

Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ. XIX	σελ. 219-232	Αθήνα 1987
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.	pag.	Athens

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ  
ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑ  
ΣΥΝΔΡΟΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ  
ΜΕΓΑΛΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ

ΑΝΤ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ\*

Είναι γνωστό ότι τα αποτελέσματα από τη σεισμικότητα κάθε περιοχής δεν εξαρτώνται μόνο από την έκλυση μικρών ή μεγάλων σε μέγεθος σεισμών. Εξαρτώνται επίσης από το γεωλογικό χαρακτήρα που προσδιορίζει τη θετική ή αρνητική επίδραση που ο στερεός φλοιός έχει στη μετάδοση της σεισμικής ενέργειας, καθώς και από το έδαφος θεμελίωσης που διαμορφώνει την ένταση με την οποία παρουσιάζονται οι σεισμοί στην επιφάνεια.

Η σταδιακή ελάττωση της σεισμικής ενέργειας που υφίστανται τα σεισμικά κύματα στους βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς εξαρτάται άμεσα από την απόσταση και το συντελεστή απόσβεσης των πετρωμάτων.

Στις διαταραγμένες όμως περιοχές όπως η Ελλάδα, η εξάπλωση των σεισμικών κυμάτων υφίστανται πολλές και ποικίλες επιδράσεις - π.χ. διαθλάσεις, ανακλάσεις, κλπ. - με απώλεια ή αύξηση της σεισμικής ενέργειας. Οι κυριότερες από τις επιδράσεις είναι αυτές που προκαλούνται από τα ρήγματα, τις μεταπτώσεις και τις πτυχές.

Όταν ένα ρήγμα είναι παράλληλο προς τη διεύθυνση μετάδοσης (προς την ακτίνα ώθησης) των σεισμικών κυμάτων διευκολύνεται η διάδοση της ενέργειας προς τη διεύθυνση του ρήγματος, χωρίς σημαντική απώλεια της ενέργειας, ενώ όταν το ρήγμα είναι κάθετο προς την ακτίνα ώθησης (διεύθυνση μετάδοσης), ανακλά σημαντικό ποσοστό της σεισμικής ενέργειας και αντιστρέφει την κατεύθυνση του σεισμικού κύματος (σεισμική σκιά). Αυτό έγινε έντονα αισθητό στους σεισμούς των Αλκυονίδων νήσων της 24ης και 25ης Φεβρουαρίου 1981, όπου η διάδοση της σεισμικής ενέργειας ευνοήθηκε από τη διεύθυνση των ρηγμάτων Α-Δ και προκά-

\* Ι.Γ.Μ.Ε.

λεσε σοβαρές ζημιές στην Αθήνα.

Συχνά οι ασταθείς μεταπτώσεις μεταβάλλονται από τα σεισμικά κύματα σε δευτερεύουσες σεισμικές εστίες-πρώτη ωρίμανση ημιωρίμων ελαστικών τάσεων-με αποτέλεσμα την τοπική αύξηση της έντασης του σεισμού.

Η επίδραση των πτυχών στις σεισμικές εντάσεις είναι μικρή. Πάντως, οι μεγάλοι πτυχωσιγενείς ορεινοί όγκοι π.χ. της Πίνδου ή του Ολυνού προκαλούν ανάκλαση των σεισμικών κυμάτων (σεισμική σκιά).

Από σεισμολογική άποψη τα εδάφη θεμελίωσης διακρίνονται σε δύο αδρές κατηγορίες:

- Σεισμικά ακίνδυνα
- Σεισμικά επικίνδυνα

Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται κυρίως οι προαλπικοί και αλπικοί σχηματισμοί, δηλαδή συνεκτικά και στερεά πετρώματα. Στα πετρώματα αυτά η ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων είναι μεγάλη οπότε το πλάτος των σεισμικών κυμάτων και η σεισμική επιτάχυνση είναι σχετικά μικρού μεγέθους.

Στη δεύτερη κατηγορία υπάγονται βασικά οι μεταλπικοί σχηματισμοί του Νεογενούς και Τεταρτογενούς, οι οποίοι είναι συνήθως ψαθυροί και χαλαροί, εκτός εάν έχουν υποστεί διαγένεση, οπότε διαθέτουν σχετική στερεότητα.

Στους σχηματισμούς αυτούς η ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων είναι μικρή ενώ το πλάτος των σεισμικών κυμάτων και η σεισμική επιτάχυνση από τα οποία εξαρτώνται τα καταστροφικά αποτελέσματα είναι αυξημένα.

Ο διαχωρισμός αυτός δεν είναι απόλυτος γιατί η στερεότητα των εδαφών θεμελίωσης δεν εξαρτάται μόνον από τις φυσικές και μηχανικές τους ιδιότητες αλλά και από τη θέση του σχηματισμού σε σχέση με τα υποκείμενα στρώματα και την απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας από τον ίδιο σχηματισμό που εξαρτάται κυρίως από το πάχος τους και τις άλλες διαστάσεις τους κατά μήκος της κατεύθυνσης εξάπλωσης των σεισμικών κυμάτων.

Όταν νεώτεροι ψαθυροί σχηματισμοί έχουν μικρό πάχος, κατά τη μετάβαση των σεισμικών κυμάτων από το συμπαγή σχηματισμό στο ψαθυρό ελαττώνεται η ταχύτητα των κυμάτων και αυξάνει το πλάτος της σεισμικής κίνησης και κατ'ακόλουθα αυξάνει η σεισμική επιτάχυνση. Όταν όμως τα σεισμικά επικίνδυνα ψαθυρά εδάφη έχουν μεγάλο πάχος, η σεισμική ενέργεια υφίσταται εξασθένηση, λόγω ακριβώς του μεγάλου πάχους σε σύγκριση με το μήκος κύματος.

Το πάχος και γενικά οι διαστάσεις του εδάφους θεμελίωσης πρέπει να

λαμβάνονται υπόψη όχι μόνο στα σεισμικά επικίνδυνα αλλά και στα σεισμικά ακίνδυνα εδάφη. Τα λεπτού πάχους ασβεστολιθικά λέπια που είναι αποκομμένα από την κύρια ασβεστολιθική μάζα (σεισμικώς ακίνδυνα εδάφη), ή τα ασβεστολιθικά ράχη, είναι σεισμικώς επικίνδυνα.

Η ελαστικότητα των χαλαρών σχηματισμών πολλές φορές παρουσιάζει διαφορές από θέση σε θέση με αποτέλεσμα να διαφοροποιούνται τα μήκη και οι περίοδοι των αιωρήσεων. Οι ανομοιότητες αυτές των αιωρήσεων είναι πολλές φορές περισσότερο επικίνδυνες και προκαλούν μεγαλύτερες ζημιές στα κτίρια απ'ότι το μέγεθος της σεισμικής επιτάχυνσης.

Εξαιρετικά επικίνδυνες είναι οι ιλυώδεις προσχώσεις που συχνά παρουσιάζουν ιδιότητες κολλοειδών σωμάτων, καθώς και τα πλευρικά κορήματα στις πλαγιές των βουνών, που δεν έχουν υποστεί καμία διαγένεση.

Ο σεισμικός κίνδυνος των χαλαρών εδαφών αυξάνει όταν αυτά έχουν διαβραχεί, π.χ. ο υψηλός υδροφόρος ορίζοντας που υπάρχει στην περιοχή του αεροδρομίου της Θεσσαλονίκης ήταν η αιτία για τις αυξημένες ζημιές που παρουσιάστηκαν στο σεισμό του 1978.

Στους σεισμικώς επικίνδυνους σχηματισμούς περιλαμβάνονται: ο μανδύας-λόγω αποσάθρωσης-των σχιστολίθων, σχιστοκερατολίθων, φλύσχη, φιλλιτών κλπ. που είναι στη συμπαγή μορφή τους, σχηματισμοί σεισμικώς ακίνδυνοι.

Από τα μεταλπικά ιζήματα ο μαργαϊκός ασβεστόλιθος, λόγω-διαγένεσης-και τα συνεκτικά κροκαλοπαγή είναι ανθεκτικότεροι σχηματισμοί από τις αργιλομάργες και τα διαρρηγμένα κροκαλοπαγή. Οι συνεκτικές ασβεστούχες μάργες συμπεριφέρονται σαν σεισμικά επικίνδυνα αν το πάχος τους είναι μικρό. Έτσι εξηγείται το γεγονός ότι οι ζημιές στις αργιλομάργες της Β.Πελοποννήσου που έχουν πάχος 200-300 μέτρα είναι μικρότερες για σεισμούς του αυτού μεγέθους απ'ότι στα συνεκτικότερα νεογενή της Νότιας Πελοποννήσου που έχουν πάχος 40-60 μέτρα, όπως διαπιστώθηκε στους σεισμούς της 31.3.65 και 5.4.65 Πατρών και Μεγαλόπολης.

Αλλα χαρακτηριστικά παραδείγματα εκτός των σεισμών του 1965, κατανομής της έντασης και των ζημιών από το έδαφος θεμελίωσης αποτελεί η εκλεκτική πρόκληση ζημιών:

- 1) Κατά το σεισμό των Κρεμαστών του 1966 στην Ευρυτανία όπου συνοικισμοί ή αγροικίες υπέστησαν μεγαλύτερες ζημιές κατά 2 βαθμούς της κλίμακας Mercalli επειδή ήταν θεμελιωμένα όχι μόνο σε μικρού πάχους κορήματα αλλά και σε ασβεστολιθικά λέπια το πάχος των οποίων δεν υπερέβαινε τα 40m.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα διαπιστώθηκαν στους οικισμούς Τριποτάμου Τατάρνας-συν. Προυσσού, συν. Πρασσιάς και άλλων.

- 2) Κατά τον σεισμό των Τζουμέρκων στις 1.5.1967, η εκλεκτική πρόκληση ζημιών λόγω του πάχους των ασβεστολιθικών λεπίων ήταν χαρακτηριστική στους οικισμούς των περιοχών Μεσοχώρας Τρικάλων και Αργιθέας Καρδίτσας όπου λόγω της τεκτονικής των επιπεύσεων πολλοί μικροσυνοικισμοί βρίσκονται επί ασβεστολιθικών λεπίων με διάφορα πάχη μεγαλύτερα ή μικρότερα των 40 μέτρων.
- 3) Στο μικρό σεισμό των Ιωαννίνων στις 12-13 Δεκεμβρίου 1969, με μικρή πλειόσειστη περιοχή, η κατανομή των ζημιών στην πόλη των Ιωαννίνων και σε ορισμένα χωριά ήταν χαρακτηριστικά του εδάφους θεμελίωσης όπου οι οικοδομές σε χαλαρούς σχηματισμούς μικρού πάχους υπέστησαν σοβαρότερες ζημιές.
- 4) Στη Θεσσαλονίκη το 1978 έχει αναφερθεί η χαρακτηριστική διαφορά ζημιών μεταξύ της ζώνης των προσχώσεων και της Ανω Πόλης.
- 5) Στο σεισμό του Αλμυρού το 1980 η κατανομή των ζημιών λόγω εδάφους θεμελίωσης ήταν χαρακτηριστική στον οικισμό της Νέας Αγχιάλου μεταξύ άνω και κάτω χωριού.
- 6) Στους σεισμούς των Αλκυονίδων της 24 και 25.2.81 και 4.3.81, χαρακτηριστικό παράδειγμα της κατανομής των εντάσεων και ζημιών από το έδαφος θεμελίωσης αποτελεί η εκλεκτική πρόκληση ζημιών στην πλειόσειστη περιοχή και στην Αθήνα, όπου μεγάλες βλάβες παρατηρήθηκαν:
  - Σε μικρού πάχους και συνοχής νεότερες κυρίως προσχώσεις του Σχίνου, Λουτρακίου, Ψάθας, Αλεποχωρίου-Αγίων Θεοδώρων και Αθήνας.
  - Σε αποσαθρωμένο μανδύα παλιών σχηματισμών και σε πλευρικά κορήματα, όπως στα Μπίσια, στην Περαχώρα και στις Πλαταιές.
- 7) Στο μικρό σεισμό της Λάκας Σουλίου στις 10.3.81 στα χωριά Γαλατά Ζερβό Παπαδάτες κλπ. Οι βλάβες είναι χαρακτηριστικά σοβαρές στις οικοδομές που είναι επάνω σε μικρού πάχους ασβεστολιθικά ράχη πάχους 20-30m.
- 8) Στο μικρό σεισμό της Ιεράπετρας Φεβρουάριος του 1978 ορισμένες οικοδομές στο συνοικισμό Γρά Λυγιά ενώ ήσαν θεμελιωμένες σε συνεκτικά κροκαλοπαγή έπαθαν σοβαρές ζημιές. Από την εξέταση διαπιστώθηκε ότι στο πάχος των συνεκτικών κροκαλοπαγών ήταν μικρό περίπου 2,5 μέτρων.

Από τις παραπάνω μακροσεισμικές παρατηρήσεις που καλύπτουν μία ειρσοαετία, προκύπτει ότι το πάχος του γεωλογικού σχηματισμού το οποίο

είναι καθοριστικό για τον χαρακτηρισμό του γεωσεισμολογικά ως επικίνδυνου ή ακίνδυνου είναι για μεν τα συνεκτικά πετρώματα τα 40 περίπου μέτρα ενώ για τα χαλαρά τα 80 μέτρα, εφόσον δεν συνυπάρχουν άλλοι δυσμενείς παράγοντες όπως π.χ. επιφανειακός υδροφόρος ορίζοντας.

Υπό ορισμένες συνθήκες οι σεισμοί υποβοηθούν στην εκδήλωση κατολισθήσεων. Κατά τους σεισμούς της 31.4.65 της Πάτρας, της 5.5.65 της Μεγαλόπολης, της 1.5.67 των Τζουμέρκων και της 20.2.66 της Ευρυτανίας, παρατηρήθηκαν κατολισθήσεις πλευρικών κορημάτων, ενώ κατά το σεισμό της Θεσσαλονίκης της 20.6.78 παρατηρήθηκαν φαινόμενα ρευστοποίησης της άμμου. Επίσης κατά τους σεισμούς παρατηρούνται ρηγματώσεις των προσχώσεων και καθιζήσεις παραλιακών λωρίδων, όπως στις ακτές του Κορινθιακού, στην Αιγιαλία μεταξύ Σελινούντος και Κερινίτου ή στη Μεσολίμνια ζώνη Δίμνης Βόλβης-Α.Λαγκαδά που οφείλονται σε ενσάκωση των αδρομερών υλικών των προσχώσεων και σε φαινόμενα ρευστοποίησης της άμμου, όπως στη Θεσσαλονίκη.

Επίσης, κατά τους πρόσφατους σεισμούς των Αλκυονίδων, εκτός από τις επιφανειακές διαρρήξεις, παρουσιάστηκαν και μεγάλες κατολισθήσεις και κατακρημνίσεις βράχων στις περιοχές των Μπισίων-Σχίνου-Αλεποχωρίου. (Για τα φαινόμενα αυτά υπάρχει σχετική εργασία με συναδέλφους της Τ.Γ.).

Θα αναφέρω ορισμένες σημαντικές περιπτώσεις από τα σύνδρομα αυτά γεωλογικά φαινόμενα.

- 1) Στο σεισμό στις 5.4.65 της Μεγαλόπολης στα πρηνή του Λύκαιου όρους εκδηλώθηκε μεγάλη κατολίπηση πλευρικών κορημάτων πλάτους περίπου 800 μέτρων και μήκους 1100 μέτρων από την οποία προκλήθηκε πανικός στα γύρω χωριά και εγράφη στις εφημερίδες περί ηφαιστείου στο Λύκαιο.
- 2) Στο σεισμό της Ευρυτανίας το 1966 στην περιοχή Εσωχώρια Εσωχωρίων Προυσσού εκδηλώθηκε κατολίπηση σε κορήματα μετώπου επιπεύσεως πλάτους 500 περίπου μέτρων και μήκους 800 μέτρων.
- 3) Στο σεισμό της 1.5.67 των Τζουμέρκων μεγάλη κατολίπηση με 5 νεκρούς έγινε στα απόκρημα του Αχελώου μετά τα Κάφαλα προς το Συνοικισμό Σκαρπάρι.
- 4) Μικρότερης έκτασης ήταν η κατολίπηση στη μονή Αγάθωνος κατά το σεισμό του Αλμυρού το 1980.

Σοβαρά παραδείγματα καθιζήσεων παραλιακών λωρίδων από το 1965, είναι:

- 1) Στις 31.3.65 μεταξύ Σελινούντος και Κερινίτου, τα αδρομερή υλικά των παρακτίων χειμαρρίων αποθέσεων παρουσίασαν πολλές καταβυ-

θίσεις σε μήκος 1800 μέτρων και πλάτους 4-10 μέτρων με συνολικό βάθος καθιζήσεως 2-3 μέτρα.

- 2) Στο μεγάλο σεισμό της Κατούνας το 1966 το επίχωμα της Λίμνης Αμβρακίας με τη γέφυρα στο αυλάκι επικοινωνίας του Βόρειου και Νότιου τμήματος της Λίμνης υπέστη καθίζηση 2,5 μέτρων, η οποία αποδίδεται σε ενσάκωση του υλικού του επιχώματος και των προσχώσεων της Λίμνης-το μήκος του επιχώματος που υπέστη καθίζηση ήταν 150 περίπου μέτρα. Η ανακατανομή αυτή των υλικών έχει σχέση με τη μείωση του ενεργού πορώδους μετά τη σεισμική δόνηση.
- 3) Μία πολύ σημαντική καταβύθιση συνέβη στο μικρό σεισμό του Ευλόκαστρου-Καλλιθέας ( $M = 5\frac{1}{2}$ ) στις 2 Απριλίου του 1970, όπου η παραλιακή λωρίδα εμπρός από το ξενοδοχείο Αρίων υπέστη καθίζηση 4 μέτρων περίπου. Η λωρίδα είχε μήκος 150 μέτρα και πλάτος 8-12 μέτρα. Η καθίζηση αυτή οφείλεται σε ενσάκωση των αδρομερών υλικών και όχι σε υποθαλάσσια κατολίσθηση.