

ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ

Δρ. Β.Κουσκουνά-Τσιμπιδάρου

Αν. Καθηγήτρια Σεισμολογίας

Εισαγωγή

Η Μακροσεισμική εξετάζει τη σοβαρότητα ενός σεισμού με βάση τα αποτελέσματά του. Ο σεισμός ονομάζεται φυσική καταστροφή γιατί προέρχεται από τη φύση, αλλά επιδρά κυρίως στο περιβάλλον και στα έργα του ανθρώπου, δηλαδή στις κατασκευές.

Οι σεισμοί είναι σύνθετα φαινόμενα και όσοι τους αισθάνονται μπορούν να τους περιγράψουν ως εξής:

- Είναι γρήγοροι ή αργοί
- Είναι δεξιόστροφοι ή αριστερόστροφοι
- Μερικοί είναι ασθενείς, άλλοι είναι βίαιοι
- Είναι επιφανειακοί ή βάθους
- Έχουν διαφορετική διεύθυνση: οριζόντια, κατακόρυφη, ή κάτι ενδιάμεσο

Από τους αμέτρητους σεισμούς που γίνονται καθημερινά στον κόσμο, οι περισσότεροι δεν είναι αρκετά μεγάλοι ώστε να γίνουν αισθητοί και η ύπαρξή τους είναι γνωστή μόνο στους σεισμολόγους, οι οποίοι μελετούν τις ενδείξεις που τους δίνουν τα ευαίσθητα μηχανήματα καταγραφής των δονήσεων της γης.

Λίγοι σεισμοί κάθε χρόνο γίνονται πρώτη είδηση, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είναι και οι μεγαλύτεροι. Ένας σεισμός θα επιφέρει θανάτους και καταστροφές μόνο αν είναι αρκετά δυνατός ώστε να προκαλέσει έντονες δονήσεις σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου οι κατασκευές δεν είναι κατάλληλα κτισμένες, ώστε να αντέξουν τις σεισμικές δονήσεις.

Όλα τα στοιχεία των παρατηρήσεων των αποτελεσμάτων των σεισμών ονομάζονται μακροσεισμικά δεδομένα.

Μακροσεισμικά αποτελέσματα

Είδη μακροσεισμικών αποτελεσμάτων

Μακροσεισμικά αποτελέσματα ονομάζονται οι μεταβολές που προκαλούνται από τους σεισμούς στο έδαφος, στο επιφανειακό και υπόγειο νερό, στις τεχνικές κατασκευές κλπ, καθώς και η επίδραση αυτών στους ανθρώπους και στα ζώα.

Τα αποτελέσματα αυτά διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: Ορισμένα από αυτά είναι άμεσες συνέπειες των αιτίων στα οποία οφείλεται η γένεση των σεισμικών κυμάτων, όπως είναι η σχετική κίνηση των πλευρών του σεισμικού ρήγματος, η ηφαιστειακή δράση και η εγκατακρήμνιση υπογείων εγκοίλων. Τα αποτελέσματα αυτά λέγονται πρωταρχικά. Τα υπόλοιπα αποτελέσματα τα οποία προκαλούνται από τα σεισμικά κύματα μικρής περιόδου και ασκούν σε όλα τα αντικείμενα κατά την διέλευσή τους από την μακροσεισμική περιοχή διάφορους επιδράσεις (Γαλανόπουλος 1976), λέγονται επακόλουθα. Τα επακόλουθα αποτελέσματα είναι ανεξάρτητα του τρόπου γένεσης των σεισμικών κυμάτων.

Τα πρωταρχικά, καθώς και ορισμένα από τα επακόλουθα μακροσεισμικά αποτελέσματα, μπορούν να γίνουν ορατά και μετά τη διάρκεια του σεισμού. Αυτά λέγονται μόνιμα αποτελέσματα. Ορισμένα, όμως, από τα επακόλουθα αποτελέσματα παρατηρούνται μόνο κατά τη διάρκεια του σεισμού. Αυτά λέγονται παροδικά αποτελέσματα.

Αποτελέσματα των σεισμών στο έδαφος

Το έδαφος αποτελεί τον άμεσο αποδέκτη των σεισμικών δονήσεων, με αποτέλεσμα οι μεταβολές και οι παραμορφώσεις τις οποίες υπόκειται να είναι μόνιμες και ορατές μετά το σεισμό. Τα πιο συνηθισμένα αποτελέσματα των σεισμών στο έδαφος είναι διάφορες διαρρήξεις, κατολισθήσεις, βαθύνσεις και υψομετρικές μεταβολές.

Οι εδαφικές διαρρήξεις μπορούν να διακριθούν σε εδαφικές ρωγμές και σε εδαφικά χάσματα. Οι εδαφικές ρωγμές είναι πολύ επιφανειακές μικρές σχισμές, που οφείλονται συνήθως σε ολισθήσεις ή σε μικρές κατακόρυφες κινήσεις μικρού μεγέθους τεμαχίων του εδάφους. Τα εδαφικά χάσματα, αποτελούν διαρρήξεις μεγαλύτερου μήκους που μπορούν να φθάσουν δεκάδες ή ακόμη και εκατοντάδες χιλιόμετρα. Τα ορατά βάθη τους φθάνουν μέχρι 100m και τα ανοίγματά τους φθάνουν μέχρι λίγα μέτρα. Τα εδαφικά χάσματα είναι συνήθως τα επιφανειακά ίχνη των σεισμικών ρηγμάτων.

Οι εδαφικές κατολισθήσεις που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της σεισμικής κίνησης οφείλονται στην ελάττωση της τριβής που συγκρατεί σε επαφή τα διάφορα

στρώματα. Σε κάποιες περιπτώσεις οι εδαφικές κατολισθήσεις, που οφείλονται σε σεισμούς, προκάλεσαν το θάνατο δεκάδων ή και εκατοντάδων ανθρώπων και την καταστροφή χωριών ή και κωμοπόλεων.

Οι εδαφικές βαθύνσεις σχηματίζονται πάνω από ρήγματα που δε φαίνονται στην επιφάνεια, ή πάνω από υπόγειες καταπτώσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι εδαφικές βαθύνσεις να εμφανίζονται μερικές φορές στην προέκταση του ορατού μέρους του σεισμικού ρήγματος και μαρτυρούν την υπόγεια συνέχιση αυτού. Αν οι εδαφικές βαθύνσεις πληρωθούν με νερό, σχηματίζονται στις θέσεις τους τέλματα. Σε ορισμένες περιπτώσεις βγαίνει από τις εδαφικές βαθύνσεις ή τα ρήγματα υγρή άμμος ή ιλυούχος μάζα και σχηματίζουν αμμώδεις ή βορβορώδεις αναβλύσεις, κλπ.

Οι υψομετρικές μεταβολές που δημιουργούνται κατά τη γένεση μεγάλων σεισμών οφείλονται είτε στην άνοδο, είτε στην καθίζηση σχετικά μεγάλων τεμαχίων. Αυτού του είδους οι εδαφικές εξάρσεις γίνονται εύκολα αντιληπτές και ορατές σε παράκτιες περιοχές, γιατί προκαλούν μόνιμη μετάθεση των ακτών πάνω από τη στάθμη της θάλασσας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας λευκής γραμμής που σχηματίζουν στην ακτή τα λείψανα οστράκων και φυκών, τα οποία πριν από την έξαρση ζούσαν κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Σε άλλες περιοχές, οι εξάρσεις διαπιστώνονται από τη μεταβολή της στάθμης του νερού των λιμνών ή του εδαφικού νερού. Για να μετρηθεί με ακρίβεια το μέγεθος των εξάρσεων ή των καθιζήσεων, που προκαλούνται σε ορισμένο σεισμό, πρέπει να πραγματοποιηθεί λεπτομερής χωροστάθμιση πριν και μετά από το σεισμό.

Αποτελέσματα των σεισμών στις τεχνικές κατασκευές

Τα αποτελέσματα των σεισμών στα κτήρια και στις τεχνικές κατασκευές γενικότερα παρουσιάζουν ιδιαίτερο επιστημονικό αλλά και κοινωνικό ενδιαφέρον, εφόσον οι σεισμικές βλάβες μπορούν να προκαλέσουν το θάνατο και τον τραυματισμό ανθρώπων, καθώς και μεγάλες υλικές ζημιές. Σε ορισμένες περιπτώσεις σεισμών, εκτός από τις υλικές βλάβες, τα θύματα έφθασαν τις εκατοντάδες χιλιάδες. Από τους σεισμούς του ελληνικού χώρου που έγιναν κατά τους τελευταίους δύο αιώνες, ο σεισμός της Χίου, ο οποίος έγινε την 3^η Απριλίου 1881, είχε τα περισσότερα θύματα. Οι νεκροί έφθασαν τους 3.550 και οι βαριά τραυματισμένοι τους 7.000.

Υπολογίζεται ότι κατά μέσο όρο ο ετήσιος αριθμός των θυμάτων σε ολόκληρη τη Γη φθάνει τις 10.000.

Η Τεχνική Σεισμολογία και η Σεισμική Μηχανική είναι οι κλάδοι της επιστήμης που έχουν άμεση σχέση με τα αποτελέσματα των σεισμών στις τεχνικές κατασκευές και μελετούνται κυρίως από μηχανικούς. Από σεισμολογική άποψη, θα μπορούσαμε να διακρίνουμε τις σεισμικές βλάβες σε άμεσες και έμμεσες.

Οι άμεσες σεισμικές βλάβες οφείλονται στη διάδοση των σεισμικών κυμάτων από το έδαφος στα θεμέλια, στους τοίχους και στη στέγη των κτιρίων.

Η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης είναι μικρότερη της οριζόντιας με αποτέλεσμα να προκαλεί μικρότερες βλάβες από τη δεύτερη. Ένας από τους παράγοντες που μειώνει την επίδραση της κατακόρυφης συνιστώσας είναι η αντίδραση του βάρους της κατασκευής, ενώ δεν υπάρχει αντίστοιχη δύναμη που να αντιδρά στο αποτέλεσμα της οριζόντιας συνιστώσας της σεισμικής κίνησης. Άμεση συνέπεια της δράσης της κατακόρυφης συνιστώσας είναι η ελάττωση της τριβής και της ολίσθησης αντικειμένων που συγκρατούνται με την τριβή (κεραμίδια, καπνοδόχοι). Ακόμη, η κατακόρυφη συνιστώσα είναι η αιτία γένεσης τάσεων συμπίεσης στα κτήρια, με συνέπεια τη θραύση των πάνω γωνιών αυτών και την πτώση της στέγης.

Από την άλλη πλευρά, η οριζόντια συνιστώσα της σεισμικής κίνησης έχει ως αποτέλεσμα τη διατμητική παραμόρφωση των διαφόρων στοιχείων ενός κτηρίου, με συνέπεια τη δημιουργία τάσεων συμπίεσης και τάσεων εφελκυσμού, που έχουν διευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους. Έτσι πολλές φορές παρατηρούνται στα κτήρια διαρρήξεις που σχηματίζουν ορθές γωνίες μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα της οριζόντιας συνιστώσας της σεισμικής κίνησης εξαρτώνται από τη διεύθυνση της κίνησης αυτής σε σχέση με τον προσανατολισμό της κατασκευής.

Τα άμεσα αποτελέσματα των σεισμών στα κτήρια θεωρούνταν παλιότερα ότι εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τη σεισμική επιτάχυνση. Έτσι, οι συνηθισμένες οικοδομές κατασκευάζονταν έτσι ώστε να αντέχουν σε σεισμικές δονήσεις που αντιστοιχούν σε επιταχύνσεις μέχρι ορισμένη τιμή. Παρόλα αυτά, το αποτέλεσμα της σεισμικής κίνησης δεν εξαρτάται μόνο από τη σεισμική επιτάχυνση, ακόμη κι αν η κίνηση αυτή μπορεί να θεωρηθεί απλή αρμονική. Για να καθοριστούν με ακρίβεια τα αποτελέσματα μιας σεισμικής δόνησης, χρειάζεται και η γνώση της διάρκειας της κίνησης και της συχνότητας των κυμάτων που την αποτελούν.

Οι έμμεσες σεισμικές βλάβες προκαλούνται κυρίως από πυρκαγιές που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια των μεγάλων σεισμών. Η δημιουργία πυρκαγιών οφείλεται σε εστίες που υπάρχουν πριν από τους σεισμούς, καθώς και στη γένεση ηλεκτρικών βραχυκυκλωμάτων ή ακόμη και σε διάρρηξη αγωγών. Σε ορισμένες

περιπτώσεις, οι καταστροφές από πυρκαγιά είναι μεγαλύτερες των άμεσων καταστροφών που προκαλούνται από τους σεισμούς. Έχουν καταγραφεί περιπτώσεις όπου λόγω πυρκαγιών έχουν δημιουργηθεί ανεμοστρόβιλοι που προκάλεσαν σημαντικές καταστροφές.

Στην Ελλάδα, έχουν καταγραφεί πολλές περιπτώσεις σεισμών, που είχαν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία πυρκαγιών, οι οποίες επέφεραν σημαντικές καταστροφές. Η πυρκαγιά π.χ. που προκλήθηκε από το σεισμό της 12^{ης} Αυγούστου 1953, κατάστρεψε σχεδόν ολόκληρη την πόλη της Ζακύνθου. Μεταξύ των άλλων καταστροφών ήταν και η βιβλιοθήκη της Ζακύνθου, που περιείχε πλούσιο ανέκδοτο αρχαιακό υλικό.

Αποτελέσματα των σεισμών στο νερό της ξηράς

Άμεσες και έμμεσες είναι οι μεταβολές που προκαλούν οι μεγάλες σεισμικές δονήσεις στα νερά της ξηράς. Άμεσες μεταβολές είναι οι διάφορες ταλαντώσεις του επιφανειακού νερού, που οφείλονται στη διέλευση των σεισμικών κυμάτων από αυτό, ενώ οι έμμεσες μεταβολές οφείλονται σε διαταράξεις του επιφανειακού ή εδαφικού νερού λόγω παραμορφώσεων ή μεταθέσεων των γήινων πετρωμάτων που βρίσκονται κοντά στο νερό.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, διαδίδονται στην επιφάνεια του νερού που βρίσκεται σε κλειστούς ή σχεδόν κλειστούς χώρους (λίμνες, λιμάνια, χαντάκια, ποτάμια, κανάλια, κλπ.), στάσιμα κύματα μεγάλης περιόδου τα οποία θέτουν το νερό σε ελεύθερη ταλάντωση. Τα κύματα αυτά λέγονται διεθνώς *seiches* και μπορούν να διεγερθούν από σεισμούς, ανέμους, ρεύματα, παλίρροιας, κλπ.

Όπως έχει αναφερθεί, ένα από τα πιο συνηθισμένα αποτελέσματα των σεισμών είναι οι εδαφικές διαρρήξεις και οι διαρρήξεις πετρωμάτων. Το επιφανειακό νερό έχει την ικανότητα να απομακρύνεται δια μέσου των διαρρήξεων, με αποτέλεσμα την αποξήρανση τελμάτων, λιμνών και ποταμών ή στην κατολίσθηση γαιών και με απώτερη συνέπεια την απόφραξη ποταμών και τη δημιουργία ελών, λιμνών, πλημμυρών, κλπ.

Το σημαντικότερο έμμεσο αποτέλεσμα των σεισμών στα εδαφικά ύδατα είναι η μεταβολή της παροχής πηγών. Σε πολλές περιπτώσεις, επέρχεται πλήρης στέρηση πηγών και σε άλλες η δημιουργία νέων πηγών. Σε ορισμένες περιπτώσεις σχηματίζονται πίδακες, που μπορούν να παρασύρουν άμμο ή ιλύ, οπότε σχηματίζονται αμμώδεις κώνοι, καλύμματα, κλπ.

Αποτελέσματα των σεισμών στη θάλασσα

Το θαλάσσιο νερό μπορεί να υποστεί δύο ειδών διαταράξεις από τους σεισμούς. Αυτού του είδους οι διαταράξεις είναι είτε θαλάσσιοι σεισμοί είτε θαλάσσια κύματα βαρύτητας.

α) **Θαλάσσιοι σεισμοί.** Πρόκειται για δονήσεις μικρής περιόδου που οφείλονται στη διάδοση επιμήκων κυμάτων μέσα στο θαλάσσιο νερό. Τα επιμήκη αυτά κύματα οφείλονται συνήθως σε υποθαλάσσιους σεισμούς, όμως έχουν παρατηρηθεί και θαλάσσιοι σεισμοί που συνοδεύονται από κατακόρυφη αναπήδηση και θόλωση του θαλασσίου νερού, ανύψωση της θερμοκρασίας τους και, όχι σπάνια, από ηφαιστειακή έκχυση λάβας. Σε αυτή την περίπτωση, οι θαλάσσιοι σεισμοί οφείλονται σε υποθαλάσσιες ηφαιστειακές εκρήξεις.

Τα επιμήκη κύματα όταν προσπίπτουν στον πυθμένα, διαθλώνται με αποτέλεσμα να αποκλίνουν από την κατακόρυφη, αφού η ταχύτητά τους στο νερό είναι πολύ μικρότερη από ότι είναι στο πέτρωμα κάτω από τη θάλασσα. Έτσι, η ώθηση που δημιουργούν οι θαλάσσιοι σεισμοί, όταν γίνονται αντιληπτοί από πλοία, προέρχεται από κάτω.

β) **Θαλάσσια κύματα βαρύτητας (tsunamis).** Πρόκειται για επιφανειακά θαλάσσια κύματα, με σχετικά μεγάλο πλάτος. Κατά τη διάδοσή τους μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες νερού από το χώρο γένεσης αυτών σε άλλους χώρους.

Τα μεγάλα κύματα βαρύτητας, οφείλονται συνήθως σε σεισμούς που έχουν τα επίκεντρό τους στις πλευρές ωκεάνιων τάφρων που βρίσκονται προς το ηπειρωτικό μέρος. Όμως, υπάρχουν και περιπτώσεις κυμάτων βαρύτητας που τα επίκεντρα των σεισμών βρίσκονται στην ξηρά. Ακόμη, σε ορισμένες περιπτώσεις τα αίτια γένεσης κυμάτων βαρύτητας δεν είναι σεισμοί, αλλά κατολισθήσεις που δημιουργούνται από έντονες βροχοπτώσεις.

Τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας δεν είναι επικίνδυνα όταν εκδηλώνονται σε ανοιχτή θάλασσα, προκαλούν, όμως, μεγάλες καταστροφές σε πλοία και λιμάνια όταν προσβάλλουν παράκτιες περιοχές. Τα μεγαλύτερα θαλάσσια κύματα βαρύτητας προκαλούν σημαντικές καταστροφές και γίνονται αισθητά σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. Οι ελληνικές ακτές έχουν προσβληθεί πολλές φορές από tsunamis. Ένα πολύ σημαντικό και σχετικά πρόσφατο τέτοιο κύμα, δημιουργήθηκε κατά το σεισμό της Αμοργού ($M = 7.5$) την 9^η Ιουλίου 1956. Το ύψος του κύματος εκείνου έφθασε τα 20 – 25 m και αναφέρθηκε ότι έγινε αισθητό μέχρι την Παλαιστίνη.

Επίδραση των σεισμών στους ανθρώπους

Τα μακροσεισμικά αποτελέσματα των σεισμών, εκτός από την επίδραση που έχουν στο έδαφος και στις κατασκευές, έχουν άμεσες και έμμεσες συνέπειες στον άνθρωπο. Για να γίνει μια σεισμική δόνηση αντιληπτή από τους ανθρώπους, πρέπει να έχει τιμή επιτάχυνσης μεγαλύτερη από 1 gal ($\sim 1 \text{ cm/sec}^2$).

Οι σεισμοί προκαλούν στους ανθρώπους φόβο και γι' αυτό όταν αυτοί βρίσκονται μέσα στα σπίτια βγαίνουν αμέσως έξω τρέχοντας για να σωθούν, γεγονός που δεν ενδείκνυται κατά τη διάρκεια της ισχυρής σεισμικής δόνησης. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου ο φόβος και η νευρική υπερδιέγερση διαρκεί για αρκετό χρονικό διάστημα μετά το σεισμό. Οι οριζόντιες δονήσεις γίνονται περισσότερο αντιληπτές από τον άνθρωπο σε σχέση με τις κατακόρυφες, ιδιαίτερα όταν αυτοί είναι ξαπλωμένοι.

Οι σεισμικές δονήσεις μπορούν να γίνονται αισθητές για λίγα δευτερόλεπτα, σε ορισμένες περιπτώσεις όμως η διάρκειά τους μπορεί να φτάσει τα λίγα λεπτά. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η μεγάλη διάρκεια οφείλεται στο γεγονός ότι ο παρατηρητής βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από την εστία του σεισμού, με αποτέλεσμα να αντιλαμβάνεται σταδιακά την άφιξη των διαφόρων ειδών των σεισμικών κυμάτων.

Οι σεισμικές βοές αποτελούν ένα από τα πιο συνήθη φαινόμενα που συνοδεύουν τη δόνηση. Οι ήχοι αυτοί, οφείλονται στη μετατροπή της ενέργειας των σεισμικών κυμάτων σε βοή, κατά την πρόσπτωσή τους στην επιφάνεια της γης. Μετά την πρόσπτωση, οι διαθλώμενες ακτίνες ακολουθούν κατακόρυφη διεύθυνση με αποτέλεσμα ο ήχος να φτάνει στους ανθρώπους από κάτω προς τα πάνω. Οι σεισμικές βοές φτάνουν στην επικεντρική περιοχή ταυτόχρονα με τον σεισμό, ενώ σε ορισμένη απόσταση από το επίκεντρο προηγούνται του σεισμού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι βοές παράγονται από τα επιμήκη κύματα, ενώ οι άνθρωποι μπορούν να αντιληφθούν τα εγκάρσια κύματα που έπονται των επιμήκων. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου οι βοές ακούγονται μετά από το σεισμό.

Επίδραση των σεισμών στην ατμόσφαιρα

Συχνό επακόλουθο των μεγάλων σεισμών, σε κατοικημένες κυρίως περιοχές είναι τα φωτεινά φαινόμενα. Αυτά οφείλονται σε βραχυκυκλώματα, σε εκδήλωση πυρκαγιών ή ακόμα και σε νέφη σκόνης, δεν έχουν, όμως, άμεση σχέση με τους σεισμούς.

Ένα σχετικά πιο ασύνηθες φαινόμενο είναι η παραγωγή λάμψεως λόγω τριβής των πετρωμάτων, κατά την πλευρική κίνηση των δύο τεμαχίων των. Δεν είναι όμως απίθανο, σε ορισμένες περιπτώσεις σεισμών της ξηράς, να παράγονται λάμψεις λόγω τριβής μεταξύ των πετρωμάτων κατά τη σχετική κίνηση των πλευρών των ρηγμάτων και σε ορισμένες περιπτώσεις υποθαλάσσιων σεισμών να παράγονται φωτεινά φαινόμενα λόγω της δράσης υποθαλάσσιων ηφαιστείων. Υπάρχει επίσης πιθανότητα ορισμένα φωτεινά φαινόμενα να οφείλονται στη δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου που σχετίζεται με το σεισμό.

Επίδραση των σεισμών στα ζώα

Οι σεισμοί προκαλούν φόβο στα κατοικίδια ζώα. Αυτά ανησυχούν και φωνάζουν κατά τη γένεση των σεισμών και προσπαθούν να φύγουν από τα σπίτια. Παρόμοια αντιδρούν και τα άγρια ζώα καθώς και τα πουλιά, οι μέλισσες κλπ., που βγαίνουν από τις φωλιές τους όταν καταλάβουν σεισμό και απομακρύνονται.

Αναφέρθηκε πολλές φορές ότι ορισμένα ζώα, όπως τα άλογα, τα σκυλιά κλπ., δείχνουν ασυνήθιστες αντιδράσεις ορισμένα λεπτά και μερικές ώρες πριν από τους σεισμούς. Φαίνεται ότι πράγματι ορισμένα ζώα δείχνουν τέτοια συμπεριφορά πριν από τους σεισμούς. Είναι πιθανό ότι ορισμένα πρόδρομα των σεισμών φαινόμενα επηρεάζουν τα ζώα αυτά. Είναι δυνατό π.χ. ορισμένες πολύ μικρές δονήσεις, που προηγούνται του κυρίου σεισμού, να μη γίνονται αντιληπτές από τους ανθρώπους αλλά να γίνονται αισθητές από τα ζώα, επειδή αυτά έχουν πολύ ευαίσθητα αισθητήρια όργανα.

Οι θαλάσσιοι σεισμοί είναι πολλές φορές τόσο δυνατοί, ώστε προκαλούν τη διάρρηξη της νυκτικής κύστης των ψαριών. Συχνά οι θαλάσσιοι σεισμοί προκαλούν το θάνατο μεγάλου αριθμού ψαριών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι σεισμοί αυτοί προκαλούν τη μετανάστευση των ψαριών. Αυτό οφείλεται στον προκαλούμενο στα ψάρια φόβο και στις μεταβολές που προκαλούν οι σεισμοί στους τόπους βοσκής των ψαριών.

Συλλογή μακροσεισμικών δεδομένων

Η συλλογή μακροσεισμικών δεδομένων για ένα σεισμό πραγματοποιείται με τις εξής μεθόδους:

- Ερωτηματολόγια/Διαδίκτυο
- Επιτόπιες έρευνες
- Συνδυασμός των παραπάνω

Οι μέθοδοι αυτές εφαρμόζονται υπό ορισμένες προϋποθέσεις:

- ο Ο σεισμός να έχει γίνει αισθητός από ορισμένο αριθμό ατόμων
- ο Ο σεισμός να έχει γίνει αισθητός και να έχει προκαλέσει ανησυχία στους κατοίκους μίας ευρείας περιοχής
- ο Ο σεισμός να έχει γίνει αισθητός και να έχει προκαλέσει βλάβες
- ο Ο σεισμός να έχει γίνει αισθητός και να έχει προκαλέσει καταστροφές σε μία ευρεία περιοχή

Στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, αλλά και στις Η.Π.Α., Κίνα και Ιαπωνία, συνηθίζεται η αποστολή ερωτηματολογίων για εύρος εντάσεων $I=2-6$ (βλ. ενότητα «μακροσεισμική ένταση»), ενώ για εντάσεις $I \geq 7$ οι επιτόπιες έρευνες είναι απαραίτητες. Η συλλογή μακροσεισμικών δεδομένων από το διαδίκτυο εξαρτάται απόλυτα από τους χρήστες και μέχρι τώρα δεν έχουν προκύψει συγκεκριμένα αποτελέσματα για την κατώτερη τιμή έντασης, πάνω από την οποία θα παρουσιαστούν μακροσεισμικές παρατηρήσεις, αλλά και για τον αριθμό των ατόμων που έστειλαν τις παρατηρήσεις τους. Σε κάθε περίπτωση η συμπλήρωση ερωτηματολογίου στο διαδίκτυο έχει σχέση με την περιοχή, στην οποία έγινε ο σεισμός και το γενικότερο αριθμό χρηστών του διαδικτύου στην περιοχή αυτή.

Όλες οι μέθοδοι συλλογής που αναφέρθηκαν απαιτούν μία κοινή συναίνεση, την ταχεία αντίδραση στη συμπλήρωση ερωτηματολογίων. Οι επιτόπιες έρευνες, αν είναι δυνατόν, πρέπει να διενεργούνται στις αμέσως επόμενες ώρες ή ημέρες μετά την εκδήλωση του σεισμού. Η προϋπόθεση αυτή στηρίζεται στην παρατήρηση ότι η ανθρώπινη μνήμη αποδίδει καλύτερα τις λεπτομέρειες του γεγονότος (στην προκειμένη περίπτωση αισθητότητα του σεισμού) σε πολύ κοντινό χρονικό διάστημα από το γεγονός και εξασθενεί με γρήγορο ρυθμό, που οφείλεται είτε στην έλευση μετασειμών, είτε ακόμη και στο ότι η ανάμνηση ενός σεισμού δεν είναι συνήθως ευχάριστη. Επίσης, οι επιτόπιες παρατηρήσεις των βλαβών θα πρέπει να γίνουν πριν

από την γρήγορη αποκατάστασή τους, που είναι η επιθυμία των πολιτών και του κράτους.

Τέλος, υπάρχουν και οι μακροσεισμικές παρατηρήσεις που προκύπτουν από γραπτές πηγές, οι οποίες αναφέρονται σε ιστορικούς σεισμούς.

Οι πηγές αυτές μπορεί να είναι ο τύπος, αρχαικό υλικό, ανέκδοτο υλικό, ιστορικές πηγές, επιστημονικές εκθέσεις της εποχής, κλπ. και αφορούν σε σεισμούς που έχουν γίνει στο παρελθόν, κοντινό ή απώτερο. Για παράδειγμα, ένας σεισμός που έγινε πριν από 20 χρόνια θα μελετηθεί με βάση τις μακροσεισμικές παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν για αυτόν την εποχή που έγινε, και όχι με βάση τις αναμήσεις των μαρτύρων σήμερα.

Σε κάθε περίπτωση, η μελέτη σεισμών του παρελθόντος απαιτεί τη συνεργασία του σεισμολόγου με επαγγελματία ιστορικό, που να έχει ειδικευθεί στην εποχή του σεισμού.

Ιστορία της συλλογής μακροσεισμικών δεδομένων στην Ελλάδα

Η διαδικασία συλλογής μακροσεισμικών στοιχείων που ακολουθείται στην Ελλάδα έχει μακρά ιστορία.

Ένα οργανωμένο και πυκνό δίκτυο παρατηρητών σε ολόκληρο τον (τότε) Ελληνικό χώρο είχε οργανώσει από το 1858 ο πρώτος διευθυντής του Αστεροσκοπείου Αθηνών Julius Schmidt (1825-1884) και το αποτελούσαν μορφωμένα άτομα της τοπικής κοινωνίας (γιατροί, δάσκαλοι, κλπ.). Οι μακροσεισμικές παρατηρήσεις του Schmidt δημοσιεύθηκαν στη μελέτη του «Studien über Erdbeben» (μελέτη σεισμών), το 1879.

Το 1899, με πρωτοβουλία του Δημητρίου Αιγινήτη (1862-1934) δημοσιεύθηκε ο δεύτερος τόμος του δελτίου «Annales de l' Observatoire National d' Athènes», που περιλάμβανε, μεταξύ άλλων, και τις μακροσεισμικές παρατηρήσεις της περιόδου 1893-1898, οι οποίες συλλέγονταν συστηματικά από το δίκτυο παρατηρητών.

Οι δημοσιεύσεις του δελτίου αυτού συνεχίστηκαν μέχρι το 1928, οπότε εκδόθηκε ο δέκατος τόμος. Το δελτίο, πέρα από τις μακροσεισμικές παρατηρήσεις της περιόδου 1893-1926 και τις αντίστοιχες εντάσεις στην κλίμακα RF (Rossi-Forel), περιείχε και εξαιρετικά χρήσιμες μικροσεισμικές μετρήσεις (χρόνους άφιξης, πλάτη κυμάτων, κλπ.) που προέκυψαν από αναλύσεις των σειсмоγραμμάτων σεισμών της περιόδου 1911-1926. Αργότερα, το 1943, εκδόθηκε από τον Ν. Κρητικό ένας ακόμη τόμος του δελτίου που περιλαμβάνει μόνο τις μακροσεισμικές παρατηρήσεις της περιόδου

1931-1936. Από το 1912 που η Κρήτη ενώθηκε με την Ελλάδα, έχουμε και μακροσεισμικές παρατηρήσεις σεισμών της Κρήτης.

Μεσολαβεί το διάστημα 1937-1949, για το οποίο δεν έχουμε συστηματική συλλογή μακροσεισμικών παρατηρήσεων από το Αστεροσκοπείο Αθηνών. Από το 1950, ο διευθυντής Άγγελος Γαλανόπουλος άρχισε να δημοσιεύει μακροσεισμικές εντάσεις στην κλίμακα MM (Modified Mercalli) στο ετήσιο Δελτίο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΓΙ-ΕΑΑ), το οποίο έγινε μηνιαίο από το 1968.

Κατά την τελευταία 15ετία το Δελτίο του ΓΙ-ΕΑΑ εκδίδεται σε ηλεκτρονική μορφή και οι μακροσεισμικές εντάσεις δημοσιεύονται και στο δελτίο (ηλεκτρονικό και έντυπο) του ISC (International Seismological Centre).

Σε κάθε χώρα υπάρχει συνήθως ένας φορέας υπεύθυνος για τη συλλογή μακροσεισμικών δεδομένων και την εκτίμηση των μακροσεισμικών εντάσεων των σεισμών. Παράλληλα, όμως, υπάρχουν διάφορες ερευνητικές ομάδες που συλλέγουν αντίστοιχα στοιχεία για ερευνητικούς, κυρίως σκοπούς.

Στην Ελλάδα, ο φορέας αυτός είναι το ΓΙ-ΕΑΑ. Μετά από μεγάλους, συνήθως, σεισμούς, αποστέλλονται οι καρτέλες με τα ερωτηματολόγια στους υπεύθυνους των κοινοτήτων, οι οποίες έχουν πληγεί, ή απλώς αισθάνθηκαν το σεισμό. Οι απαντήσεις αξιολογούνται και γίνεται εκτίμηση της μακροσεισμικής έντασης σε κάθε τόπο. Τα στοιχεία αυτά δημοσιεύονται στο δελτίο του ΓΙ-ΕΑΑ, μαζί με τα μικροσεισμικά δεδομένα των σεισμών.

Στην Ιαπωνία ο αντίστοιχος φορέας είναι η JMA (Japan Meteorological Agency), στις Η.Π.Α. η USGS (United States Geological Survey), στη Βρετανία η BGS (British Geological Survey), στην Ιταλία το INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), κλπ.

Μακροσεισμικά ερωτηματολόγια

Τα μακροσεισμικά ερωτηματολόγια είναι συνήθως δύο ειδών:

- A. ατομικό ερωτηματολόγιο (τυχαίες απαντήσεις)
- B. ερωτηματολόγιο εκπροσώπου κοινότητας/ομάδας (έμπειρος παρατηρητής)

Αντίστοιχα, υπάρχουν 4 κατηγορίες ατόμων που συμπληρώνουν ερωτηματολόγια:

A. τυχαία άτομα: διανέμονται ερωτηματολόγια στον πληθυσμό και συλλέγονται οι απαντήσεις όσων επιθυμούν να τα συμπληρώσουν. Η μέθοδος αυτή έχει εξελιχθεί πολύ μέσω του διαδικτύου.

B. τυχαία επιλεγμένα άτομα: βασίζεται σε μεθοδολογίες που ακολουθούν οι κοινωνικές επιστήμες και μοιάζει με τα στατιστικά δείγματα πληθυσμού που επιλέγονται σε εκλογικές διαδικασίες, κλπ. Είναι ο βέλτιστος τρόπος για στατιστικά αποτελέσματα, αλλά δεν είναι εύκολο να οργανωθεί αμέσως μετά από ένα σεισμό.

Γ. εντεταλμένος δημόσιος υπάλληλος: είναι εκπαιδευμένος για τη συμπλήρωση ερωτηματολογίων, αλλά η αξιοπιστία των απαντήσεων είναι συζητήσιμη.

Δ. τοπικοί εθελοντές: είναι εκπαιδευμένοι πολίτες με ενθουσιασμό για την προσφορά τους, αλλά η οργάνωση ενός τέτοιου δικτύου είναι δύσκολη.

Οι τύποι ερωτηματολογίων για τα αποτελέσματα των σεισμών είναι:

A. Ερωτηματολόγια ελεύθερης περιγραφής απαντήσεων. Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι δεν χάνονται πολύτιμες επιπλέον πληροφορίες, ενώ τα μειονεκτήματά τους είναι ότι περιέχουν εκτενείς περιγραφές, άχρηστες πληροφορίες, ενώ η ψηφιακή τους επεξεργασία είναι χρονοβόρα.

B. Ερωτηματολόγια με απαντήσεις πολλαπλής επιλογής. Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι η επεξεργασία τους είναι εύκολη, ενώ τα μειονεκτήματά τους είναι ότι υπάρχει κίνδυνος να χαθούν ορισμένες επιπλέον πληροφορίες.

Τέλος, το ερωτηματολόγιο πρέπει να είναι σύντομο και συνεκτικό. Στη συνέχεια παρατίθεται παράδειγμα ερωτηματολογίου που υποβάλλεται στο διαδίκτυο.

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΣΕΙΣΜΟΥ

1. ΠΟΙΟΣ ΣΕΙΣΜΟΣ ΗΤΑΝ

Σε ποιά σεισμό αναφέρεστε; (π.χ. σεισμός της Σκύρου)

Ημερομηνία και ώρα του σεισμού

Έτος Μήνας Ημέρα

Ώρα Λεπτό

2. ΠΟΥ ΕΙΣΑΣΤΕ ΤΗΝ ΩΡΑ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ

Σε ποιά διεύθυνση ή θέση βρισκόσαστε τη στιγμή του σεισμού;

Ταχ. Κώδικας

Γεωγραφικές Συντεταγμένες Ανατολικά Βόρεια

Τί κάνατε την ώρα του σεισμού;

Είσαστε μέσα ή έξω από κτήριο; Μέσα Έξω

A. Αν είσαστε μέσα σε κτήριο, σε ποιον όροφο είσαστε;

Αν είσαστε μέσα σε κτήριο, περιγράψτε το (π.χ. σχολείο, πολυκατοικία, διάδρομο, πέτρινο, παλιό, κλπ.)

B. Αν είσαστε έξω από κτήριο, που είσαστε;

3. Η ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΟΝΗΣΗ

Αισθανθήκατε δονήσεις; Ναι Όχι Δεν ξέρω

Αν ναι, παρακαλούμε περιγράψτε:

Ακούσατε θόρυβο; Ναι Όχι Δεν ξέρω

Αν ναι, παρακαλούμε περιγράψτε:

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΟΥΣ ΑΝΘΡΩΠΟΥΣ

Οι άλλοι γύρω σας τί αισθάνθηκαν ή άκουσαν;

Ο σεισμός σας ξύπνησε; Ναι Όχι Δεν κοιμόμουν

Σε κινούμενο όχημα

Φοβηθήκατε; Ναι Όχι Δεν ξέρω

Φοβήθηκαν άλλοι κοντά σας; Ναι Όχι Δεν ξέρω

Τρέξατε έξω; Ναι Όχι

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ

Πόρτες ή παράθυρα έτριξαν; Ναι Όχι Δεν ξέρω

Αν ναι, παρακαλούμε περιγράψτε:

Ακούσατε άλλο τρίξιμο; Ναι Όχι Δεν ξέρω

Αν ναι, παρακαλούμε περιγράψτε:

Αιωρήθηκαν αντικείμενα; Ναι Όχι Δεν ξέρω

Έπεσαν ή ανατράπηκαν αντικείμενα; Ναι Όχι Δεν ξέρω

Αν ναι, παρακαλούμε περιγράψτε:

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΑ ΚΤΗΡΙΑ

Είδατε βλάβες; Ναι Όχι Δεν ξέρω

Αν ναι, παρακαλούμε περιγράψτε

Όνομα

(προαιρετικά)

Email

Παρακαλούμε σημειώστε άλλες παρατηρήσεις
ή λεπτομέρειες σχετικά με τις ερωτήσεις

Αποστολή

Ακύρωση

Μακροσεισμικές έρευνες υπαίθρου

Οι ομάδες που θα διενεργήσουν τις επιτόπιες μακροσεισμικές έρευνες (ομάδες υπαίθρου) πρέπει να οργανώνονται στις πρώτες ώρες μετά από σεισμό μεγάλης έντασης (κύριο ή προσεισμό) και να αποτελούνται από τουλάχιστον 3-6 εκαπαιδευμένα άτομα. Οι ομάδες αυτές περιλαμβάνουν άτομα σε επιφυλακή και μπορούν να συμπληρώνονται από εκπαιδευόμενους. Η συλλογή μακροσεισμικών δεδομένων αφορά σε:

- Καταγραφή τρωτότητας
- Καταγραφή βαθμού βλάβης

Η σύγχρονη παρουσία ομάδων σε όλη την πλειόσειστη περιοχή είναι προτιμητέα, υπό την προϋπόθεση ότι γίνονται συναντήσεις και ανταλλαγή πληροφοριών σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Μακροσεισμική ένταση

Με τον όρο μακροσεισμική ένταση, εννοούμε ένα μέτρο αξιολόγησης της σεισμικής δόνησης βάσει των αποτελεσμάτων του σεισμού σε ένα τόπο. Η ένταση του σεισμού μπορεί να συγκριθεί με την ένταση του ανέμου στην κλίμακα Μποφόρ και δεν αποτελεί φυσική παράμετρο, παρόλο που συνδέεται με τις φυσικές παραμέτρους της σεισμικής κίνησης.

Ο καθορισμός ενός μόνο φυσικού μεγέθους ως μέτρου αξιολόγησης των σεισμικών βλαβών είναι αδύνατος. Αυτό οφείλεται όχι μόνο στο ότι οι σεισμικές βλάβες εξαρτώνται από διάφορα στοιχεία της σεισμικής κίνησης (επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, περίοδο, διάρκεια) και της κατασκευής (ιδιοπερίοδος, συντελεστής απόσβεσης, πλαστιμότητα), αλλά και στο ότι οι βλάβες αυτές εξαρτώνται από την ιστορία της εδαφικής κίνησης στα θεμέλια του κτιρίου κατά την διάρκεια του σεισμού.

Για την όσο το δυνατόν ακριβέστερη εκτίμηση των εδαφικών κινήσεων απαιτείται να λάβουμε υπ' όψη όλα τα υπάρχοντα σεισμολογικά δεδομένα. Συνήθως, όμως, σε πολύ λίγες περιπτώσεις επαρκούν οι ενόργανες καταγραφές (επιταχυνσιογραφήματα) και η αξιοποίηση μακροσεισμικών παρατηρήσεων, δηλ. των επιπτώσεων των σεισμών στο έδαφος, στον άνθρωπο και στις τεχνικές κατασκευές, είναι πρώτης προτεραιότητας και χρήσιμη πρακτικά.

Οι μακροσεισμικές αυτές παρατηρήσεις, συνιστούν μια από τις παλαιότερες τεχνικές για τη μελέτη ενός σεισμού. Άλλωστε, το γεγονός ότι η κατανομή των εντάσεων ενός σεισμού αντικατοπτρίζει τη συνολική έκταση των βλαβών και της αισθητότητάς του, δείχνει ότι η μακροσεισμική ένταση σε αρκετές περιπτώσεις παρέχει πολύ σημαντικά στοιχεία και πληρέστερες πληροφορίες για μια ευρύτερη περιοχή, απ' ότι οι ενόργανες καταγραφές οι οποίες περιορίζονται μόνο για συγκεκριμένα σημεία όπου είναι τοποθετημένα τα αντίστοιχα σεισμολογικά όργανα (π.χ. επιταχυνσιογράφοι).

Η σεισμική ένταση λοιπόν, αποτελεί έναν έμμεσο τρόπο εκτίμησης των σεισμικών εδαφικών κινήσεων σε μια θέση, από τη μελέτη των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων του σεισμού. **Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιείται μια εμπειρική ποσότητα κωδικοποίησης των αποτελεσμάτων αυτών, που είναι η ένταση (I) των αποτελεσμάτων του σεισμού σε συγκεκριμένο τόπο.** Η κωδικοποίηση αυτή είναι χρήσιμη για να αποδώσει με ένα αριθμό λεπτομερείς περιγραφές αποτελεσμάτων που μπορεί να μοιάζουν από σεισμό σε σεισμό. Έτσι, αντί της περιγραφής «ο σεισμός έγινε αισθητός από τους περισσότερους μέσα στα κτήρια σε ένα τόπο και ότι τα πιάτα και τα ποτήρια ταρακουνήθηκαν», μπορεί κανείς να αναφέρει απλώς

«ένταση 4» και να εννοούνται όλες ή μερικές από τις παραπάνω περιγραφές. Εδώ φαίνεται ότι -από τον ορισμό της έντασης- τίθεται ο εξής περιορισμός:

- Η ένταση 4.5 ή 4.2 ή $IV^{1/2}$ δεν έχει φυσική έννοια, παρά μόνο για υπολογιστικούς σκοπούς, και τέλος πάντων είναι προτιμότερη η χρήση ενός εύρους εντάσεων (π.χ. 4-5 ή 4/5, όταν θέλουμε να περιγράψουμε αποτελέσματα που είναι λίγο περισσότερα ή εντονότερα από αυτά που περιγράφονται στην ένταση 4 και λιγότερα ή ασθενέστερα από αυτά που περιγράφονται στην ένταση 5).

Ο αριθμός που αντιπροσωπεύει την ένταση ήταν στην αρχή αραβικός (π.χ. I=6), αλλά στη δεκαετία του 1960, όταν ο Charles Richter εισήγαγε την έννοια του μεγέθους του σεισμού, πρότεινε να εκφράζεται η ένταση με λατινικούς αριθμούς (π.χ. I=VI), έτσι ώστε να μη συγχέεται με το μέγεθος. Σήμερα η χρήση ή όχι λατινικών αριθμών είναι θέμα προτίμησης, και οι περισσότεροι σεισμολόγοι προτιμούν τους αραβικούς αριθμούς γιατί μπορούν να τους χειριστούν καλύτερα με βάσεις δεδομένων σε ΗΥ.

Είναι φανερό ότι η μακροσεισμική ένταση σε μια θέση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και δεν καθορίζεται μονοσήμαντα από το σεισμικό μέγεθος. Οι κυριότεροι από αυτούς τους παράγοντες είναι α) το σεισμικό μέγεθος, β) τα χαρακτηριστικά της σεισμικής εστίας (μηχανισμός γένεσης, τρόπος διάρρηξης, βάθος), γ) οι τοπικές εδαφικές συνθήκες στον τόπο παρατήρησης, δ) ο υδροφόρος ορίζοντας, ε) ο τύπος κατασκευής και στ) η ιδιοπερίοδος ταλάντωσης των κτιρίων.

Μια βασική διαφορά μεταξύ μακροσεισμικής έντασης και σεισμικού μεγέθους είναι ότι, για συγκεκριμένο σεισμό το σεισμικό μέγεθος είναι το αυτό ανεξαρτήτως τοποθεσίας πράγμα το οποίο δε συμβαίνει για την ένταση η οποία είναι δυνατόν να λαμβάνει διαφορετική τιμή από θέση σε θέση, δηλαδή ο κάθε σεισμός έχει ένα μέγεθος, αλλά μπορεί να έχει πολλές εντάσεις.

Ο όρος «μακροσεισμική» αναφέρεται σε ότι σχετίζεται με τα αντιληπτά αποτελέσματα του σεισμού –άμεσα ή έμμεσα- σε αντιδιαστολή με την «μικροσεισμική», που αναφέρεται σε ενόργανες μετρήσεις σεισμών. Η φράση «μακροσεισμικά δεδομένα» μπορεί να σημαίνει μία συλλογή υλικού που περιγράφει ένα σεισμό, και όχι απαραίτητα τις εντάσεις του σεισμού αυτού. Ο όρος «μακροσεισμική» χρησιμοποιείται για τη μελέτη των αποτελεσμάτων αυτών.

Κλίμακες εντάσεων

Η χρήση των κλιμάκων εντάσεων διότι δεν απαιτεί όργανα. Χρήσιμες μετρήσεις για ένα σεισμό μπορούν να γίνουν από ένα παρατηρητή χωρίς εξοπλισμό. Στην περίπτωση αυτή ο παρατηρητής αντικαθιστά τον «αισθητήρα» (π.χ. το σεισμόμετρο). Πολλές τέτοιες κλίμακες έχουν κατά καιρούς προταθεί σε χώρες με υψηλή σεισμικότητα, αφού η μακροσεισμική ένταση ήταν η μόνη σεισμική παράμετρος στη διάθεση των σεισμολόγων μέχρι τις αρχές του εικοστού αιώνα.

Οι κλίμακες εντάσεων αποτελούνται συνήθως από μία σειρά περιγραφών οι οποίες είναι χαρακτηριστικές για αποτελέσματα σεισμών, συνοδεύεται από τον αριθμό που αντιπροσωπεύει την ένταση και είναι συνήθως ταξινομημένες έτσι, ώστε οι αυξανόμενοι αριθμοί να αντιστοιχούν σε αυξανόμενα αποτελέσματα. Σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να έχουν πιο απλοποιημένη μορφή, δηλαδή να κατατάσσουν τις περιγραφές ως π.χ. «χωρίς βλάβες», «με βλάβες», «με βαριές βλάβες».

Η παλαιότερη αναγνωρισμένη χρήση της έντασης έγινε από τον Egen το 1828, παρόλο που απλοϊκές ποσοτικοποιήσεις των βλαβών είχαν γίνει και από τον προηγούμενο αιώνα από τον Sciantarelli το 1783, και λέγεται ότι υπάρχουν και παλαιότερα παραδείγματα από την Ιταλία. Εν τούτοις, μόνο στο τελευταίο τέταρτο του 19ου αιώνα η χρήση της έντασης διαδόθηκε ευρέως.

Η ιστορία των πρώτων κλιμάκων εντάσεων παρουσιάζεται στις μελέτες του Davinson (1900, 1912, 1933), ενώ μία νεότερη είναι του Medvedev (1962). Η πρώτη συστηματική προσπάθεια κατάταξης των σεισμών βάσει των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων τους έγινε από τον Ιταλό Rosi και τον Ελβετό Forel το 1878. Ήταν η πρώτη κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε σε διεθνές επίπεδο (δεκαβάθμια κλίμακα Rossi-Forel ή RF) που παρουσιάστηκε το 1883. Επειδή η κλίμακα αυτή παρουσίασε αρκετά μειονεκτήματα (π.χ. δεν λάμβανε υπ' όψη τις επιπτώσεις επάνω σε υψηλά κτήρια ή σε κινούμενα οχήματα, αγνοούσε τα κατασκευαστικά στοιχεία κ.λ.π.), αναθεωρήθηκε από τον Ιταλό σεισμολόγο Mercalli το 1902 ενώ ο Cancani την επέκτεινε σε 12 βαθμούς και έγινε γνωστή ως κλίμακα Mercalli-Cancani.

Η κλίμακα του Sieberg (1912, 1923) είναι το θεμέλιο όλων των σύγχρονων δωδεκαβάθμιων κλιμάκων. Μία νεότερη έκδοσή της είναι η γνωστή κλίμακα Mercalli-Cancani-Sieberg ή MCS (Sieberg 1932), η οποία χρησιμοποιείται ακόμη στη Νότια Ευρώπη. Η έκδοση της κλίμακας του 1923 μεταφράστηκε στα αγγλικά από τους Wood και Neumann (1931) και ονομάστηκε –αταίριαστα– Τροποποιημένη Κλίμακα Mercalli (κλίμακα MM). Η ίδια κλίμακα τροποποιήθηκε εντελώς από τον Richter (1958), ο οποίος απέφυγε να προσθέσει το όνομά του στη νέα έκδοση, για να μη

γίνεται σύγκριση με την κλίμακα μεγεθών Richter. Αντ' αυτού, η έκδοση του Richter ονομάστηκε "Τροποποιημένη Κλίμακα Mercalli του 1956" (MM56), παρά το γεγονός ότι η σχέση της με τον Mercalli ήταν πια πολύ μακρινή. Τοπικές τροποποιήσεις της κλίμακας MM56 έχουν χρησιμοποιηθεί στην Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία. Πιο πρόσφατες προσπάθειες περαιτέρω βελτίωσής της (όπως π.χ. από τον Brazee (1978)) δεν είχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Στα κράτη της Βαλκανικής χερσονήσου υπήρχε στο παρελθόν ανομοιομορφία ως προς τη χρήση των κλιμάκων εντάσεων. Στην προσπάθεια όμως της UNESCO για τη σύνταξη ενός πλήρους και ομοιογενούς καταλόγου σεισμών των κρατών αυτών, τονίστηκε η ανάγκη της χρήσης μιας ενιαίας κλίμακας που θα είχε την καλύτερη δυνατή εφαρμογή. Έτσι, το 1964 η πρώτη έκδοση της κλίμακας MSK παρουσιάστηκε από τους Medvedev, Sponheuer και Karnik (Sponheuer and Karnik 1964), η οποία από το 1974 υιοθετήθηκε και στην Ελλάδα αντικαθιστώντας την κλίμακα MM η οποία ίσχυε μέχρι τότε. Η νέα αυτή κλίμακα βασιζόταν στην MCS, την MM56 και προηγούμενες μελέτες του Medvedev στη Ρωσία, και ανέπτυξε σε μεγάλο βαθμό την ποσοτική πλευρά, καθιστώντας την κλίμακα ισχυρότερη. Η κλίμακα αυτή χρησιμοποιήθηκε ευρέως στην Ευρώπη, και είχε μικρές τροποποιήσεις στα μέσα της δεκαετίας του 70 και το 1981 (ad hoc ομάδα 1981).

Μία άλλη σημαντική κλίμακα εντάσεων που δεν είχε δώδεκα βαθμούς (εφόσον η Rossi-Forel δεν χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια) ήταν η επταβάθμια κλίμακα της Ιαπωνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (JMA). Μία πρόσφατη τροποποίηση της κλίμακας JMA υποδιαιρεί τους βαθμούς 5 και 6 σε ανώτερο και κατώτερο, και περιγράφει λεπτομερώς το βαθμό 0, καταλήγοντας έτσι σε δωδεκαβάθμια κλίμακα. Οι τροποποιήσεις αυτές κρίθηκαν απαραίτητες μετά το σεισμό του Kobe το 1995, όπου παρατηρήθηκε ότι διαφορετικά είδη και ποσοστά βλαβών συσσωρεύθηκαν στον ίδιο βαθμό έντασης.

Στη Ρωσία χρησιμοποιείτο μέχρι πρόσφατα μια παραλλαγή της κλίμακας MM που είναι γνωστή σαν GEOFIAN (από τα αρχικά Geophysical Institute of the Academy of Sciences). Η κλίμακα αυτή βασίζεται στην ποσοτική εκτίμηση της σεισμικής έντασης (σε mm) ενός εκκρεμούς σεισμομέτρου με ιδιοπερίοδο 0.25s, λογαριθμική ελάττωση 0.5 και στατική μεγέθυνση 1. Μια τροποποιημένη μορφή της GEOFIAN έγινε το 1964 από τους Ρώσους σεισμολόγους Medvedev, Sponheuer και Karnik και χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα στη Ρωσία με το όνομα κλίμακα MSK.

Το 1988 η Ευρωπαϊκή Σεισμολογική Επιτροπή αποφάσισε να ξεκινήσει μια ενδεδειγμένη αναθεώρηση της κλίμακας MSK. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας που ανέλαβε

μία διεθνής ομάδα εργασίας υπό την εποπτεία του Godfried Gruenthal από το Potsdam, δημοσιεύθηκαν σε αρχική μορφή το 1993 και η τελική μορφή κυκλοφόρησε το 1988 (μετά από δοκιμή και βελτιώσεις). Παρόλο που η νέα αυτή κλίμακα είναι κατά το μάλλον ή ήττον συμβατή με την MSK, η οργάνωσή της είναι τόσο διαφορετική, που ονομάστηκε Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα (EMS). Από την δημοσίευσή της έχει γίνει ευρέως αποδεκτή τόσο στην Ευρώπη, όσο και εκτός αυτής.

Οι παραπάνω κλίμακες έχουν αρκετές διαφορές μεταξύ τους, με αποτέλεσμα κάθε φορά που χρησιμοποιείται μια νέα κλίμακα πρέπει να γίνεται επανεκτίμηση των εντάσεων των παλαιών σεισμών σύμφωνα με αυτή. Η μετατροπή αυτή είναι γενικά δύσκολο έργο και πολλές φορές οδηγεί σε λανθασμένες εκτιμήσεις.

Για ένα διάστημα γύρω στα μέσα του 20^{ού} αιώνα είχε παρατηρηθεί μείωση του ενδιαφέροντος για την μακροσεισμική έρευνα, λόγω της ανάπτυξης των ενόργανων συστημάτων και δικτύων. Παρόλα αυτά, από το 1980 υπάρχει μια αναβίωση του ενδιαφέροντος για το θέμα αυτό, αφού οι μακροσεισμικές μέθοδοι είναι απαραίτητες για την επανεξέταση της ιστορικής σεισμικότητας, τη μελέτη του τρόπου εξασθένησης των σεισμικών κυμάτων, την εξέταση της τρωτότητας των κτηρίων, αλλά και την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας διακινδύνευσης μίας περιοχής.

2.1 Ιστορική εξέλιξη των κλιμάκων σεισμικής έντασης

1783	Ο Domenico Pignataro κατηγοριοποιεί τις σεισμικές δονήσεις για ιταλικούς σεισμούς:		
1828	Ο Egen χρησιμοποιεί βαθμούς αισθητότητας για τη γεωγραφική χαρτογράφηση ενός μόνου σεισμού		Κλίμακα 1-6
18ος-19ος αιώνας			
1874	Michele Stefano De Rossi	10 βάρη κλίμακα	πχ. "8: ... Πολύ δυνατός σεισμός. Πτώση καπνοδόχων και ρωγμές στα κτήρια..."
1878	François Forel	10 βάρη κλίμακα	
1883	Κλίμακα εντάσεων Rossi-Forel (R-F)	10 βάρη κλίμακα	"8: ...Πτώση καπνοδόχων, ρωγμές στους τοίχους των κτηρίων..."
1883	Giuseppe Mercalli	10 βάρη κλίμακα για την περιγραφή μεγάλων εντάσεων Σύζευξη βαθμών 4 & 5 της R-F και χωρισμός του βαθμού 10 στα δύο	"8: ...Μερική ερείπωση μερικών κτη-ρίων, συχνές και σημαντικές ρωγμές σε άλλα..."
1880 - 1915 Προσπάθειες ορισμού "Απόλυτων Κλιμάκων Εντάσεων" βασισμένων στην Επιτάχυνση			
1888	E.S. Holden	Πρώτη "Κλίμακα Απόλυτων Εντάσεων" βασισμένη στην Επιτάχυνση	
1900	Prof. Omori	Ιαπωνική Κλίμακα Απόλυτων Εντάσεων: 7 βαθμοί, βασισμένοι σε μελέτες σεισμικής τράπεζας	
1904	Cancani	Πρόσθεσε τιμές επιτάχυνσης στην Κλίμακα Mercalli:	

- α. κανονικές, εκθετικές τιμές επιτάχυνσης για τους βαθμούς 1-10
 β. συν δύο επιπλέον τιμές επιτάχυνσης για τους βαθμούς 11 και 12

Και ορισμένες άλλες που αναφέρει ο Freeman (1930)

1912	Mercalli Cancani Sieberg (MCS)	12βάθμια κλίμακα: Ο Cancani πρό-σθεσε 2 βαθμούς και ο Sieberg τις περιγραφές τους	"8: ...Ακόμα και τα σπίτια που είναι στερεά κατασκευασμένα και σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή αρχιτεκτονική γενικά υφίστανται βαρείες ζημιές και ρωγμές στους τοίχους ..."
1917	Η MCS υιοθετείται από την Διεθνή Σεισμολογική Ένωση		
1936	Η ενόργανη μέτρηση του μεγέθους από τον Richter υπερτερεί της έντασης Συμβολισμός της έντασης με λατινικούς αριθμούς (I-XII) για να μην συγχέεται με το μέγεθος		
1931	Wood και Neumann Modified Mercalli (MM)	12βάθμια κλίμακα Για χρήση στις ΗΠΑ και πιο σύγχρονους τύπους κατασκευών	"VIII: ...Αρκετές βλάβες σε συνηθισμένα μεγάλα κτήρια, μερική κατάρρευση ..."
1956	Charles Richter Modified Mercalli (MM-1956)	12βάθμια κλίμακα Η λιθοδομή ένδειξη για την ένταση, προτείνει 4 τύπους	"VIII: ...Βλάβες ή μερική κατάρρευση σε λιθοδομές τύπου C (συνηθισμένη κατασκευή και mortar). Λίγες βλάβες σε λιθοδομές τύπου B (καλή κατασκευή και mortar, reinforced ..."
1930-1970	<p>Τοπικές Κλίμακες Εντάσεων Κλίμακες εντάσεων που χρησιμοποιούνται σε διάφορες περιοχές του κόσμου Ευρώπη: MCS (1912) ΗΠΑ: MM (1931) Ιαπωνία: JMA (βασισμένη στην 7βάθμια Κλίμακα του Omori, 1900) ΕΣΣΔ: Σοβιετική 12 βάθμια κλίμακα (1931) παρόμοια με την MCS Κίνα: Κινεζική 12 βάθμια κλίμακα (1962) παρόμοια με τη Σοβιετική και την MM</p>		
1964:	<p>Κλίμακα Medvedev Sponheuer Karnik (MSK) 12-βάθμια κλίμακα: Τυποποίηση της εκτίμησης της έντασης διεθνώς – συναρτήσεις βλαβών για εκτίμηση της τρωτότητας «VIII: ...Λιθοδομές τύπου B (συνηθισμένη κατασκευή με τούβλα): πολλές (περίπου 50%) βλάβες βαθμού 3 (σοβαρές βλάβες, μεγάλες και βαθιές ρωγμές στους τοίχους) και μεμονωμένες (περίπου 5%) βλάβες βαθμού 4 (μερική κατάρρευση)...»</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1964: Η MSK υιοθετήθηκε επίσημα ως η Διεθνής Κλίμακα Εντάσεων από τη διακρατική σεισμολογική σύσκεψη της UNESCO • 1976: Αναθεωρήσεις της MSK (MSK-76) Υιοθετούνται τροποποιήσεις που προτάθηκαν από τις ομάδες εργασίας, συμπεριλαμβανομένων και ορισμένων επιφυλάξεων για το κατά πόσον υφίστανται βαθμοί έντασης XI και XII • 1980: (MSK-81) Επί πλέον τροποποιήσεις από τις ομάδες εργασίας, δημοσιεύεται ως MSK-81 • 1990: Έναρξη διαδικασίας αναθεώρησης για τον εκσυγχρονισμό της κλίμακας MSK για ευρύτερη χρήση • Προβλήματα που προέκυψαν: συνυπολογισμός νέων τύπων κατασκευών, αναθεώρηση κατανομών βλαβών, μη γραμμική μετάβαση από το βαθμό VI στον VII • 1992: Δημοσίευση της Ευρωπαϊκής Μακροσεισμικής κλίμακας EMS-92 για κρίση • 1996: Υιοθετείται επίσημα η EMS από την Ευρωπαϊκή Σεισμολογική Επιτροπή (ESC) • 1998: Δημοσίευση της Ευρωπαϊκής Μακροσεισμικής κλίμακας EMS-98 		

Ένταση και αισθητήρες

Οι μακροσεισμικές κλίμακες δίνουν μία σειρά περιγραφών για κάθε βαθμό έντασης, που συνήθως αναφέρονται ως «διαγνώσεις». Για παράδειγμα, στην κλίμακα MM56 υπάρχει η εξής περιγραφή για το βαθμό V: «Αισθητός έξω. Διεύθυνση αναγνωρίσιμη. Όλοι ξυπνούν. Διατάραξη υγρών, μερικά χύνονται. Μικρά ασταθή αντικείμενα μετακινούνται ή ανατρέπονται. Πόρτες ανοιγοκλείνουν. Διαχωριστικά, κάδρα κινούνται. Εκκρεμή ρολόγια σταματούν, ξεκινούν ή αλλάζουν ρυθμό.» Υπάρχουν, δηλαδή, 8 διαγνώσεις για το βαθμό V. Έτσι, ο ερευνητής θα δώσει ένταση βαθμού V σε ένα τόπο αν τα στοιχεία του πλησιάζουν περισσότερο τις διαγνώσεις αυτές.

Η κάθε διάγνωση περιγράφει τα αποτελέσματα της σεισμικής δόνησης σε ένα είδος αισθητήρα. Στην προκειμένη περίπτωση οι αισθητήρες για την ένταση V είναι οι εξής: άνθρωποι εκτός σπιτιού, άνθρωποι που κοιμούνται, υγρά σε δοχεία, μικρά ασταθή αντικείμενα, πόρτες, διαχωριστικά, κάδρα, εκκρεμή ρολόγια, κλπ.

Είναι φανερό ότι σε μικρούς βαθμούς έντασης οι αισθητήρες είναι οι άνθρωποι και τα μικρά αντικείμενα, ενώ σε μεγαλύτερους βαθμούς έντασης οι αισθητήρες είναι τα διάφορα είδη κτηρίων και οι βλάβες τους.

Στους μικρούς βαθμούς έντασης δεν έχει τόσο σημασία το πόσα πιάτα χτύπησαν ή έτριξαν, αλλά στους μεγάλους βαθμούς έχει τεράστια σημασία ο αριθμός των κτηρίων που είχαν βλάβες ή κατέρρευσαν.

Η πιο δύσκολη περίπτωση είναι όταν γίνεται χρήση των αποτελεσμάτων του σεισμού στη φύση, και ειδικότερα στο έδαφος: είναι γνωστό ότι η προδιάθεση των πρανών για κατολισθήσεις εξαρτάται από τόσο μεγάλο αριθμό παραγόντων, ώστε δεν είναι δυνατή η εκτίμηση ενός βαθμού έντασης, αλλά ενός μεγάλου εύρους εντάσεων.

ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΚΛΙΜΑΚΑ MERCALLI MM (12βάθμια)

Ένταση	Περιγραφή
I	Μη αισθητός
II	Αισθητός από ανθρώπους σε ανάπαυση, σε υψηλούς ορόφους, ή σε ευνοϊκές θέσεις.
III	Αισθητός μέσα στα κτήρια. Διάρκεια εκτιμήσιμη. Μπορεί να μην αναγνωριστεί από όλους ότι είναι σεισμός. Ανηρημένα αντικείμενα αιωρούνται.
IV	Η δόνηση γίνεται αισθητή σαν να περνούν βαριά φορτηγά ή αίσθηση σαν να χτυπάει το κτήριο μια βαριά μπάλα. Ανηρημένα αντικείμενα αιωρούνται. Τα σταματημένα αυτοκίνητα κουνιούνται. Τα παράθυρα, πιάτα, πόρτες κροτούν. Ποτήρια κροταλίζουν. Τα πιατικά κτυπούν.

V	Αισθητός έξω. Διεύθυνση αναγνωρίσιμη. Όλοι ξυπνούν. Διατάραξη υγρών, μερικά χύνονται. Μικρά ασταθή αντικείμενα μετακινούνται ή ανατρέπονται. Πόρτες ανοιγοκλείνουν. Διαχωριστικά, κάδρα κινούνται. Εκκρεμή ρολόγια σταματούν, ξεκινούν ή αλλάζουν ρυθμό.
VI	Αισθητός από όλους. Μερικοί φοβισμένοι βγαίνουν έξω. Οι άνθρωποι περπατούν με αστάθεια. Παράθυρα, πιάτα, ποτήρια σπάζουν. Μικροαντικείμενα, βιβλία, κλπ. πέφτουν από τα ράφια. Κορνίζες πέφτουν από τους τοίχους. Έπιπλα μετακινούνται ή ανατρέπονται. Μικρά κουδούνια κτυπούν (σε εκκλησίες, σχολεία, κλπ.). Δέντρα, θάμνοι αναταράσσονται (ορατά ή ακούγεται θρόισμα). Ρωγμές σε χαλαρό σοβά και λιθοδομές τύπου D.
VII	Είναι δύσκολο να σταθεί κανείς όρθιος. Παρατηρείται από οδηγούς αυτοκινήτων. Ανηρημένα αντικείμενα ταρακουνιούνται. Έπιπλα σπάζουν. Κύματα στις λίμνες, το νερό ανακατεύεται με λάσπη. Μικρές ολισθήσεις και έγκοιλα στην άμμο ή σε όχθες με μικρές πέτρες. Μεγάλα κουδούνια χτυπούν. Βλάβες σε λιθοδομές τύπου D, συμπεριλαμβανομένων και των ρωγμών. Χαλαρά συνδεδεμένες καπνοδόχοι σπάζουν στο ύψος της οροφής. Πτώση σοβά, χαλαρών τούβλων, λίθων, κεραμιδιών, γύψινων. Λίγες ρωγμές σε λιθοδομές τύπου C.
VIII	Επηρεάζει τους οδηγούς αυτοκινήτων. Κλαδιά δέντρων κόβονται. Μεταβολές στη ροή ή τη θερμοκρασία των πηγών και πηγαδιών. Ρωγμές σε υγρό έδαφος και σε απότομες πλαγιές. Βλάβες σε λιθοδομές τύπου C, μερική κατάρρευση. Λίγες βλάβες σε λιθοδομές τύπου B, καμία βλάβη σε τύπου A. Πτώση στόκου και λίθινων τοίχων. Περιστροφή ή πτώση καπνοδόχων, μνημείων, πύργων, υπερυψωμένων δεξαμενών. Σπίτια με σκελετό κινούνται από τα θεμέλιά τους ή βυθίζονται. Χαλαροί τοίχοι πέφτουν.
IX	Γενικός πανικός. Εμφανείς ρωγμές στο έδαφος. Σε αλλουβιακά εδάφη εκτινάσσεται λάσπη και άμμος, δημιουργούνται κρατήρες άμμου. Καταστροφές σε λιθοδομές τύπου D. Βαριές βλάβες σε τύπου C, μερικές φορές ολοκληρωτική κατάρρευση. Σοβαρές βλάβες σε τύπου B. Γενικευμένες βλάβες στα θεμέλια.
X	Μεγάλες κατολισθήσεις. Εκτίναξη νερού σε όχθες, κανάλια, ποτάμια, λίμνες, κλπ. Άμμος και λάσπη μετατοπίζονται οριζόντια στις παραλίες και σε επίπεδο έδαφος. Οι περισσότερες κατασκευές με λιθοδομή ή σκελετό καταστρέφονται από τα θεμέλια. Μερικές καλοκτισμένες κατασκευές και γέφυρες καταστρέφονται. Σοβαρές βλάβες σε φράγματα, αγωγούς, όχθες.
XI	Ράγες κάμπτονται. Υπόγεια δίκτυα εκτός λειτουργίας.
XII	Μεγάλες μάζες βράχων μετακινούνται. Παραμόρφωση ορίζοντα και εδάφους. Αντικείμενα πετιούνται στον αέρα. Σχεδόν ολοκληρωτική καταστροφή
A	Καλή κατασκευή, ενισχυμένη, δεμένη με σίδερο και τσιμέντο, σχεδιασμένη να αντισταθεί σε πλευρικές κινήσεις
B	Καλή κατασκευή, ενισχυμένη, αλλά όχι σχεδιασμένη να αντισταθεί σε πλευρικές κινήσεις
C	Κανονική κατασκευή, με δεμένες γωνίες αλλά όχι σχεδιασμένη να αντισταθεί σε πλευρικές κινήσεις
D	Χαλαρά υλικά, χαμηλών προδιαγραφών

Η Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα EMS-98

Η νέα κλίμακα EMS (European Macroseismic Scale) προτάθηκε από την XXIII Γενική συνέλευση της Ευρωπαϊκής Σεισμολογικής Επιτροπής ESC (European Seismological Commission) το 1992, για να χρησιμοποιηθεί παράλληλα με τις υπάρχουσες κλίμακες για χρονική περίοδο τριών ετών, ώστε να αποκτηθεί εμπειρία κάτω από ρεαλιστικές συνθήκες, ειδικότερα στα πειραματικά μέρη της κλίμακας: στον βαθμό τρωτότητας και στις κατασκευές (Gruenthal, 1998). Η βάση της κλίμακας EMS ήταν η MSK που βασίζεται στην εμπειρία των αρχών του 1960 από την εφαρμογή της κλίμακας MCS (Mercalli – Cancani – Sieberg Scale), της κλίμακας MM-31 και MM-56 (Modified Mercalli), και της κλίμακας Medvedev γνωστής επίσης και ως GEOFIAN κλίμακα. Το 1976 και 1977 προτάθηκαν από τον Medvedev μερικές αλλαγές στη κλίμακα MSK-64. Εκείνη την περίοδο, πολλοί χρήστες της κλίμακας άρχισαν να βλέπουν την ανάγκη να βελτιωθεί, π.χ. να δοθεί μεγαλύτερη σημασία στις νεοεισερχόμενες τεχνικές των κατασκευών και να προσαρμοστεί σε συτές. Έτσι, η καινούργια κλίμακα EMS αποτελεί βελτίωση της κλίμακας MSK-64 και προσαρμογή της σε ευρωπαϊκά δεδομένα.

Η κλίμακα EMS εισάγει ένα πολύ σημαντικό όρο, την **τρωτότητα**. Η τρωτότητα χρησιμοποιείται για να εκφράσει διαφορές στον τρόπο απόκρισης των κτιρίων στη σεισμική δόνηση. Έτσι, εάν δύο ομάδες κτηρίων υπόκεινται ακριβώς στην ίδια δόνηση και η μία ομάδα συμπεριφέρεται καλύτερα από την άλλη, τότε μπορούμε να πούμε ότι τα κτήρια που υπέστησαν μικρότερες βλάβες είχαν μικρότερη τρωτότητα ή ότι παρουσίασαν μεγαλύτερη αντίσταση στη σεισμική δόνηση.

Πριν από την περιγραφή της κλίμακας EMS είναι απαραίτητο να παρατεθούν μερικοί βασικοί ορισμοί σχετικά με τις διάφορες κατηγορίες κτιρίων, την τρωτότητά τους και το βαθμό αστοχίας τους.

Ακολουθεί η κλίμακα EMS, η οποία διαχωρίζει τις επιδράσεις του σεισμού α) στους ανθρώπους, β) στα αντικείμενα και τη φύση (εξαιρουμένων των αστοχιών του εδάφους) και γ) στα κήρια.

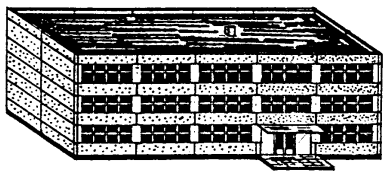
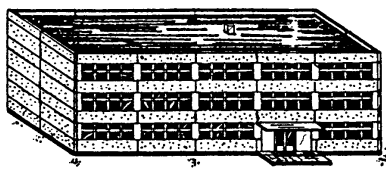
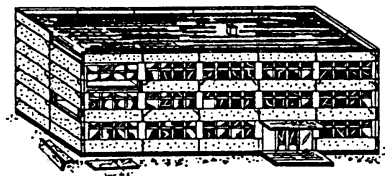
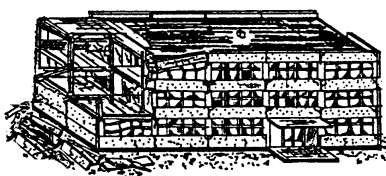
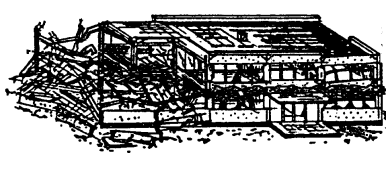
	Τύπος κατασκευής	Κατηγορία τρωτότητας					
		A	B	Γ	Δ	Ε	Z
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	Αργολιθοδομή Χαλαρή λιθοδομή	○					
	Πλινθοδομή	○	—				
	Απλή λιθοδομή	—	○				
	Λιθοδομή με μεγάλους λίθους		—	○	—		
	Αοπλη λιθοδομή / Τσιμεντόλιθος	—	○	—			
	Αοπλη λιθοδομή με πλάκες οπλ. σκυροδέματος		—	○			
	Οπλισμένη πλινθοδομή (εγκιβωτισμένη τοιχοποιία)			—	○	—	
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (RC)	RC χωρίς αντισεισμική σχεδίαση (ΑΣ)	—	—	○	—		
	RC με ελάχιστη ΑΣ		—	—	○		
	RC με μέση ΑΣ			—	—	○	
	RC με υψηλό βαθμό ΑΣ					—	○
ΞΥΛΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ		—	—	○	—	—	

○ πλέον πιθανή κατηγορία τρωτότητας

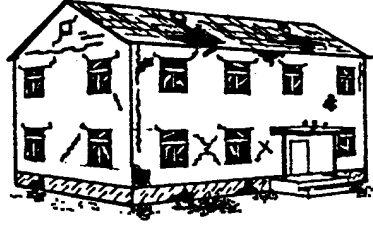
— πιθανή περιοχή

..... λιγότερο πιθανό, εξαιρετικές περιπτώσεις

Κατηγορίες αστοχιών σε κτήρια από οπλισμένο σκυρόδεμα

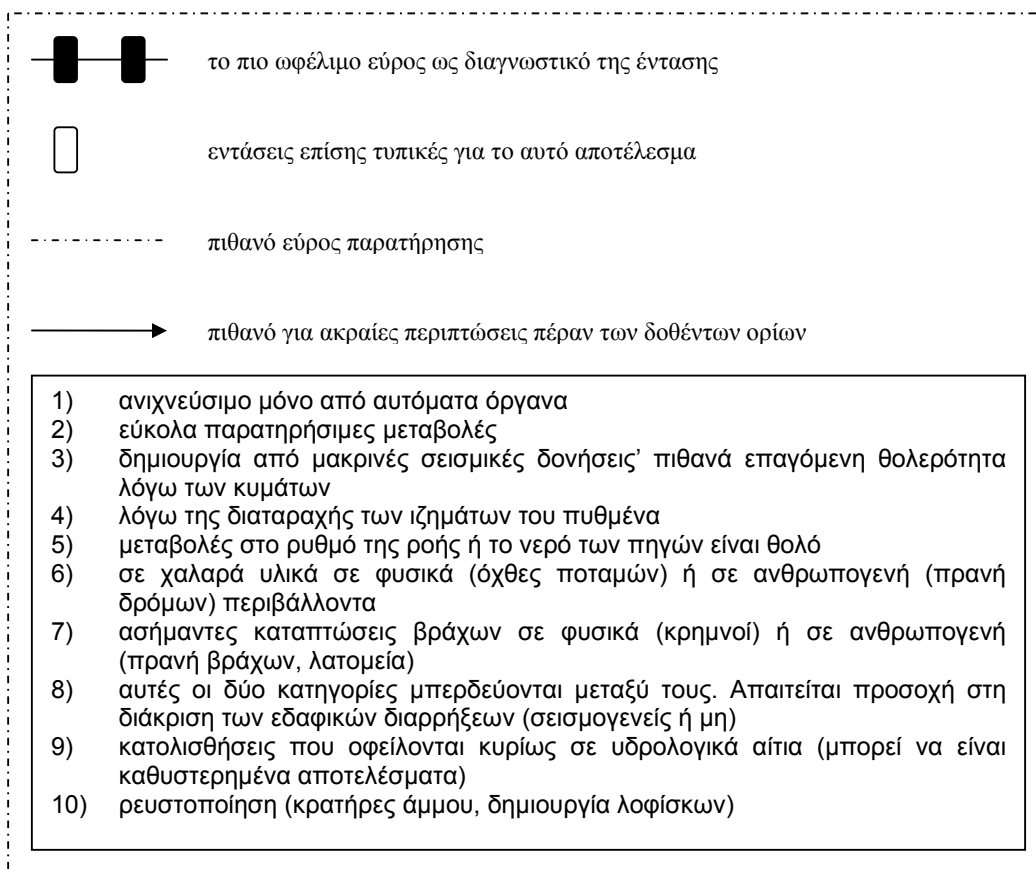
	<p>Βαθμός 1: Ελάχιστες και Ελαφρές Βλάβες Λεπτές ρωγμές στο κονίαμα γύρω από τα ξύλινα πλαίσια (κασώματα)</p>
	<p>Βαθμός 2: Μέτριες Βλάβες Τριχοειδείς ρωγμές σε κολώνες ή δοκούς· πτώση σοβάδων από αρμούς αιωρούμενων κομματιών τοίχου· ρωγμές σε μεσοτοιχία· πτώση κομματιών εύθραυστης επένδυσης και σοβάδων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

Κατηγορίες αστοχιών σε κτήρια με τοιχοποιία

	<p>Βαθμός 1: Ελάχιστες και Ελαφρές Βλάβες Τριχοειδείς ρωγμές σε μερικές τοιχοποιίες· πτώση μόνο μερικών μικρών κομματικών σοβάδων. Πτώση χαλαρών πλίνθων από τα ανώτερα τμήματα του κτιρίου, όμως σε πολύ λίγες περιπτώσεις.</p>
	<p>Βαθμός 2: Μέτριες Βλάβες Ρωγμές σε πολλές τοιχοποιίες· πτώση αρκετά μεγάλων κομματιών σοβάδων· πτώση τμημάτων καμινάδων</p>
	<p>Βαθμός 3: Άφθονες έως Μεγάλες Βλάβες Μεγάλες και εκτεταμένες ρωγμές στις περισσότερες τοιχοποιίες· διαφυγή κεραμιδιών. Οι καμινάδες διαρρηγνύονται κατά μήκος της γραμμής της σκεπής· βλάβη σε μεμονωμένα μη δομικά στοιχεία</p>
	<p>Βαθμός 4: Πολύ Μεγάλες Βλάβες Σημαντική βλάβη στις τοιχοποιίες. Μερική δομική βλάβη</p>
	<p>Βαθμός 5: Καταστροφικές Βλάβες Ολική ή σχεδόν ολική κατάρρευση</p>

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

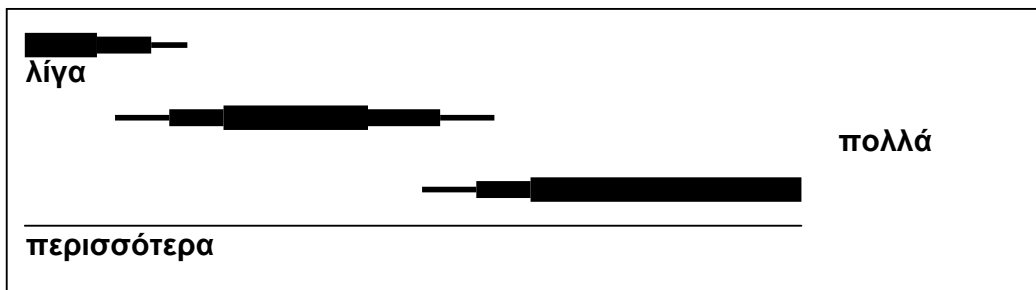
ΥΠΟΜΝΗΜΑ



Σεισμογεωλογικά αποτελέσματα

Ορισμός ποσοτήτων

Στην παρακάτω εικόνα δίνονται ποσοστιαία οι χαρακτηρισμοί *λίγα*, *πολλά*, *περισσότερα*, όσον αφορά τον αριθμό των κτιρίων που υπέστησαν βλάβες



Πίνακας 1: Η Ευρωπαϊκή κλίμακα έντασης (EMS)

Ένταση	Περιγραφή
I Μη αισθητός	α) Δεν γίνεται αισθητός από τους ανθρώπους, ακόμα και υπό τις ευνοϊκότερες συνθήκες.
II Ανεπαίσθητος	α) Η δόνηση είναι αισθητή μόνο σε μεμονωμένες περιπτώσεις (<1%) ατόμων που αναπαύονται και σε ειδικές θέσεις μέσα στα κτήρια.
III Ασθενής	α) Ο σεισμός είναι αισθητός μέσα σε κτήριο από λίγους. Όσοι αναπαύονται αισθάνονται μια ταλάντωση ή τρεμούλιασμα του φωτός. β) Ανηρητημένα αντικείμενα αιωρούνται ελαφρά.
IV Ευρέως παρατηρητός	α) Ο σεισμός είναι αισθητός από πολλούς μέσα σε κτήρια και από λίγους έξω. Λίγοι ξυπνούν. Το επίπεδο της ταλάντωσης δεν προκαλεί φόβο. Η ταλάντωση είναι μέτρια. Οι παρατηρητές αισθάνονται ένα ελαφρό τρεμούλιασμα ή ταλάντωση του κτιρίου, 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.
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 κτιρίου, δωματίου ή επίπλου. β) Ανηρητημένα 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 τάξης 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 προσπαθούν να βγουν 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 τάξης τρωτότητας Α και Β. Βλάβες βαθμού 2 σε λίγα κτήρια τάξης Α και Β. Βλάβες βαθμού 1 σε λίγα κτήρια τάξης C.
VII Βλαβερός	α) Οι περισσότεροι φοβούνται και προσπαθούν να βγουν έξω. Πολλοί δεν μπορούν να σταθούν, 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 τάξης τρωτότητας Α' σε

	<p>λίγα βαθμού 4. Βλάβες βαθμού 2 σε πολλά κτήρια τάξης Β· σε λίγα βαθμού 3. Βλάβες βαθμού 2 σε λίγα κτήρια τάξης C. Βλάβες βαθμού 1 σε λίγα κτήρια τάξης D.</p>
VIII Βαριά βλαβερός	<p>α) Πολλοί δεν μπορούν 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 τάξης τρωτότητας Α· σε λίγα βαθμού 5. Βλάβες βαθμού 3 σε πολλά κτήρια τάξης Β· σε λίγα βαθμού 4. Βλάβες βαθμού 2 σε πολλά κτήρια τάξης C· σε λίγα βαθμού 3. Βλάβες βαθμού 2 σε λίγα κτήρια τάξης D.</p>
IX Καταστρεπτικός	<p>α) Γενικός πανικός. Άνθρωποι μπορεί να πέσουν στο έδαφος. β) Πολλά μνημεία και στύλοι ανατρέπονται ή περιστρέφονται. Παρατηρείται κυματισμός σε χαλαρό έδαφος. γ) Βλάβες βαθμού 5 σε πολλά κτήρια τάξης τρωτότητας Α. Βλάβες βαθμού 4 σε πολλά κτήρια τάξης Β· σε λίγα βαθμού 5. Βλάβες βαθμού 3 σε πολλά κτήρια τάξης C· σε λίγα βαθμού 4. Βλάβες βαθμού 2 σε πολλά κτήρια τάξης D· σε λίγα βαθμού 3. Βλάβες βαθμού 2 σε λίγα κτήρια τάξης E.</p>
X Πολύ καταστρεπτικός	<p>γ) Βλάβες βαθμού 5 στα περισσότερα κτήρια τάξης τρωτότητας Α. Βλάβες βαθμού 5 σε πολλά κτήρια τάξης Β. Βλάβες βαθμού 4 σε πολλά κτήρια τάξης C· σε λίγα βαθμού 5. Βλάβες βαθμού 3 σε πολλά κτήρια τάξης D· σε λίγα βαθμού 4. Βλάβες βαθμού 2 σε πολλά κτήρια τάξης E· σε λίγα βαθμού 3. Βλάβες βαθμού 2 σε λίγα κτήρια τάξης F.</p>
XI Συντριπτικός	<p>γ) Βλάβες βαθμού 5 στα περισσότερα κτήρια τάξης τρωτότητας Β. Βλάβες βαθμού 4 στα περισσότερα κτήρια τάξης C· σε πολλά βαθμού 5. Βλάβες βαθμού 4 σε πολλά κτήρια τάξης D· σε λίγα βαθμού 5. Βλάβες βαθμού 3 σε πολλά κτήρια τάξης E· σε λίγα βαθμού 4. Βλάβες βαθμού 2 σε πολλά κτήρια τάξης F· σε λίγα βαθμού 3.</p>
XII Ολοκληρωτικά συντριπτικός	<p>γ) Όλα τα κτήρια τάξης τρωτότητας Α, Β και σχεδόν όλα τάξης C καταστρέφονται. Τα περισσότερα κτήρια τάξης D, E και F καταστρέφονται. Οι επιπτώσεις του σεισμού έχουν προσεγγίσει τις μέγιστες δυνατές επιπτώσεις.</p>

Προβλήματα υπολογισμού της έντασης από ιστορικές καταγραφές

Η εισαγωγή σε καταλόγους των ιστορικών πληροφοριών των σεισμών γίνεται με βάση τη μακροσεισμική ένταση. Ο προσδιορισμός, όμως, της έντασης από ιστορικές καταγραφές παρουσιάζει προβλήματα που προκύπτουν από την ποιότητα και ποσότητα της διαθέσιμης πληροφορίας. Ειδικότερα, και οι δύο κλίμακες, η MSK-64 και η EMS απαιτούν τα ακόλουθα:

1. τύπος της κατασκευής. Συνήθως πρέπει να γίνει επιλογή μεταξύ βαθμού τρωτότητας Α και Β
2. ποσότητες: για κάθε τύπο κατασκευής πρέπει να γνωρίζουμε το συνολικό αριθμό κτιρίων και αυτών που παρουσίασαν βλάβες
3. βλάβες σε κτήρια

Οι περιγραφές των βλαβών που υπάρχουν στις πηγές παρουσιάζουν διαφορές, ενώ ο τύπος των κατασκευών και οι ποσότητες σπάνια αναφέρονται.

Ιστορικά δεδομένα και δεδομένα από έγγραφα

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 πρόσφατους.

Επομένως, είναι πρακτικό να μελετηθούν από κοινού οι ιστορικές και οι σύγχρονες γραπτές αναφορές ως «δεδομένα από γραπτά κείμενα». 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 συνδέονται π.χ. με το 1890 ή το 1980.

Η ανάκτηση και η διαχείριση των αναφορών απαιτεί φροντίδα και εμπειρία,. Ιδιαίτερα εκείνος που διεξάγει την έρευνα και επεξεργάζεται τις αναφορές, πρέπει να αντιλαμβάνεται ότι η πληροφορία έχει φτάσει σε αυτόν μετά από μία μακρά και πολύπλοκη πορεία. Επομένως είναι σημαντικό να εργαστεί 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 σχέση της πηγής με τους σεισμούς και με 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) Η μελέτη στην οποία εμφανίζεται η αναφορά μπορεί να περιλαμβάνει σημαντικές πληροφορίες και δεν θα πρέπει να αγνοηθεί. Για παράδειγμα, ένα βιβλίο μπορεί να περιλαμβάνει μία σύντομη περιγραφή των αποτελεσμάτων ενός σεισμού σε ένα κεφάλαιο, αλλά να περιλαμβάνει κάποιες λεπτομέρειες που να διορθώνουν την πληροφορία σε ένα άλλο σημείο στον τόμο. Αν η αναφορά του σεισμού είναι μεμονωμένη, μπορεί να παρέχει μία ζωτικής σημασίας πληροφορία, αλλά 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.

Τύποι κατασκευών (τάξεις τρωτότητας) σε ιστορικές αναφορές

Σε ιστορικές μαρτυρίες αναφέρονται συχνά λεπτομερώς βλάβες σε σημαντικά μνημεία (κάστρα, εκκλησίες, παλάτια, πύργους, κίονες, κλπ.). Σπανιότερα αναφέρονται τα αποτελέσματα κοινών κτιρίων, τα οποία είναι τα μόνα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην δομή της κλίμακας.

Όσον αφορά στα κοινά κτήρια, οι τάξεις τρωτότητας των παραδοσιακών σπιτιών κυμαίνονται στις περισσότερες περιπτώσεις από Α έως Β, ακόμη και έως C και D (ξύλινες κατασκευές). Για παράδειγμα, από την βιβλιογραφία ξέρουμε ελάχιστα για τους τύπους των κτιρίων στην Ευρώπη κατά τον 17^ο αιώνα, εκτός από το γεγονός ότι τα υλικά που χρησιμοποιούνταν ήταν εκείνα που μπορούσαν να κατασκευασθούν με

τα χέρια και ότι οι οικονομικά εύποροι είχαν πιο γερά κατασκευασμένα και καλύτερα διατηρημένα σπίτια. Το σίγουρο, πάντως, είναι ότι στον Μεσαίωνα τα περισσότερα σπίτια στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης ήταν φτιαγμένα από ξύλο, ενώ η διαδικασία της μετάβασης στα σπίτια από πέτρα ή τούβλα ήταν μακρά και σε ορισμένες περιπτώσεις μόνο εν μέρει. Χωρίς λεπτομερή πληροφορία, όμως, είναι πολύ να γίνει οποιαδήποτε αξιόπιστη εκτίμηση της αντοχής αυτών των κατασκευών.

Μπορούν να προταθούν ορισμένες μέθοδοι για την επίλυση του προβλήματος αυτού της τρωτότητας των κατασκευών. Για παράδειγμα, αν πιθανολογείται ότι ο τύπος της κατασκευής σε ένα συγκεκριμένο χώρο και χρόνο είχε τάξη τρωτότητας τόσο Α όσο και Β, είναι πιθανό να εκτιμηθεί η ένταση θεωρώντας τάξη Α, στην συνέχεια να γίνει μία δεύτερη εκτίμηση θεωρώντας τάξη Β και μετά να χρησιμοποιηθεί το εύρος των βαθμών της έντασης που δίνεται από τις δύο διαφορετικές εκτιμήσεις.

Συνολικοί αριθμοί κτιρίων

Προκειμένου να γίνει εκτίμηση της έντασης χρησιμοποιώντας το ποσοστό των κτιρίων που έπαθαν βλάβες, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε 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 κτιρίων σε μία περιοχή 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 ορισμένα αξιόπιστα διαγράμματα. Πιο συχνά είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν εκτιμήσεις βασισμένες σε δεδομένα πληθυσμού με διάφορες υποθέσεις και συσχετισμούς, που 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 σχήματα 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 είναι η ίδια η πόλη που περιγράφεται. Οι περιγραφές των βλαβών μπορούν να έχουν το ίδιο πρόβλημα. Είτε μπορεί να λυθεί είτε όχι αυτό το πρόβλημα σε ιδιαίτερες περιπτώσεις, πρέπει επίσης να αναγνωρισθεί ότι μία τέτοια κατάσταση μπορεί να οδηγήσει σε παρερμηνείες της τάξης του ± 1 βαθμού έντασης. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι ίσως καλύτερο να μένουμε πιστοί σε ένα εύρος εντάσεων όπως 7 – 8, κλπ.

Ποιότητα των περιγραφών

Έγγραφα που αναφέρουν αποτελέσματα σεισμών, ανάλογα με το είδος τους, συχνά συγκεντρώνονται στα πιο αξιοσημείωτα 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 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως απόδειξη ότι τίποτα άλλο δεν συνέβη εκτός από αυτό που περιγράφεται.** Ομοίως, αντίστροφες υποθέσεις είναι επίσης αβάσιμες.

Για παράδειγμα, δεν έχει ιδιαίτερη σημασία να γίνονται εκτιμήσεις 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 είναι ανεπιτυχές). Πληροφορίες που παράγονται 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 αποδείξεις των αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα, αποδείξεις ότι η ζωή σε μία περιοχή συνεχίζεται ως συνήθως μετά από ένα σεισμό – οι άνθρωποι εξακολουθούν να ζουν και να εργάζονται στα σπίτια τους, το Δημοτικό Συμβούλιο συνεδριάζει ως συνήθως, η λειτουργία στις εκκλησίες συνεχίζεται – μπορούν να αποβούν αντιφατικές με μία περιγραφή που οδηγεί κάποιον να πιστέψει ότι η ένταση ήταν τις τάξης των 9 βαθμών.

Αν η πληροφορία παραμένει φτωχή μετά από την εξάντληση όλων των δρόμων, τότε η εκτίμηση της έντασης θα πρέπει να γίνει με ένα εύρος αβεβαιότητας που κανονικά αντιπροσωπεύει την ανεπάρκεια των δεδομένων. Μία καλή διαδικασία είναι να κρατείται σημείωση για το πώς φτάσαμε στις συγκεκριμένες τιμές.

Βλάβες σε μνημεία

Οι βλάβες σε μνημεία 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 κτιρίων είναι τέτοια που είναι πιο πιθανό να πάθουν βλάβες από ότι τα κοινά κτήρια, ακόμη και αν είναι καλύτερα χτισμένα.

Αυτή είναι η περίπτωση, για παράδειγμα, όταν μικρές αρχιτεκτονικές διακοσμήσεις αποκολλώνται από εκκλησίες κατά την διάρκεια ενός σεισμού. Για τον λόγο αυτό πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί ώστε να μην γίνει υπερεκτίμηση της έντασης ως συμπέρασμα τέτοιου είδους αποτελεσμάτων.

Σε ένα μέρος, τα μνημεία 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 διαχειρίζονται με προσοχή, ως συμπληρωματικά σε άλλες αποδείξεις (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 μπορεί να ερευνηθεί ή για το οποίο υπάρχουν λεπτομερείς περιγραφές, χρήσιμα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν για έναν σεισμό κάνοντας εξειδικευμένες αναλύσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Ακρόπολη στην Αθήνα για την οποία έχουν γίνει μελέτες μετά από μεγάλους σεισμούς στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών, όπως για παράδειγμα για τους σεισμούς του 1981 στις Αλκυονίδες και του 1999 στην Πάρνηθα.

Ένταση και σεισμική ακολουθία

Οι ιστορικοί παραμετρικοί κατάλογοι και οι βάσεις δεδομένων με εντάσεις περιέχουν και δεδομένα από σεισμούς, όπου προκλήθηκαν βλάβες ή καταστροφές, οι οποίοι έπληξαν την ίδια περιοχή σε μικρό χρονικό διάστημα (μήνες, ημέρες ή και ώρες). Τέτοιοι σεισμοί, είναι π.χ. της Δράμας στις 11/13-04-1829 και 05-05-1829, της Λέσβου στις 11-10-1845 με την έντονη ακολουθία προσεισμών, της Θήβας στις 18-08-1853 και 29-09-1853, της Αταλάντης στις 20 και 27-04-1894, κ.ά. Στις περιπτώσεις αυτές, η αξιοπιστία των δεδομένων επηρεάζονται από:

1. την τρωτότητα των κτιρίων η οποία μπορεί να αυξήθηκε κατά την μετασεισμική ακολουθία
2. το ότι οι αναφερόμενες βλάβες, μπορεί να είναι το αθροιστικό αποτέλεσμα της μετασεισμικής ακολουθίας.

Τρωτότητα και μετασεισμική ακολουθία

Ένα κτήριο που έχει υποστεί βλάβες από ένα σεισμό, μπορεί να χάσει την αντοχή του μέχρι ενός σημείου. Δηλαδή η τρωτότητά του μπορεί να αυξηθεί, ή με άλλα λόγια, το κτήριο να μην ανήκει πια στον αρχικό βαθμό τρωτότητας. Έτσι μπορούμε να κάνουμε τις εξής υποθέσεις :

- A. η τρωτότητα να αυξάνει κατά ένα βαθμό, μετά από οποιοδήποτε βαθμό βλάβης (αρχίζοντας από βαθμό βλάβης 1)· προφανώς αυτή είναι μια ακραία υπόθεση
- B. η τρωτότητα να αυξάνει κατά ένα βαθμό, μόνο μετά από βαριά βλάβη στη κατασκευή (βαθμός βλάβης 4)· αυτή είναι η πιο λογική υπόθεση.
- Γ. η τρωτότητα να μην αυξάνει καθόλου σε σχέση με τις βλάβες· αυτή η υπόθεση αντιστοιχεί στην τρέχουσα πρακτική.

Βλάβες και μετασεισμική ακολουθία

Είναι γεγονός ότι κατά την διάρκεια μιας μετασεισμικής ακολουθίας, οι βλάβες μόνον αυξάνονται. Έτσι ένας παρατηρητής μπορεί μόνο να αναφέρει αύξηση βλαβών. Επίσης, είναι γεγονός ότι αυτοί που αναφέρουν τα γεγονότα, συνήθως περιγράφουν, λεπτομερειακά, την κατάσταση που μπορούν να παρατηρήσουν μετά το μεγαλύτερο γεγονός, ή ακόμη και μετά το πέρας ολόκληρης της μετασεισμικής ακολουθίας. Πολύ σπάνια έχουμε αξιόπιστες ιστορικές πηγές που καταγράφουν βλάβες μετά από κάθε γεγονός. Παρόλα αυτά, ακόμη και αν έχουμε πηγές που αναφέρουν τα αποτελέσματα μετά από κάθε ξεχωριστό γεγονός, μπορούμε μόνο να περιμένουμε:

- Αξιόπιστα δεδομένα για το πρώτο γεγονός
- Αθροιστικό αποτέλεσμα για όλη τη μετασεισμική ακολουθία.

Βλάβες και ένταση

Απλά κτήρια. Οι ιστορικοί κατάλογοι και οι βάσεις δεδομένων μπορεί να περιέχουν τιμές εντάσεων που έχουν υπολογιστεί βασισμένες σε αναφορές για απομονωμένα κτήρια, όπως «εάν η εκκλησία κατέρρευσε τότε τουλάχιστον μερικά σπίτια θα έχουν καταρρεύσει επίσης». Αυτό σαφώς δεν ενθαρρύνεται στην κλίμακα EMS-98, καθώς αντιβαίνει τη στατιστική φύση της έντασης. Αυτές όμως τις εντάσεις που εκτιμήθηκαν

από τέτοιες καταγραφές, δεν σημαίνει ότι πρέπει να τις αγνοήσουμε. Το να προσδιορίσουμε ένα βαθμό βλάβης σύμφωνα με τους ορισμούς της κλίμακας EMS-98 είναι πιο ρεαλιστικό.

Κατανομή των βλαβών. Εξάλλου, ιδανική είναι η περίπτωση στην οποία έχουμε πηγές που παρουσιάζουν με λεπτομέρεια (σπίτι-με-σπίτι) δεδομένα με βλάβες για μια πόλη ή μια επαρχία. Αυτή είναι η περίπτωση στην οποία συνήθως γίνονται οι επίσημες καταγραφές βλαβών και μπορούν να ενοπιστούν σε λεπτομερείς καταγραφές. Η κατανομή των βλαβών μπορεί να βοηθήσει στις μελέτες των μικροζωνικών ή της σεισμικότητας, με δεδομένο ότι:

- Οι τύποι των κτιρίων μπορεί να έχουν αλλάξει ουσιαστικά
- Η σημερινή πόλη μπορεί να εκτείνεται σε μεγαλύτερη περιοχή, και πιθανόν σε διαφορετικά εδάφη.

Εκτίμηση των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων

Η αισθητότητα των σεισμών, και σε μεγάλο βαθμό τα μακροσεισμικά αποτελέσματά τους, εξαρτώνται από την μετάθεση, την ταχύτητα και την επιτάχυνση της σεισμικής κίνησης. Η σύγκριση των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων με βάση τη μέτρηση ενός τέτοιου φυσικού μεγέθους παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες για δυο βασικούς λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι ότι τα μακροσεισμικά αποτελέσματα δεν εξαρτώνται, όπως αναφέρθηκε, από ένα μόνο φυσικό μέγεθος. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι το μετρούμενο φυσικό μέγεθος αφορά μόνο στο σημείο στο οποίο γίνεται η μέτρηση και είναι δυνατό, ακόμη και όχι μακριά από το σημείο αυτό, η τιμή του μεγέθους αυτού να είναι πολύ διαφορετική λόγω διαφορετικών εδαφικών συνθηκών. Συνεπώς, για να έχουμε ποσοτικές πληροφορίες για τα αποτελέσματα ενός σεισμού σε ορισμένο τόπο, θα πρέπει να λάβουμε μεγάλο αριθμό πυκνών μετρήσεων διαφόρων φυσικών μεγεθών. Αυτό βέβαια παρουσιάζει μεγάλες πρακτικές δυσκολίες.

Επειδή τα μακροσεισμικά αποτελέσματα εξαρτώνται και από τη σεισμική επιτάχυνση, παλαιότερα πίστευαν ότι η σεισμική επιτάχυνση περιγράφει μόνο αυτή τα αποτελέσματα αυτά, καλύτερα από κάθε άλλο φυσικό μέγεθος. Έτσι, έγινε προσπάθεια εκτίμησης της σεισμικής επιτάχυνσης βάσει διαφόρων παρατηρήσεων, όπως είναι η ανατροπή και εκσφενδόνηση αντικειμένων. Ακριβής μέτρηση της σεισμικής επιτάχυνσης με τη δυνατότητα συγχρόνου καθορισμού της ταχύτητας, της μετάθεσης, της συχνότητας και της διάρκειας της σεισμικής κίνησης πραγματοποιείται με τις αναγραφές των επιταχυνσιομέτρων.

Μακροσεισμικές παράμετροι

1. Χρόνος γένεσης σεισμού

Ο ακριβής ορισμός του χρόνου που έγινε ένας σεισμός πρέπει να περιλαμβάνει: την ημερομηνία (έτος, μήνας, ημέρα) και τον ακριβή χρόνο γένεσης (ώρα, λεπτά, δευτερόλεπτα). Αυτό όμως είναι δυνατόν μόνο για τους σεισμούς της πρόσφατης (ενόργανης) περιόδου (1900–2010). Για τους σεισμούς αυτής της περιόδου χρησιμοποιείται η ημερομηνία στο νέο (Γρηγοριανό) ημερολόγιο και ο χρόνος γένεσης σε GMT (χρόνος Greenwich).

Για τους σεισμούς οι οποίοι έγιναν κατά την προηγούμενη ιστορική περίοδο (550 π.Χ. – 1899) μόνο μερικώς είναι γνωστός ο χρόνος που έγινε κάθε ένας από τους σεισμούς. Για τους παλιούς σεισμούς μόνο η ημερομηνία είναι συνήθως γνωστή. Αυτή η ημερομηνία δίνεται στο παλαιό (Ιουλιανό) ημερολόγιο για τους σεισμούς που έγιναν μέχρι το 1900. Για τους σεισμούς που έγιναν μετά το έτος αυτό η ημερομηνία δίνεται στο νέο (Γρηγοριανό) ημερολόγιο. Η μετατροπή από το παλιό στο νέο ημερολόγιο γίνεται με πρόσθεση, στην ημερομηνία του παλιού, του χρόνου: $t = (t_i - 325)/128$, όπου t_i είναι η ημερομηνία στο Ιουλιανό (παλαιό) ημερολόγιο.

2. Μακροσεισμικό επίκεντρο

Παρ' ότι ο ορισμός του μικροσεισμικού επικέντρου είναι σαφής στη βιβλιογραφία, ο ορισμός του μακροσεισμικού επικέντρου παραμένει ακόμη θέμα προς συζήτηση. Το μακροσεισμικό επίκεντρο είναι μία έκφραση που χρησιμοποιούταν παλιά για να συνδέσει διαφορετικές αντιλήψεις που ποτέ δεν είχαν καθοριστεί επακριβώς.

Μακροσεισμικό επίκεντρο: Αποτελεί το κέντρο βάρους της περιοχής όπου έχουμε τα πιο έντονα αποτελέσματα. Αυτός είναι ο καλύτερος τρόπος υπολογισμού της θέσης του επικέντρου, δηλαδή του σημείου που προκύπτει από την προβολή της εστίας του σεισμού πάνω στην επιφάνεια της γης, χωρίς την χρήση ενόργανων δεδομένων. Ο υπολογισμός αυτός μπορεί να γίνει από:

- Την θέση των μέγιστων εντάσεων
- Το σχήμα των ισόσειστων καμπύλων
- Τα δεδομένα που προέρχονται από προσεισμούς ή μετασεισμούς
- Υπολογισμούς που βασίζονται στην κατανομή των εντάσεων

- Την γνώση της γεωλογίας της περιοχής
- Αναλογικές συγκρίσεις με άλλους σεισμούς

Η διαδικασία υπολογισμού του μακροσεισμικού επικέντρου γίνεται με κάποια υποκειμενικότητα, με βάση την κρίση του κάθε ερευνητή. Δηλαδή, δεν υπάρχουν κάποιες συγκεκριμένες οδηγίες που να μπορούν να εφαρμοστούν σε όλες τις περιπτώσεις.

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες υπολογισμού του μακροσεισμικού επικέντρου με τη χρήση μεθόδων αντιστροφής της κατανομής των μακροσεισμικών εντάσεων και έχουν αναπτυχθεί οι σχετικοί αλγόριθμοι.

Βαρύκεντρο : Το σημείο πάνω στην επιφάνεια της γης όπου το μακροσεισμικό πεδίο εμφανίζεται να ακτινοβολεί. Αυτό το σημείο συνήθως βρίσκεται στο κέντρο της μεγαλύτερης ισόσειστης ή στο κέντρο βάρους των δύο μεγαλύτερων ισόσειστων. Προηγμένες υπολογιστικές μέθοδοι έχουν προταθεί για τον υπολογισμό του βαρύκεντρου από μακροσεισμικά δεδομένα καθώς επίσης έχουν προταθεί και οι όροι *macrocentre* και *macroseismic centre*. Αυτοί οι δύο όροι είναι συχνά ίδιοι, αλλά δεν σημαίνει ότι αυτό θα συμβαίνει σε όλες τις περιπτώσεις, κυρίως λόγω των γεωλογικών συνθηκών μιας περιοχής.

Και οι δύο παραπάνω έννοιες έχουν τις χρήσεις τους. Για οποιαδήποτε μελέτη της τεκτονικής μιας περιοχής χρησιμοποιείται το μακροσεισμικό επίκεντρο, ενώ για μελέτες της σεισμικής επικινδυνότητας μιας περιοχής το βαρύκεντρο δίνει σαφώς μια καλύτερη ένδειξη.

3. Μακροσεισμική ένταση

Η γνώση των τιμών της μακροσεισμικής έντασης, I , στις θέσεις όπου ο σεισμός προκάλεσε βλάβες ή έγινε αισθητός είναι εξαιρετικής σημασίας, διότι οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των μακροσεισμικών επικέντρων και των μακροσεισμικών μεγεθών των σεισμών οι οποίοι έγιναν κατά τη διάρκεια όλης της ιστορικής περιόδου (550 π.Χ. - 1899), καθώς και για τον καθορισμό των επικέντρων αρκετών σεισμών που έγιναν κατά την ενόργανη περίοδο. Επίσης οι τιμές της μακροσεισμικής έντασης μπορούν να χρησιμεύσουν στον προσδιορισμό της διεύθυνσης και των διαστάσεων των ρηγμάτων (μέθοδος *boxer*).

Ειδικής σημασίας για τέτοια χρήση είναι η επικεντρική ένταση, I_0 , που συμβολίζεται με I_0 , και είναι μία παράμετρος που συνήθως χρησιμοποιείται στους σεισμολογικούς καταλόγους, αλλά σπάνια είναι καθορισμένη και έτσι στην πράξη μπορούν να υπάρξουν διαφορετικές χρήσεις της. Η επικεντρική ένταση είναι η ένταση στο μέσο της πλειόσειστης περιοχής η οποία συμπίπτει, συνήθως, στους επιφανειακούς σεισμούς με τη ζώνη διάρρηξης (ρήγμα) του σεισμού. Πρόκειται δηλαδή για την ένταση που εντοπίζεται στο επίκεντρο ενός σεισμού, αλλά αν δεν υπάρχουν μακροσεισμικές παρατηρήσεις σε αυτή την περιοχή είναι αναγκαίο να βρεθούν τρόποι υπολογισμού της τιμής της. Οι δύο κύριες τεχνικές που χρησιμοποιούνται από παλιά είναι:

1. Προέκταση (Extrapolation) - από την πιο κοντινή παρατηρούμενη ένταση στο επίκεντρο χωρίς να αλλάζει η τιμή, ή από την τιμή της μέγιστης ισόσειστης. Γι' αυτό αν υπάρχουν για παράδειγμα κοντά στο επίκεντρο κάποιες εντάσεις με τιμή $I=9$ τότε και $I_0=9$. Εάν το επίκεντρο είναι στην θάλασσα τότε σαφέστατα η I_0 δεν μπορεί να υπολογιστεί.
2. Υπολογισμός μιας κλασματικής έντασης στο επίκεντρο από την εξασθένηση του μακροσεισμικού πεδίου, χρησιμοποιώντας σχέσεις εξασθένησης της μακροσεισμικής έντασης. Σε αυτή την περίπτωση, επειδή αυτό που προκύπτει δεν είναι μια παρατηρούμενη τιμή έντασης (δηλ. δεν είναι «πραγματική» ένταση), η ένταση πρέπει να είναι δεκαδικός αριθμός, χωρίς όμως να αμφισβητείται ο κανόνας ότι οι τιμές των εντάσεων πρέπει πάντα να είναι ακέραιοι αριθμοί. Αυτή η τιμή μπορεί να υπολογιστεί σε σεισμούς με ικανοποιητικά δεδομένα έτσι ώστε να μπορούν να σχεδιαστούν το λιγότερο δύο (προτιμότερο τρεις) ισόσειστες καμπύλες. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται η έννοια του βαρύκεντρου μιας και το πραγματικό επίκεντρο μπορεί να μην είναι στο κέντρο του μακροσεισμικού πεδίου. Έτσι προτιμότερο είναι να χρησιμοποιηθεί ο όρος βαρυκεντρική ένταση «barycentral intensity».

Συνιστάται στις δύο παραπάνω τεχνικές να χρησιμοποιούνται και ανάλογα σύμβολα. Για παράδειγμα στην πρώτη τεχνική που η ένταση είναι ακέραιος αριθμός να εκφράζεται π.χ. (9 ή IX) ενώ στην δεύτερη τεχνική που η ένταση είναι δεκαδικός αριθμός να εκφράζεται π.χ. (9.0 or 9.3). Επίσης για τον υπολογισμό της τιμής I_0 δεν θα πρέπει να προστίθενται αυθαίρετα τιμές στην μέγιστη παρατηρούμενη ένταση γιατί τα αποτελέσματα δεν θα είναι αντικειμενικά.

Επιπλέον, εκτός από την επικεντρική ένταση μια άλλη χρήσιμη παράμετρος είναι και η μέγιστη ένταση που συμβολίζεται με I_{max} . Η μέγιστη ένταση είναι απλά η υψηλότερη παρατηρούμενη τιμή έντασης οπουδήποτε μέσα στο μακροσεισμικό πεδίο. Για

σεισμούς με επίκεντρο στην ξηρά, I_0 και I_{max} μπορεί να είναι ίδιο. Για σεισμούς με επίκεντρο σε θαλάσσιο χώρο, συχνά δεν μπορεί να υπολογιστεί I_0 αλλά I_{max} υπάρχει.

4. Μακροσεισμικό μέγεθος

Η χρήση των μακροσεισμικών δεδομένων μπορεί να δώσει εντυπωσιακά ικανοποιητικές μετρήσεις για το μέγεθος ενός σεισμού. Ο υπολογισμός του μακροσεισμικού μεγέθους αποτελεί ένα πολύ σημαντικό μέρος των μακροσεισμικών μελετών γιατί είναι ο μόνος τρόπος οι σεισμολογικοί κατάλογοι να επεκταθούν στους ιστορικούς χρόνους. Τέτοιοι σεισμολογικοί κατάλογοι έχουν μεγάλο όφελος για τις μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας.

Παλιότερες μελέτες προσπάθησαν να συσχετίσουν την επικεντρική ένταση με το μακροσεισμικό μέγεθος. Όμως, η επικεντρική ένταση επηρεάζεται έντονα από το εστιακό βάθος και έτσι τέτοιες συσχετίσεις δεν έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα, εκτός εάν α) τα βάθη είναι γνωστά και λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς ή β) εργαζόμαστε σε μια περιοχή όπου το βάθος περιορίζεται σαφώς.

Η συνολική περιοχή αισθητότητας A (felt area) ενός σεισμού ή η περιοχή που εντοπίζεται μεταξύ δύο διαδοχικών ισόσειστων (συνήθως της 3 ή 4), είναι ένας πολύ καλός δείκτης για τον υπολογισμό του μεγέθους γιατί δεν επηρεάζεται πολύ από το βάθος, εκτός βέβαια αν έχουμε σεισμούς μεγάλου βάθους.

- Για σεισμούς με μεγέθη ροπής $M_w \leq 5.5$ και γραμμικό ή σχεδόν γραμμικό $\log A$ χρησιμοποιείται σχέση του τύπου:

$$M = a \log A + b$$

- Για μεγαλύτερους σεισμούς, διαφορές στο φασματικό περιεχόμενο μπορεί να επιδράσουν στον τρόπο με τον οποίο γίνεται αισθητός ο σεισμός και έτσι εφαρμόζεται μια άλλη σχέση:

$$M = n \log (A / \pi) + 2 m / (2.3 \sqrt{\pi}) \sqrt{A} + a$$

Το n είναι ο εκθέτης της γεωμετρικής διάδοσης και το $m = (\pi f)/(Q \beta)$, όπου το f είναι η επικρατούσα συχνότητα της σεισμικής κίνησης στο όριο της περιοχής αισθητότητας (2-4 Hz), Q είναι ο παράγοντας εξασθένησης των εγκάρσιων κυμάτων και β είναι η ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων (3.5 km/sec).

➤ Άλλες σχέσεις που έχουν προταθεί περιλαμβάνουν :

$$M = a I_0 + b \ln r + c$$

όπου r είναι η ακτίνα πάνω στην περιοχή σε ολόκληρο το μακροσεισμικό πεδίο

$$M = a I_0 + \sum b_i \ln r_i + c$$

όπου χρησιμοποιούνται όλες οι ισόσειστες (τιμές για κάθε i) καθώς επίσης και η επικεντρική ένταση I_0 .

Σε όλες τις παραπάνω εξισώσεις, το M παριστάνει ένα «γενικό» μέγεθος και για οποιαδήποτε εξίσωση είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ποιος τύπος μεγέθους είναι συμβατός σε κάθε εξίσωση (M_s , M_L , M_w κλπ). Επίσης είναι χρήσιμο να υπολογιστεί το τυπικό σφάλμα απόκλισης το οποίο δίνει μια εκτίμηση της αβεβαιότητας που προκύπτει από τον υπολογισμό των τιμών των μεγεθών.

5. Εστιακό βάθος

Η εκτίμηση του εστιακού βάθους από τα μακροσεισμικά στοιχεία αναπτύχθηκε αρχικά από τον Radó Kövesligethy ο οποίος σε μια πρώτη εργασία του παρουσίασε την παρακάτω σχέση :

$$I - I_0 = 3 \log \sin e - 3 \alpha (r/R) (1 - \sin e)$$

όπου $\sin e = h / r$, R είναι η ακτίνα της γης και α είναι μία σταθερά που αντιπροσωπεύει την ανελαστική εξασθένηση.

Στην συνέχεια σε μια δεύτερη εργασία του Kövesligethy αναπτύχθηκε η παρακάτω σχέση :

$$I - I_0 = 3 \log \sin \varphi$$

όπου φ είναι η γωνία ανάδυσης. Ο λόγος για τον οποίο ο συντελεστής απορρόφησης δεν συμπεριλήφθηκε σε αυτή την δημοσίευση είναι άγνωστος.

Η πρώτη σχέση τροποποιήθηκε ελαφρώς και δημοσιεύτηκε από τον Jánosi. Σήμερα έχει την μορφή:

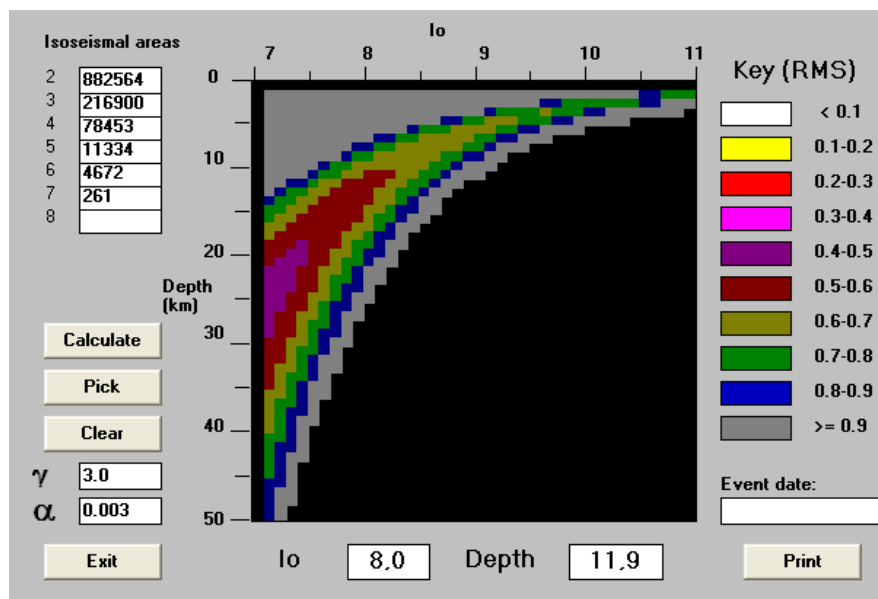
$$I_0 - I_i = 3 \log (r / h) + 3 \alpha M (r - h)$$

όπου r είναι η ακτίνα της ισόσειστης για κάθε ένταση I_i και $M = \log e$.

Ο σταθερός αριθμός 3 και στις τρεις παραπάνω εξισώσεις αντιπροσωπεύει μια τιμή ισοδυναμίας μεταξύ των βαθμών της κλίμακας έντασης και του εύρους των εδαφικών κινήσεων. Κάποιοι ερευνητές αποδέχονται την τιμή, άλλοι πάλι προτιμούν

να υπολογίζουν δική τους που να συμβαδίζει με τα δεδομένα. Σε αυτή την περίπτωση ο τύπος θα μπορούσε να γραφτεί με μια περαιτέρω μεταβλητή αντί της σταθεράς 3. Ο συντελεστής εξασθένησης α πρέπει να αλλάζει από περιοχή σε περιοχή, έτσι ώστε να αναπαριστά την απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας από τον φλοιό. Γι' αυτό κανονικά θα πρέπει να υπολογιστεί τοπικά από κάποιο σύνολο δεδομένων και όχι από δεδομένα μεμονωμένων σεισμών. Το I_0 στις τρεις παραπάνω εξισώσεις είναι η βαρυκεντρική ένταση, όπου όπως και το h , υπολογίζεται γραφικά από τις ισόσειστες και όλες τις πιθανές τιμές του I_0 και του h , όπου και τελικά προκύπτει η τιμή του ελάχιστου σφάλματος η οποία φυσικά θα συμβαδίζει με την παρατηρούμενη μέγιστη ένταση.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα αυτόματου υπολογισμού του μακροσεισμικού βάθους. Στο πρόγραμμα macdep εισάγονται οι επιφάνειες των ισοσειστών διαφόρων βαθμών και η μέγιστη ένταση και υπολογίζεται το βάθος με το αντίστοιχο σφάλμα.



Ένα πρόβλημα που ανακύπτει σε σχέση με το εστιακό βάθος είναι η διάκριση του σεισμού σε επιφανειακό ($h < 60$ km) ή ενδιάμεσου βάθους ($60 \text{ km} < h < 180$ km). Για την διάκριση αυτή χρησιμοποιούνται οι παρακάτω αρχές:

- Στους επιφανειακούς σεισμούς η ένταση υφίσταται γρήγορη απόσβεση όσο απομακρυνόμαστε από την περιοχή της μέγιστης έντασης.
- Όσον αφορά στους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους, αυτοί:
 - δεν ακολουθούνται από ισχυρούς μετασεισμούς

- δεν διεγείρουν θαλάσσια κύματα βαρύτητας (tsunamis)
- γίνονται μόνο σε μία συγκεκριμένη περιοχή του Ελληνικού χώρου (στη ζώνη Benioff του νοτίου Αιγαίου)
- η κατανομή των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων τους είναι κατά κανόνα ανώμαλη και δεν παρουσιάζει ορισμένο μέγιστο κοντά στο επίκεντρο. Στο επίκεντρο, μάλιστα, ο σεισμός μπορεί, σε ορισμένες περιπτώσεις, να μην γίνει αντιληπτός.
- Στους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους η μακροσεισμική περιοχή είναι συνήθως μεγάλη. Αντίθετα, το μέγιστο της έντασης είναι σχετικά μικρό.

Η κατανομή των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων των μεγάλων σεισμών ενδιάμεσου βάθους παρουσιάζει ιδιαιτερότητες που δεν παρατηρούνται στους επιφανειακούς σεισμούς, όπως είναι οι μεγάλες αποστάσεις που γίνονται αισθητοί στο εξωτερικό μέρος του ελληνικού τόξου (μέχρι τη Μέση Ανατολή, Αίγυπτο, Ιταλία), ενώ υφίστανται έντονη απόσβεση στο εσωτερικό μέρος του ελληνικού τόξου (Κυκλάδες, κλπ).

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια για τους σεισμούς που θεωρούνται ενδιάμεσου βάθους, χρησιμοποιείται ο συμβολισμός $h=i$ (intermediate) ενώ για τους σεισμούς που θεωρούνται επιφανειακοί, χρησιμοποιείται ο συμβολισμός $h=n$ (normal). Τους συμβολισμούς αυτούς χρησιμοποιούν διάφοροι ερευνητές, οι οποίοι δεν προσδιορίζουν αριθμητικά το βάθος των σεισμών, αλλά κάνουν εκτίμηση αυτού (επιφανειακός, ενδιάμεσου βάθους), σύμφωνα με τα μακροσεισμικά αποτελέσματα.

Εξασθένηση της έντασης

Η εξασθένηση της έντασης είναι ο βαθμός μείωσής της από το επίκεντρο, αυξανόμενης της απόστασης (επικεντρικής). Υπάρχουν δύο τρόποι να εκφραστεί: ο ένας είναι με τη σχέση του Kövesligethy που αναφέρθηκε παραπάνω και δείχνει την σχέση εξασθένησης της έντασης με το εστιακό βάθος. Ο άλλος τρόπος είναι να εκφραστεί η ένταση σε συνάρτηση με το μέγεθος του σεισμού και την απόσταση, όπως στη γενική σχέση της μορφής

$$I = a + bM + c \log R + R + dR$$

όπου R η υποκεντρική απόσταση και a , b , c , d σταθερές. Επειδή σε πολλούς σεισμολογικούς καταλόγους η κύρια παράμετρος που εκφράζει το «πόσο μεγάλος»

είναι ο σεισμός είναι το μέγεθος, η παραπάνω σχέση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας. Η ένταση είναι μία ικανοποιητική παράμετρος για να εκφραστεί η σεισμική επικινδυνότητα, γιατί εκφράζει τις βλάβες.

Εφαρμογές της Μακροσεισμικής

Σεισμική επικινδυνότητα (hazard)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η χρήση της έντασης σε μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας γινόταν στο παρελθόν μέχρι την δεκαετία του '80, οπότε άρχισε η χρήση των σχέσεων κατανομής μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, η οποία αντικατέστησε κατά ένα τρόπο την μακροσεισμική ένταση. Παρόλα αυτά, οι μελέτες αυτές δεν χρησιμοποιούν πραγματικά δεδομένα στις περιόδους πριν από τα μέσα του 20ού αιώνα και κυρίως στις περιόδους των ιστορικών σεισμών. Έτσι, τελευταία, τείνει να αντικατασταθεί η σχέση εξασθένησης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης με τη σχέση εξασθένησης της μακροσεισμικής έντασης.

Οι σεισμοί που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια παγκόσμια έχουν δείξει ότι παρόλο που η σεισμικότητα μίας περιοχής σε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα δεν αλλάζει, η σεισμική της επικινδυνότητα έχει αυξηθεί, δηλαδή έχουμε βλάβες και από σεισμούς ενδιάμεσου μεγέθους, παρόλο που εφαρμόζονται σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί.

Στις μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας, δεν αρκεί μόνο το μέγεθος και το επίκεντρο του αναμενόμενου σεισμού, αλλά και η αναμενόμενη κατανομή βλαβών που θα έχει, δηλαδή η αναμενόμενη κατανομή των εντάσεων του.

Σεισμική διακινδύνευση (κίνδυνος, risk)

Η σπουδαιότητα της έντασης στις μελέτες για την εκτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης είναι ακόμη πιο σημαντική από ότι στη σεισμική επικινδυνότητα, εφόσον η πρώτη ασχολείται με την πιθανότητα εμφάνισης βλαβών και κατά συνέπεια την εκτίμηση απώλειας με οικονομικούς όρους.

Είναι γνωστό ότι ενώ η σεισμική επικινδυνότητα ασχολείται με την πιθανότητα εμφάνισης σεισμού, η σεισμική διακινδύνευση εξαρτάται από τον κοινωνικό ιστό και το δομημένο περιβάλλον. Η ευπάθεια των κατασκευών εκφράζεται με την τρωτότητα.

$$\text{Σεισμική Διακινδύνευση} = \text{Σεισμική επικινδυνότητα} \times \text{Τρωτότητα} \times \text{Διακινδυνεύομενη Αξία}$$

Στην παραπάνω σχέση ο όρος «Διακινδυνευόμενη Αξία» υπονοεί την «Έκθεση σε Κίνδυνο» ή απλώς «Έκθεση», έτσι ώστε να συμπεριληφθεί το σύνολο της ιδιοκτησίας που τίθεται σε κίνδυνο.

Στις μελέτες αυτές η χρήση της μακροσεισμικής έντασης είναι απαραίτητη, δεδομένου ότι περιέχει στον ίδιο τον ορισμό της και την έννοια της βλάβης και της τρωτότητας.

Βιβλιογραφία

Γαλανόπουλος Α., 1976. Στοιχεία Σεισμολογίας και Φυσικής του Εσωτερικού της Γης. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Αθηνών.

Παπαζάχος Β.Κ., Γ.Φ. Καρακαΐσης & Π.Μ. Χατζηδημητρίου, 2005. Εισαγωγή στη Σεισμολογία. Εκδόσεις Ζήτη.

Gruenthal, G. (Editor), 1998. European Macroseismic Scale. Conseil de L' Europe.

Musson R.M.W. & I. Cecic, 2002. Macroseismology. International Handbook of Earthquake & Engineering Seismology, Part A, 807-822.