούν. Λίγοι φοβούνται. Τα κτήρια δονούνται. Ανηρημένα αντικείμενα αιωρούνται αισθητά. Μικρά αντικείμενα μετακινούνται. Πόρτες και παράθυρα ανοιγοκλείνουν.
VI	Ελαφρά βλαβερός	Πολλοί άνθρωποι φοβούνται και τρέχουν έξω. Μικρά αντικείμενα πέφτουν. Πολλά σπίτια παθαίνουν ελαφρές μη δομικές βλάβες, όπως τριχοειδείς ρωγμές και πτώση μικρών κομματιών επιχρίσματος.
VII	Βλαβερός	Οι περισσότεροι άνθρωποι φοβούνται και τρέχουν έξω. Έπιπλα μετακινούνται και αντικείμενα πέφτουν από τα ράφια. Πολλά καλοκτισμένα κανονικά κτήρια παθαίνουν μέτριες βλάβες: μικρές ρωγμές στους τοίχους, πτώση επιχρίσματος, τμήματα καπνοδόχων πέφτουν, ενώ τα παλιά κτήρια παθαίνουν μεγάλες ρωγμές και πέφτουν χωρίσματα τοίχων.
VIII	Βαριά βλαβερός	Πολλοί άνθρωποι δεν μπορούν να σταθούν όρθιοι. Πολλά σπίτια έχουν μεγάλες ρωγμές στους τοίχους. Σε λίγα κανονικά κτήρια καταρρέουν ο τοίχοι, ενώ αδύναμες παλαιότερες κατασκευές καταρρέουν.
IX	Καταστρεπτικός	Γενικός πανικός. Πολλές αδύναμες κατασκευές καταρρέουν. Ακόμα και καλοκτισμένα κτήρια έχουν πολύ βαρείες βλάβες, σοβαρές αστοχίες σε τοίχους και μερική δομική κατάρρευση.
X	Πολύ καταστρεπτικός	Πολλά κανονικά καλοκτισμένα σπίτια καταρρέουν.
XI	Συντριπτικός	Τα περισσότερα κανονικά καλοκτισμένα κτήρια καταρρέουν, ακόμα και μερικά που είναι αντισεισμικά σχεδιασμένα καταστρέφονται.
XII	Ολοκληρωτικά συντριπτικός	Σχεδόν όλα τα κτήρια καταστρέφονται.