

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΠΕΙΡΑΙΑ**

**Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά**

**Τμήμα Πολιτικών Δομικών Έργων**

**Πτυχιακή Εργασία**

Μελέτη των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφικών σχηματισμών σαν παράγοντας απόκρισης των κτιρίων σε σεισμικό κίνδυνο.

Κατσικώστας Χαράλαμπος

Ρούσος Κάρολος

Βασιλείου Δημήτριος

Επίβλεψη: **ΚΑΛΑΝΤΩΝΗ ΔΗΜΗΤΡΑ**

**Αιγάλεω**

**Σεπτέμβριος 2013**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	Σελ 4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></b>	
1.1 Σεισμοί.....	Σελ 5
1.1.1 Ορισμός.....	Σελ 5
1.1.2 Είδη σεισμών.....	Σελ 6
1.1.3 Είδη σεισμικών κυμάτων.....	Σελ 11
1.1.4 Μέγεθος και ένταση σεισμού.....	Σελ 14
1.1.5 Η σεισμική επικινδυνότητα της Ελλάδος.....	Σελ 19
1.1.6 Παραδείγματα σεισμών στην Ελλάδα.....	Σελ 25
<b>1.2 Μακροσεισμικά αποτελέσματα σεισμών.....</b>	<b>Σελ 26</b>
1.2.1 Γενικά.....	Σελ 26
1.2.2 Αποτελέσματα σεισμών στο έδαφος.....	Σελ 28
1.2.3 Ρευστοποίηση εδαφικών σχηματισμών.....	Σελ 32
1.2.4 Καθίζηση.....	Σελ 39
1.2.5 Αποτελέσματα σεισμών στο νερό ξηράς.....	Σελ 43
1.2.6 Αποτελέσματα σεισμών στη θάλασσα.....	Σελ 44
1.2.7 Αποτελέσματα σεισμών στις τεχνικές κατασκευές.....	Σελ 49
1.2.7α Άμεσα αποτελέσματα.....	Σελ 53
1.2.7β Έμμεσα αποτελέσματα.....	Σελ 54
1.2.8 Επίδραση των σεισμών στους ανθρώπους.....	Σελ 57
1.2.9 Αποτελέσματα σεισμών στα ζώα.....	Σελ 58

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>**

2.1 Σεισμικός κίνδυνος – Σεισμική διακινδύνευση.....	Σελ 59
2.2 Απόκριση εδαφικής στρώσης σε σεισμική διέγερση.....	Σελ 70
2.3 Είδη εδαφών.....	Σελ 82
2.4 Παράδειγμα μετάδοσης κύματος σεισμού στο Botany Bay του Σύδνεϋ της Αυστραλίας.....	Σελ 87

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

Εισαγωγή.....	Σελ 91
Ιστορία.....	Σελ 91
Δειγματοληψία.....	Σελ 93

### **3 Εργαστηριακό μέρος**

3. Περιεχόμενη υγρασία.....	Σελ 96
3.2 Ειδικά βάρη.....	Σελ 99
3.3 Όρια Atterberg.....	Σελ 102
3.4 Κοκκομετρική ανάλυση εδαφών.....	Σελ 115
3.5 Κατάταξη εδαφών.....	Σελ 131
3.6 Ανεμπόδιστη θλίψη.....	Σελ 137
3.7 Αντοχή του εδάφους σε διάτμηση – δοκιμή άμεσης διάτμησης.....	Σελ 142
3.9 Στοιχεία της περιοχής του δείγματος.....	Σελ 155
3.10 Συμπεράσματα.....	Σελ 176
Βιβλιογραφία.....	Σελ 177

## Εισαγωγή

Το μέγεθος και το είδος των σεισμικών βλαβών των κατασκευών που έχουν κατά καιρούς καταγραφεί σε διάφορες περιοχές, δείχνει τη μεγάλη επίδραση των διαφορετικών εδαφικών στρωμάτων στην ένταση και στο φασματικό περιεχόμενο της εδαφικής κίνησης στην επιφάνεια. Μολονότι η συμβολή της μορφής και της γεωμετρίας του βραχώδους υποβάθρου καθώς επίσης και της επιφάνειας του εδάφους, των διαφορετικών δυναμικών χαρακτηριστικών των εδαφών από θέση σε θέση και του πάχους της εδαφικής απόθεσης είναι καθοριστικά στοιχεία στη διαμόρφωση της σεισμικής δράσης, ωστόσο οι παράγοντες αυτοί λαμβάνονται υπόψη τις περισσότερες φορές στους αντισεισμικούς κανονισμούς μόνο κατά ένα γενικό και ίσως ατελή τρόπο.

Γενικά σκοπός της πτυχιακής μας εργασίας αυτής είναι μέσα από τις εργαστηριακές μας δοκιμές καθώς και την βιβλιογραφική έρευνα μας να προσεγγίσουμε την επίδραση των εδαφικών σχηματισμών στις πρωτογενείς και δευτερογενείς συνέπειες των σεισμών στις τεχνικές κατασκευές, δηλαδή να μελετήσουμε τη διαφορετική συμπεριφορά των εδαφών κατά την διάδοση του σεισμικού κύματος σε αυτά, καθώς και το πώς αυτή επηρεάζει το σεισμικό κίνδυνο που διατρέχει μια κατασκευή που είναι θεμελιωμένη σε κατάλληλο η μη εδαφικό στρώμα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο**

### **1.1 Σεισμοί**

#### **1.1.1 Τι είναι σεισμός**

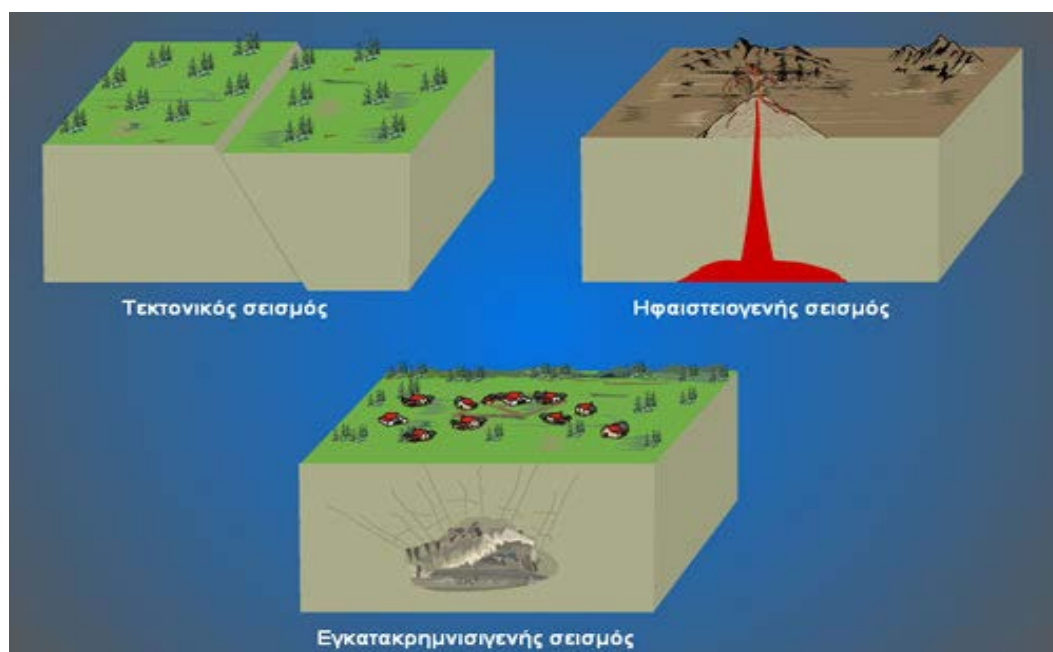
Σεισμός είναι το φυσικό φαινόμενο της δόνησης του εδάφους που δημιουργείται κατά τη διατάραξη της μηχανικής ισορροπίας των πετρωμάτων που βρίσκονται στο εσωτερικό της γης., από φυσικές αιτίες. Η ερμηνεία του φαινομένου αυτού σύμφωνα με τον Αμερικανό σεισμολόγο Reid (1910) είναι ότι λόγω των διαφόρων φυσικών αιτιών στο εσωτερικό της γης, τα πετρώματα βρίσκονται υπό την επίδραση συνεχών τάσεων που συντελούν στην ελαστική παραμόρφωση τους και τη συσσώρευση μέσα σε αυτά τεραστίων ποσών δυναμικής ενέργειας. Όταν το μέτρο των ασκούμενων σε ένα πέτρωμα τάσεων υπερβεί μια ορισμένη τιμή η οποία εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του πετρώματος, τότε αυτό παύει να είναι συνεκτικό και διαχωρίζεται σε δύο τεμάχια μεταξύ των οποίων λαμβάνει χώρα μια απότομη, σχετική μεταξύ τους κίνηση-ανάπλαση. Η επιφάνεια ως προς την οποία κινούνται τα δύο τμήματα του πετρώματος καλείται σεισμικό ρήγμα. Κατά τη διάρκεια της ολίσθησης αυτής, διαταράζεται η ισορροπία του πετρώματος και η αποθήκευση σε ορισμένο όγκο ελαστική ενέργεια παραμόρφωσης μετατρέπεται σταδιακά σε κινητική ενέργεια, θέτοντας τη μάζα του πετρώματος σε ταλάντωση που διαδίδεται σε μεγάλες αποστάσεις μέσα από τους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς σαν σεισμικό κύμα

Με την σεισμική δόνηση η συσσωρευμένη δυναμική ενέργεια που υπάρχει μετατρέπεται σε κυματική. Τα σεισμικά κύματα που δημιουργούνται, από το κέντρο του σεισμού, ταξιδεύουν προς την επιφάνεια.

## 1.1.2 Είδη Σεισμών

Οι σεισμοί κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- τους Εγκατακριμνησιγενείς,
- τους Ηφαιστειογενείς και
- τους Τεκτονικούς.



### Εγκατακριμνησιγενείς Σεισμοί

Εγκατακριμνησιγενείς είναι οι σεισμοί που πραγματοποιούνται από την πτώση μεγάλων πετρωμάτων πάνω στη Γη λόγω βαρύτητας. Τα πετρώματα αυτά είναι συνήθως οροφές διαφόρων σπηλαίων που πέφτουν και τους προκαλούν. Οι σεισμοί αυτοί έχουν μικρό μέγεθος και διαρκούν τόσο χρονικό διάστημα όσο απαιτείται για την πτώση των πετρωμάτων.

Επιπλέον είναι τοπικοί σεισμοί και καλύπτουν το 3% περίπου των σεισμών που πραγματοποιούνται πάνω στη Γη.

### Ηφαιστειογενείς Σεισμοί

Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί προηγούνται των ηφαιστειακών εκρήξεων ή και τις συνοδεύουν. Η αιτία που τους προκαλεί πιστεύεται ότι είναι η απελευθέρωση των αερίων του μάγματος το οποίο τροφοδοτεί τα ηφαίστεια μέσα από τους πόρους ή τις ρωγμές που φτάνουν έως και την επιφάνεια της Γης. Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί είναι και αυτοί κυρίως μικροί σεισμοί οι οποίοι έχουν την εστία τους σε μεγάλη απόσταση από το ηφαίστειο αλλά με την πάροδο του χρόνου πλησιάζει συνέχεια προς αυτό με όλο και μικρότερο βάθος, ενώ ταυτόχρονα γίνονται συχνότεροι. Το μέγεθός τους γενικά εξαρτάται από την αντίσταση που συναντάει το μάγμα κατά την ανύψωσή του προς την επιφάνεια της Γης. Οι ηφαιστειογενείς σεισμοί καλύπτουν το 7% περίπου του συνολικού αριθμού των σεισμών που πραγματοποιούνται στον πλανήτη μας.

### Τεκτονικοί σεισμοί

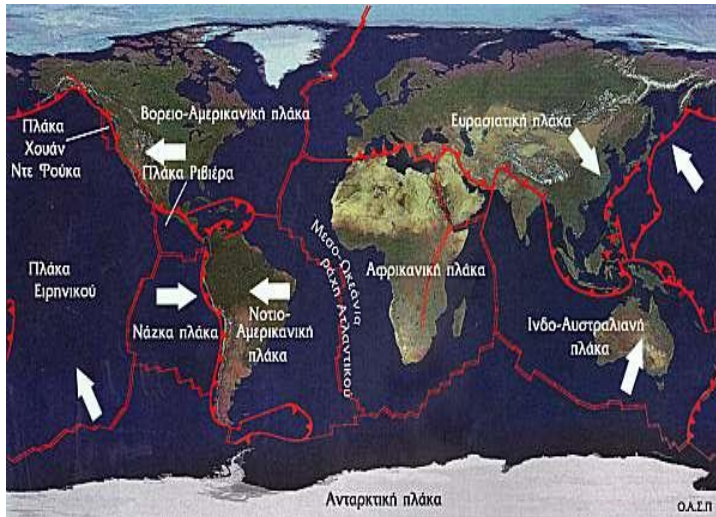
Τέλος έχουμε τους τεκτονικούς σεισμούς που είναι και η μεγαλύτερη κατηγορία των σεισμικών δονήσεων. Οι σεισμοί αυτοί έχουν συνήθως μεγάλο μέγεθος και η εστία τους μπορεί να βρίσκεται σε βάθος 700 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της Γης. Είναι οι μεγάλοι σεισμοί που πραγματοποιούνται στον πλανήτη μας. Καλύπτουν περίπου το 90% των σεισμικών δονήσεων σε ολόκληρο τον κόσμο. Στην πατρίδα μας, η οποία έχει πολύ έντονο σεισμικό πρόβλημα, όλοι σχεδόν οι σεισμοί είναι

τεκτονικοί εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις όπου οι σεισμοί είναι εγκατακριμνησιγενείς. Τα αίτια των γεωτεκτονικών κινήσεων αποδίδονται στη θεωρία των τεκτονικών πλακών.

- Οι πλάκες κινούνται λόγω **θερμικών ρευμάτων** που δημιουργούνται στο μανδύα.
- Το μάγμα που βρίσκεται πιο κοντά στο κέντρο της Γης ζεσταίνεται περισσότερο και έτσι αρχίζει να ανεβαίνει ενώ το ψυχρό που βρίσκεται πιο κοντά στη λιθόσφαιρα κάνει καθοδική κίνηση. Έτσι δημιουργούνται **κυκλικά ρεύματα** που παρασύρουν τις πλάκες που βρίσκονται από πάνω τους.
- Όταν δύο πλάκες **συγκλίνουν**, η μία βυθίζεται κάτω από την άλλη και όταν φτάνει σε μεγάλο βάθος λιώνει και γίνεται μάγμα ή συγκρούονται με αποτέλεσμα τη δημιουργία των μεγάλων οροσειρών
- Όταν **αποκλίνουν** το μάγμα αναβλύζει στο χάσμα που δημιουργείται ανάμεσά τους και πήζει δημιουργώντας νέα τμήματα φλοιού στο βυθό των ωκεανών.
- Μερικές φορές οι πλάκες κινούνται πλευρικά.

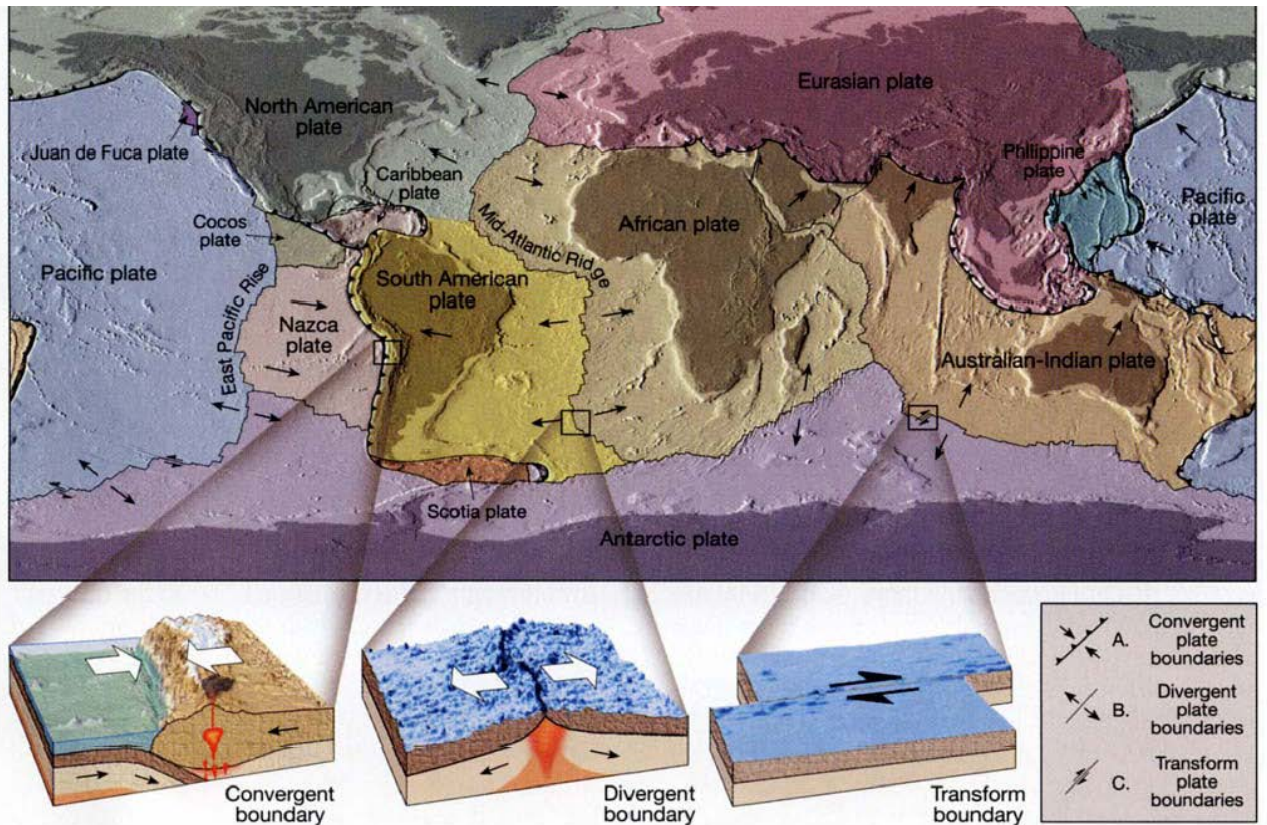


## Χάρτης Λιθοσφαιρικών Πλακών



Η λιθόσφαιρα της Γης αποτελείται από επτά μεγάλες πλάκες (Αφρικανική, Ευρασιατική, Ινδο-Αυστραλιανή, Ανταρκτική, πλάκα του Ειρηνικού, Βόρειο-Αμερικανική, Νότιο-Αμερικανική). Υπάρχουν όμως και αρκετές μικρότερες. Οι πλάκες κινούνται προς διαφορετικές διευθύνσεις. Τα βέλη δείχνουν την κίνησή τους

Χάρτης: Οι επτά κύριες και οι πέντε μικρότερες πλάκες της Γης, καθώς και οι σχετικές κινήσεις μεταξύ τους, όπως αυτές καταγράφονται σήμερα στους διάφορους τύπους.



### 1.1.3 Είδη Σεισμικών Κυμάτων

Σεισμικά κύματα είναι τα ελαστικά κύματα που παράγονται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο μέσα ή πάνω στην επιφάνεια της Γης και διαδίδονται μέσα σ' αυτήν. Υπάρχουν διάφορα είδη σεισμικών κυμάτων. Για την μελέτη της διάδοσης των σεισμικών κυμάτων γίνονται διάφορες υποθέσεις που αφορούν στις ιδιότητες των πετρωμάτων της Γης. Οι πιο βασικές από τις υποθέσεις αυτές είναι:

A) Τα πετρώματα, μέσα στα οποία διαδίδονται τα σεισμικά κύματα, έχουν απόλυτα ελαστικές ιδιότητες δηλαδή, η παραμόρφωση που παθαίνουν κατά την διέλευση των κυμάτων είναι γραμμική συνάρτηση της τάσης.

B) Τα πετρώματα είναι ισότροπα, δηλαδή οι ελαστικές τους ιδιότητες είναι ίδιες προς όλες τις διευθύνσεις.

Γ) Οι σχετικές μεταθέσεις των υλικών σημείων κατά την ταλάντωση είναι απειροστές.

Η διάδοση των σεισμικών κυμάτων στο εσωτερικό της Γης εξαρτάται από την πυκνότητα και τις ελαστικές σταθερές των σωμάτων στα οποία διαδίδονται.

Τα σεισμικά κύματα διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

1. Στα κύματα χώρου, που διαδίδονται προς κάθε διεύθυνση τόσο στα επιφανειακά στρώματα της Γης, όσο και στα βαθύτερα στρώματα αυτής μέχρι το κέντρο της. Τα κύματα χώρου διακρίνονται σε:

- Διαμήκη κύματα, ή κύματα P (primary), που μοιάζουν με τα ηχητικά κύματα, διαδίδονται σε όλες τις καταστάσεις της

ύλης και τα μόρια ταλαντώνονται κατά την διεύθυνση της διάδοσης του κύματος.

- Εγκάρσια κύματα, ή κύματα S (secondary), που διαδίδονται μόνο στα στερεά και τα μόρια του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται κατά διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Τα S και P διαφέρουν ακόμα και στην ταχύτητα διάδοσής τους.

2. Στα επιφανειακά κύματα που δεν διαδίδονται προς όλες τις διευθύνσεις, αλλά ακολουθούν ορισμένα στρώματα του επιφανειακού, βασικά, τμήματος της Γης. Τρία είναι βασικά τα είδη των επιφανειακών κυμάτων: τα κύματα Rayleigh, τα κύματα Love και τα κύματα Stonley. Τα δυο πρώτα ακολουθούν την επιφάνεια της Γης και συνήθως γράφονται με μεγάλα πλάτη από τα σεισμόμετρα, ενώ τα Stonley ακολουθούν επιφάνειες ασυνέχειας μέσα στη Γη και δεν διακρίνονται εύκολα στις σεισμικές αναγραφές. Εκτός από τις δύο αυτές μεγάλες κατηγορίες κυμάτων, υπάρχουν και άλλα είδη κυμάτων που αποτελούν συνδυασμό αυτών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τέτοια κύματα είναι τα διαυλικά κύματα.

Η ταχύτητα διάδοσης κάθε κύματος διαφέρει, ενδεικτικά φαίνονται τιμές της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων στον πίνακα που ακολουθεί

Πίνακας: Ταχύτητα σεισμικών κυμάτων

Είδος κύματος	Ταχύτητα διάδοσης
P	<p><math>V_p \sim 5 - 7 \text{ km/s}</math></p> <p>Στα πετρώματα του φλοιού</p> <p><math>&gt; 8 \text{ km/s}</math></p> <p>στο μανδύα και στον πυρήνα</p> <p><math>&gt; 1.5 \text{ km/s}</math></p> <p>στο νερό</p> <p><math>\sim 0.3 \text{ km/s}</math></p> <p>στον αέρα</p>
S	<p><math>V_s \sim 3 - 4 \text{ km/s}</math></p> <p>Στα πετρώματα του φλοιού</p> <p><math>&gt; 4.5 \text{ km/s}</math></p> <p>Στο μανδύα</p> <p><math>\sim 2.5 - 3.0 \text{ km/s}</math></p> <p>Στον στερεό πυρήνα</p>
L	<p><math>V_L \sim 2.0 - 4.4 \text{ km/s}</math></p> <p>Εξαρτάται από τη συχνότητα</p>
R	<p><math>V_R \sim 2.0 - 4.2 \text{ km/s}</math></p> <p>Εξαρτάται από τη συχνότητα</p>

Πως εντοπίζεται το επίκεντρο του σεισμού

Τα κύματα P διαδίδονται με διαφορετική ταχύτητα από τα S. Έτσι στα όργανα καταγραφής των σεισμικών κυμάτων, επειδή τα P φτάνουν πιο γρήγορα από τα S, εμφανίζεται μια χρονική διαφορά ανάμεσα στην αρχή της καταγραφής του P και στην αρχή του δεύτερου κύματος, του S, που διαφέρει από το πρώτο σε πλάτος και συχνότητα. Αυτή η διαφορά μας επιτρέπει, με κατάλληλο αλγόριθμο, να υπολογίσουμε την απόσταση ανάμεσα στο επίκεντρο και στον τόπο καταγραφής. Βέβαια με σειсмоγράφο από ένα μόνο σταθμό δεν μπορούμε να εντοπίσουμε το επίκεντρο του σεισμού, αλλά μόνο την ακτίνα της περιφέρειας με κέντρο το σταθμό καταγραφής, πάνω στην οποία βρίσκεται το επίκεντρο. Αν όμως γνωρίζουμε τις επικεντρικές αποστάσεις από τρεις μακρινούς σταθμούς, μπορούμε, χαράζοντας τρεις κύκλους με κέντρα τους σταθμούς και ακτίνα την αντίστοιχη επικεντρική απόσταση, να βρούμε την τομή των τόξων αυτών, που ορίζουν το επίκεντρο.

#### **1.2.4 Μέγεθος και ένταση του σεισμού**

##### **Μέγεθος**

Το μέγεθος του σεισμού φανερώνει το πόσο μεγάλος είναι ένας σεισμός, υπολογισμένο με βάση την κλίμακα Richter, η οποία ξεκινά από το 0, με μεγαλύτερο καταγεγραμμένο μέγεθος σεισμού 8,6. Σεισμοί πάνω από αυτό το μέγεθος δεν είναι πιθανό να γίνουν, επειδή η απελευθέρωση της τοπικά συσσωρευμένης ενέργειας θα ήταν τόσο μεγάλη, ώστε να προκαλέσει πλαστική αντί για ελαστική παραμόρφωση των περιβαλλόντων πετρωμάτων. Η κλίμακα Richter είναι λογαριθμική, που σημαίνει ότι ένας σεισμός με μέγεθος 5 είναι 10 φορές περισσότερο καταστροφικός από ότι ένας σεισμός με μέγεθος 4.

## **Ένταση**

Ένταση είναι η έκταση των καταστροφών που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, και μετριέται με βάση την τροποποιημένη κλίμακα Mercalli, η οποία κυμαίνεται από το 0 έως το 12. Η ένταση ενός σεισμού σε μία συγκεκριμένη θέση αποτελεί μία μέτρηση της βίαιης κίνησης του εδάφους που δημιουργείται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Η ένταση καθορίζεται από τις επιπτώσεις της δόνησης στους ανθρώπους, στα κτίρια, στις γεωλογικές δομές κ.α. Αντίθετα με το μέγεθος του σεισμού το οποίο έχει μία μοναδική τιμή για ένα συγκεκριμένο σεισμό, η ένταση του σεισμού σε μία θέση εξαρτάται από την απόσταση αυτής της θέσης από το επίκεντρο του σεισμού, το βάθος της εστίας, τις παρεμβαλλόμενες τοπικές δομές και το είδος της κίνησης που προκαλείται από τη δραστηριοποίηση του ρήγματος κατά τη διάρκεια ενός σεισμού.

### **Ισόσειστες καμπύλες**

Οι ισόσειστες καμπύλες απεικονίζουν την γεωγραφική κατανομή των μακροσεισμικών εντάσεων. Είναι με άλλα λόγια ο γεωμετρικός τύπος των σημείων με την ίδια ένταση. Στις περισσότερες περιπτώσεις σχεδιάζονται σαν ελλείψεις. Για τον σκοπό αυτό υπάρχει ειδικό ερωτηματολόγιο που διανέμεται στις περιοχές που έγινε αισθητός ο σεισμός. Η κατανομή των εντάσεων και η μορφή των ισόσειστων καμπύλων εξαρτάται από τον μηχανισμό γένεσης του σεισμού, από το βάθος της εστίας, από το έδαφος θεμελίωσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο μεγάλος άξονας των ισόσειστων δείχνει τον προσανατολισμό του ρήγματος. Είναι λογικό ότι όσο απομακρυνόμαστε από το επίκεντρο ο σεισμός γίνεται όλο και λιγότερο αισθητός με αποτέλεσμα να έχουμε απόσβεση της σεισμικής ενέργειας. Στην σεισμολογία αυτό ονομάζεται σχέση απόσβεσης και είναι ξεχωριστή για κάθε περιοχή.

## Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα

Πολλές κλίμακες έντασης έχουν χρησιμοποιηθεί με πρώτη την κλίμακα Mercalli. Η κλίμακα που χρησιμοποιείτε τελευταία από την επιστημονική κοινότητα είναι η Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα (EMS-98). Η κλίμακα αυτή προτάθηκε για πρώτη φορά το 1992 (XXIII ESC General Assembly, Grunthal, 1998) και στην αρχή διάνυσε μια δοκιμαστική περίοδο (παράλληλα με άλλες χρησιμοποιούμενες κλίμακες εντάσεων ώστε να συλλεχθούν εμπειρικές παρατηρήσεις, κύρια στα θέματα των κατασκευών και της τρωτότητάς τους. Σκοπός ήταν να συμπεριλάβει νέα στοιχεία, ενώ δεν αποσκοπούσε στην περιορισμένη χρήση της μόνο για την Ευρώπη. Παραδείγματα χρήσης της κατά τη δοκιμαστική περίοδο ήταν οι σεισμοί Roermond/Ολλανδία (1992), Kilarí/Ινδία (1993), Northridge/ΗΠΑ (1994), Kobe/Ιαπωνία (1995), Αίγιο/ Ελλάδα(1995), Cariaco/Βενεζουέλα (1997), Κεντρική Ιταλία(1997, 1998).

Η κλίμακα βασίζεται στην κλίμακα MSK, της οποίας η χρήση ξεκινάει στις αρχές της δεκαετίας του 1960 και η οποία αντικαθιστά προηγούμενα χρησιμοποιούμενες κλίμακες Mercalli – Cancani – Sieberg, Modified Mercalli, Medvedev κλπ.

Ο όρος «μακροσεισμική ένταση» χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των παρατηρούμενων συνεπειών της εδαφικής δόνησης εντός των ορίων μιας συγκεκριμένης περιοχής.

**Πίνακας .** Συνοπτική περιγραφή της Ευρωπαϊκής Μακροσεισμικής Κλίμακας EMS-98 (Grunthal, 1998).

<b>Μακροσεισμική Ένταση</b>	<b>Περιγραφή</b>
-----------------------------	------------------



<b>I</b>	Σεισμός όχι αισθητός, Καταγραφή μόνο από σειсмоγραφικά όργανα
<b>II</b>	Σεισμός ελάχιστα αισθητός. Από ελάχιστους μεμονωμένους ανθρώπους, ευρισκόμενους στο εσωτερικό των σπιτιών σε ησυχία.
<b>III</b>	Σεισμός ασθενής. Αισθητός από λίγους ανθρώπους στο εσωτερικό των σπιτιών που αισθάνονται έναν ελαφρύ κυματισμό ή ελαφρύ τρέμουλο. Ελαφρά δόνηση αναρτημένων αντικειμένων
<b>IV</b>	Σεισμός ευρέως παρατηρούμενος. Αισθητός από πολλούς στο εσωτερικό των σπιτιών και από λίγους στο εξωτερικό των σπιτιών. Λίγοι άνθρωποι ξυπνούν. Τα παράθυρα, οι πόρτες και τα πιατικά κροταλίζουν.
<b>V</b>	Σεισμός ισχυρός. Αισθητός από πλείστους στο εσωτερικό των σπιτιών και από λίγους στο εξωτερικό των σπιτιών. Πολλοί άνθρωποι ξυπνούν. Λίγοι άνθρωποι φοβούνται. Τα κτίρια τρέμουν. Τα κρεμασμένα αντικείμενα ταλαντώνονται έντονα. Τα μικρά αντικείμενα μετακινούνται. Πόρτες και παράθυρα ανοίγουν ή κλείνουν.
<b>VI</b>	Σεισμός με ελαφρές βλάβες. Πολλοί άνθρωποι φοβούνται και τρέχουν έξω. Μερικά αντικείμενα πέφτουν. Πολλά σπίτια εμφανίζουν ελαφρές βλάβες όχι στα δομικά τους στοιχεία (λεπτές ρωγματώσεις και πτώση μικρών κομματιών σοβά).

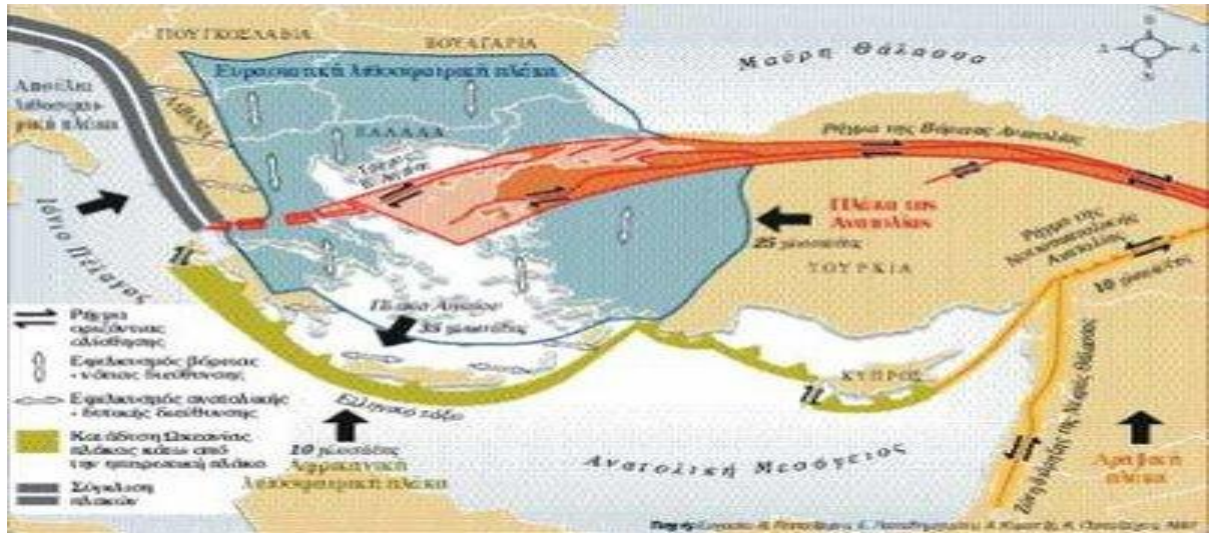
<b>VII</b>	Σεισμός με βλάβες. Πλείστοι άνθρωποι φοβούνται και τρέχουν έξω από τα σπίτια. Τα έπιπλα μετακινούνται και πολλά αντικείμενα πέφτουν από τα ράφια. Πολλά κτίρια καλής ποιότητας υφίστανται σημαντικές βλάβες (ρωγμές στους τοίχους, πτώση σοβάδων, πτώση τμημάτων καπνοδόχων). Κτίρια παλαιότερης κατασκευής υφίστανται σημαντικότερες βλάβες (μεγαλύτερες ρωγμές στους τοίχους και αστοχία συνδετικού υλικού)
<b>VIII</b>	Σεισμός με σημαντικές βλάβες. Πολλοί άνθρωποι δυσκολεύονται να σταθούν όρθιοι. Πολλά σπίτια υφίστανται μεγάλες ρωγμές στους τοίχους. Λίγα σπίτια καλής κατασκευής δείχνουν σοβαρές αστοχίες στους τοίχους, ενώ οι παλαιότερες κατασκευές είναι δυνατόν να καταρρεύσουν.
<b>IX</b>	Σεισμός καταστρεπτικός. Επικρατεί γενικός πανικός. Πολλές κατασκευές κακής ποιότητας καταρρέουν. Κατασκευές καλής ποιότητας παρουσιάζουν βαριές βλάβες (σοβαρές αστοχίες τοίχων και αστοχίες στα δομικά τους στοιχεία).
<b>X</b>	Σεισμός πολύ καταστρεπτικός. Κατάρρευση πολλών κατασκευών καλής ποιότητας.
<b>XI</b>	Σεισμός σαρωτικός. Πλείστες κατασκευές καλής ποιότητας καταρρέουν, ενώ υπάρχουν καταστροφές και σε μερικές αντισεισμικές κατασκευές.
<b>XII</b>	Σεισμός ολοκληρωτικά σαρωτικός. Σχεδόν όλα τα κτίρια καταστρέφονται.

Μια από τις τάσεις της Ομάδας Εργασίας ήταν η Ευρωπαϊκή Κλίμακα να μη μεταβάλλει την εσωτερική φιλοσοφία της δωδεκαβάθμιας μακροσεισμικής κλίμακας, γιατί αυτό θα δημιουργούσε σύγχυση και θα οδηγούσε σε ολική επαναξιολόγηση όλων των προηγούμενων δεδομένων με επιπτώσεις στην εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου, στην οποία η μακροσεισμική ένταση είναι σημαντικό στοιχείο. Από την άλλη πλευρά έπρεπε να εισαχθούν οι νέοι τύποι κτιρίων ιδιαίτερα αυτοί που ακολουθούν σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς, μια καθαρότητα στις εκφράσεις των περιγραφών, την αναθεώρηση των συνεπειών των σεισμών στο περιβάλλον (κατολισθήσεις, καταπτώσεις βράχων, ρωγμές στο έδαφος), την άρση της σύγχυσης μεταξύ των εντάσεων VI και VII κá. Ωστόσο η Ομάδα Εργασίας κατέληξε στο ότι η 12βάθμια κλίμακα ουσιαστικά είναι 10βάθμια δεδομένου ότι ένταση I σημαίνει ότι δεν παρατηρήθηκε καμία συνέπεια, ενώ οι εντάσεις XI και XII, πέραν του ότι είναι σπάνια παρατηρούμενες, είναι και δύσκολο να διακριθούν.

Μια σημαντική καινοτομία της EMS98 είναι η προσπάθεια ποσοτικοποίησης διαφόρων εννοιών όπως «ποσότητα», «τρωτότητα», «βλάβες».

### **1.1.5 Η σεισμική επικινδυνότητα της Ελλάδος**

Ο Ελλαδικός χώρος αποτελεί τμήμα της αλπικής Ευρώπης, με ιδιαίτερα γεωλογικά χαρακτηριστικά τόσο σε ευρωπαϊκή όσο και σε παγκόσμια κλίμακα. Οι γεωλογικές ιδιαιτερότητες της Ελλάδας οφείλονται στη μετωπική της θέση στο πιο δραστήριο γεωλογικά τμήμα του ενεργού νότιου ηπειρωτικού περιθωρίου της ευρωπαϊκής πλάκας που προελαύνει προ Νότο, κάτω από το οποίο υποβυθίζονται τα ακραία και αρχαιότερα υπολείμματα ωκεάνιας λιθόσφαιρας της αφρικανικής πλάκας (δηλαδή του ωκεανού της Τηθύος) που κινείται προς βορρά.



Σχηματική απεικόνιση του σημερινού ελληνικού τόξου. Φαίνεται η ευρασιατική πλάκα και η υποβυθιζόμενη αφρικανική πλάκα (τα βέλη δείχνουν τη φορά της υποβύθισης). Από την ανάταξη των πετρωμάτων της τελευταίας παράγεται μάγμα, που ανερχόμενο στην επιφάνεια δημιουργεί το τόξο των ηφαιστειών του Αιγαίου. Η προστριβή των δύο πλακών παράγει σεισμούς στα Ιόνια νησιά και στο νότιο Αιγαίο (Κρήτη, Δωδεκάνησα).

Λόγω του καμπυλόγραμμου σχήματος του, το ελληνικό τμήμα της ενεργής αυτής δομής ονομάζεται ελληνικό ορογενετικό τόξο (Hellenic orogenic arc), ή πιο απλά ελληνικό τόξο, και συνεχίζεται δυτικά με το αντίστοιχο τόξο της Καλαβρίας (νότια Ιταλία) κι ανατολικά με το τόξο της Κύπρου. Η γενική γεωμετρία του Ελληνικού τόξου χαρακτηρίζεται από μια βασική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ στα Ιόνια νησιά και τη δυτική Ελλάδα- Πελοπόννησο, που κάμπτεται σε Α-Δ από τα Κύθηρα στην Κρήτη και κατόπιν γίνεται ΝΔ-ΒΑ στα Δωδεκάνησα (Κάσος, Κάρπαθος, Ρόδος) μέχρι τα ΝΔ μικρασιατικά παράλια. Η γεωμετρία αυτή αποτυπώνεται στις βασικές δομές του αλπικού τεκτονικού ιστού και σ' αυτήν οφείλεται η προσανατολισμένη διάταξη των μεγάλων οροσειρών

(Πίνδος, βουνά Πελοποννήσου-Κρήτης κτλ.), χερσονήσων, νησιωτικών συγκροτημάτων κτλ. που παρατηρούμε στο χάρτη της Ελλάδας.

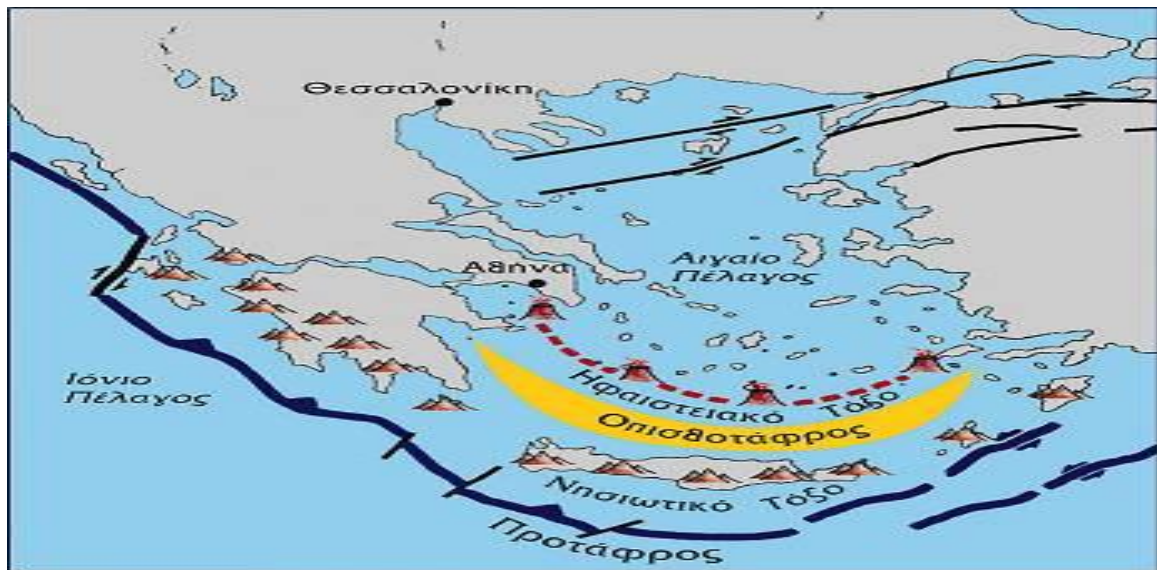
Πρόσφατα δεδομένα γεωδαιτικών μετρήσεων από δορυφόρους έδειξαν ότι η Αφρική κινείται προς Βορρά με ταχύτητα γύρω στο 1cm/έτος, ενώ η Κρήτη χονδρικά προς Νότο με ταχύτητα περίπου 4 cm/έτος. Συνεπώς η συνολική ταχύτητα σύγκλισης Ευρώπης και Αφρικής στο ελληνικό τόξο φτάνει στη σημαντική τιμή των περίπου 5cm/έτος, γι' αυτό και η σεισμικότητα του ελλαδικού χώρου είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη στα γειτονικά τόξα της Καλαβρίας και της Κύπρου, όπου οι ταχύτητες σύγκλισης είναι σαφώς μικρότερες, αλλά και η μεγαλύτερη σ' ολόκληρη την ευρωπαϊκή ήπειρο. Τα στοιχεία αυτά καταδεικνύουν ότι το ελληνικό τόξο είναι σήμερα η πιο ενεργή γεωλογική δομή της Ευρώπης, γεγονός που οφείλεται στην κατανομή των λιθοσφαιρικών κινήσεων στον ευρύτερο χώρο μας. Πιο συγκεκριμένα, ο χώρος του Αιγαίου (και κατ' επέκταση το ελληνικό τόξο) δέχεται έντονη πίεση από το ηπειρωτικό τμήμα της Ανατολίας (Τουρκία), που κινείται προς την πλευρά μας κατά μήκος του μεγάλου ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης (μετασχηματισμού) της βόρειας Ανατολίας. Στην κίνηση αυτή εξαναγκάζεται η Ανατολία από το την προς Βορρά κίνηση της Αραβικής πλάκας οπότε η εκτόνωση των σωρευμένων τάσεων γίνεται πλευρικά, κυρίως προς τα δυτικά (μέσω του ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας) και σε μικρότερο βαθμό προς τα ανατολικά (Ιράν). Στο χώρο της μικροπλάκας του Αιγαίου έχει πλέον ολοκληρωθεί το στάδιο ολικής συμπίεσης του ωκεανού της Τηθύος και ήδη βρισκόμαστε στο στάδιο της τελικής σύγκρουσης της Ευρωπαϊκής με την Αφρικανική πλάκα , με πλήρη εξαφάνιση της Τηθύος.

Συνεπώς το ελληνικό τόξο αποτελεί το μοναδικό πρότυπο σε παγκόσμια κλίμακα, που αποτυπώνει έναν κρίσιμο μεταβατικό κρίκο στον εξελικτικό κύκλο των ωκεανών.

## Περιγραφή του Ελληνικού τόξου

Στις ζώνες σύγκλισης μιας ηπειρωτικής και μιας ωκεάνιας πλάκας διαμορφώνεται στην επιφάνεια μια σχεδόν σταθερά απαντώμενη διάταξη επιμέρους χώρων, με βασικό στοιχείο την τριλογία "τάφρος-τόξο-οπισθοτάφρος", και βέβαια το ηφαιστειακό τόξο, που όμως η θέση εκδήλωσης του συναρτάται με την εκάστοτε γωνία υποβύθισης. Καθένας απ' αυτούς τους χώρους αποτελεί μια ιδιαίτερη μορφολειτουργική δομή στα πλαίσια του συνολικού ορογενετικού τόξου. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και στο ελληνικό ορογενετικό τόξο, όπου παρατηρείται μια αλληλουχία επιμέρους τμημάτων (δομών), προσανατολισμένων παράλληλα προς τη γεωμετρία του. Οι δομές αυτές, από Νότο (Μεσόγειος) προς Βορρά (Αιγαίο), είναι κατά σειρά οι εξής: Ελληνική Τάφρος Ελληνικό νησιωτικό τόξο Οπισθοταφρική λεκάνη του Κρητικού πελάγους Ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου

Η τάφρος δημιουργείται κατά μήκος της επαφής των δύο πλακών. Πρόκειται για ένα σύστημα τάφρων, μία σειρά από βαθιές θαλάσσιες λεκάνες από τη Ρόδο έως και την Κεφαλονιά (γνωστή και ως ελληνική διάυλος) Το μέγιστο βάθος της εντοπίστηκε νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου στο Ιόνιο πέλαγος (βάθος περίπου 4.500m). Αυτό είναι το βαθύτερο σημείο της Μεσογείου. Το νησιωτικό τόξο αποτελείται από μία σειρά διαδοχικών νησιών όπως η Ρόδος, η Κρήτη, τα Κύθηρα και από την Πελοπόννησο. Τοποθετείται παράλληλα ως προς την τάφρο και σε μικρή απόσταση από αυτήν. Το τόξο αυτό δημιουργείται από την παραμόρφωση και ανύψωση πετρωμάτων (κυρίως ιζηματογενών) του περιθωρίου της Ευρασιατικής πλάκας και περιλαμβάνει πολύ παραμορφωμένα πετρώματα της Αλπικής πτύχωσης.



Το Ελληνικό τόξο (Παπανικολάου Δ., 1998).

Η **οπισθοτάφρος** είναι μία θαλάσσια λεκάνη (Κρητικό πέλαγος), μικρότερου βάθους από την τάφρο. Το μέγιστο βάθος της φτάνει τα 2.000m περίπου. Η λεκάνη αυτή βρίσκεται μπροστά από το νησιωτικό τόξο και πάνω στην Ευρασιατική πλάκα.

Το **ηφαιστειακό τόξο** αποτελείται από διαδοχικά ηφαίστεια (ενεργά και ανενεργά) Σουσαάκι, Μέθανα, Μήλος, Σαντορίνη, Νίσυρος. Η δημιουργία τους οφείλεται σε ανάτηξη υλικού της υποβυθιζόμενης Αφρικανικής πλάκας. Κατά την άνοδό του το υλικό αυτό διαπερνά την Ευρασιατική πλάκα και σχηματίζει τα ηφαίστεια. Όσον αφορά την περιοχή του Β. Αιγαίου, βασικό της μορφολογικό χαρακτηριστικό είναι η τάφρος του Βορείου Αιγαίου, με βάθος 1.500m περίπου.





Εικόνα: Σχηματική αποτύπωση των δυνάμεων που ασκούνται στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου. Οι συμπιεστικές δυνάμεις Σ<sub>1</sub>, Σ<sub>2</sub> και Σ<sub>3</sub> που ασκούν οι γειτονικές λιθосφαιρικές πλάκες στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου απεικονίζονται με τα κόκκινα βέλη. Οι εφελκυστικές δυνάμεις που ασκούνται στην κάτω επιφάνεια της λιθόσφαιρας με τα κίτρινα βέλη (Παπαζάχος 1998)



### 1.1.6 Παραδείγματα σεισμών στην Ελλάδα

- Το 464 π.Χ. στη Σπάρτη με 20.000 θύματα.
- Το 365 π.Χ. στα βόρεια της Κρήτης, κατέστρεψε πόλεις και προκάλεσε χιλιάδες θανάτους από τον Νείλο έως το Ντουμπρόβνικ και συνοδεύτηκε από ανύψωση των δυτικών ακτών της Κρήτης κατά περίπου 10 m.
- Το 1881 έγινε στη Χίο ισχυρός σεισμός γ η χ ρ ς μ ς με 3.500 και πλέον θύματα.
- Το 1894 το ρήγμα της Αταλάντης προκάλεσε καταστρεπτικούς σεισμούς με 250 περίπου νεκρούς και επιφανειακή ρηγμάτωση μήκους 55 χιλιομέτρων.
- Το 1953 στα νησιά του Ιονίου και ιδιαίτερα στην Κεφαλονιά, στην Ιθάκη και στη Ζάκυνθο συνέβη καταστροφικός σεισμός με 500 περίπου θύματα.
- Το 1978 στην περιοχή της Βόλβης συνέβη σεισμός που έπληξε τη Θεσσαλονίκη και είχε 45 νεκρούς.
- Το 1981 στις Αλκυονίδες, έπληξε την Αθήνα και είχε 20 θύματα.
- Το 1986 στην Καλαμάτα με σημαντικές ζημιές και 20 νεκρούς.
- Το 1995 μεγάλος σεισμός στο Αίγιο προκάλεσε 15 θανάτους.
- Τον Σεπτέμβριο του 1999 ισχυρός σεισμός έπληξε την Αθήνα προξενώντας θύματα και εκτεταμένες υλικές ζημιές

## 1.2 ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

### 1.2.1 Γενικά

Ονομάζουμε μακροσεισμικά αποτελέσματα τις επιπτώσεις που έχουν οι σεισμοί στους ανθρώπους, στα ζώα, στις τεχνικές κατασκευές, στο έδαφος, στο νερό, κτλ. Τα αποτελέσματα ονομάζονται πρωταρχικά όταν η αιτία που τα προκαλεί είναι καθαυτή η γένεση των σεισμικών κυμάτων (του σεισμού) ενώ όσα προκαλούνται από την διέλευση των σεισμικών κυμάτων από έναν τόπο λέγονται επακόλουθα αποτελέσματα. Όσα από τα αποτελέσματα παραμένουν και μετά τον σεισμό λέγονται μόνιμα ενώ όσα παρατηρούνται μόνο κατά την διάρκεια του σεισμού ονομάζονται παροδικά αποτελέσματα.

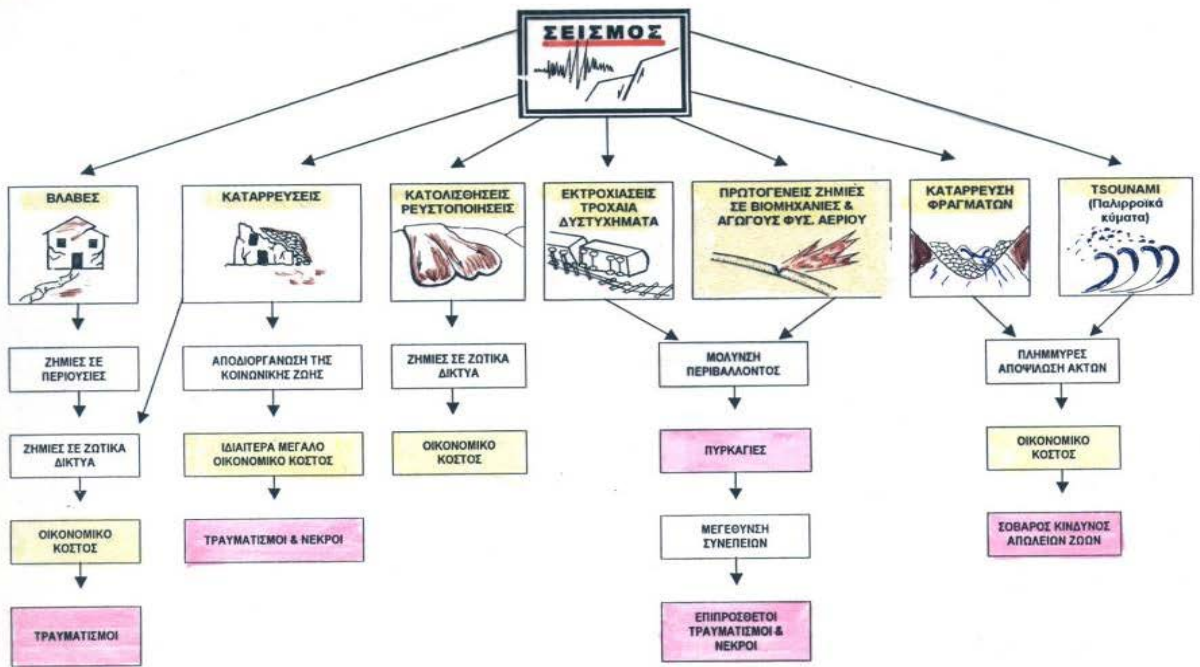
Τα μακροσεισμικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν δυο τύπους αποτελεσμάτων:

α)τα πρωτογενή αποτελέσματα τα οποία οφείλονται στη μετατόπιση των τεμαχών εκατέρωθεν της επιφανειακής διάρρηξης του σεισμικού ρήγματος και προκαλούν τεράστιες καταστροφές στα έργα τα οποία είναι χτισμένα επί του ρήγματος.

Είναι μακροσεισμικά αποτελέσματα τα οποία είναιάμεσες συνέπειες των αιτιών στα οποία οφείλεται η γένεση των σεισμικών κυμάτων,όπως είναι η σχετική κίνηση των πλευρών του σεισμικού ρήγματος.

β)τα δευτερογενή αποτελέσματα είναι τα υπόλοιπα αποτελέσματα τα οποία προ-καλούνται από σεισμικά κύματα κατά τη διέλευσή τους από το τόπο παρατήρησης.

Οφείλονται στην εδαφική κίνηση κατά τη διάρκεια της διέλευσης των σεισμικών κυμάτων.



Ο Σεισμός ως καταστροφικό φαινόμενο με τις πρωτογενείς και δευτερογενείς συνέπειες

## 1.2.2 Αποτελέσματα σεισμών στο έδαφος

Παρατηρούνται στο έδαφος εδαφικές διαρρήξεις που διακρίνονται σε εδαφικές ρωγμές και χάσματα

-**εδαφικές ρωγμές**, δηλαδή επιφανειακές μικρές σχισμές που οφείλονται σε ολισθήσεις ή σε μετακίνηση πολύ μικρών τεμαχίων του εδάφους.

-**εδαφικά χάσματα**, αυτά έχουν μήκη που φθάνουν σε δεκάδες ή εκατοντάδες χιλιόμετρα τα ορατά βάθη τους φθάνουν περίπου τα 100m και το άνοιγμά τους μόλις λίγα μέτρα. Αυτά θεωρούνται ως τα επιφανειακά ίχνη των ρηγμάτων και μας δίνουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την γένεση του σεισμού (μηχανισμός γένεσης).-**εδαφικές κατολισθήσεις**, προκαλούνται από την ελάττωση των δυνάμεων τριβής που προκαλεί ο σεισμός μεταξύ διαφόρων στρωμάτων του εδάφους.

Εδαφικές διαρρήξεις



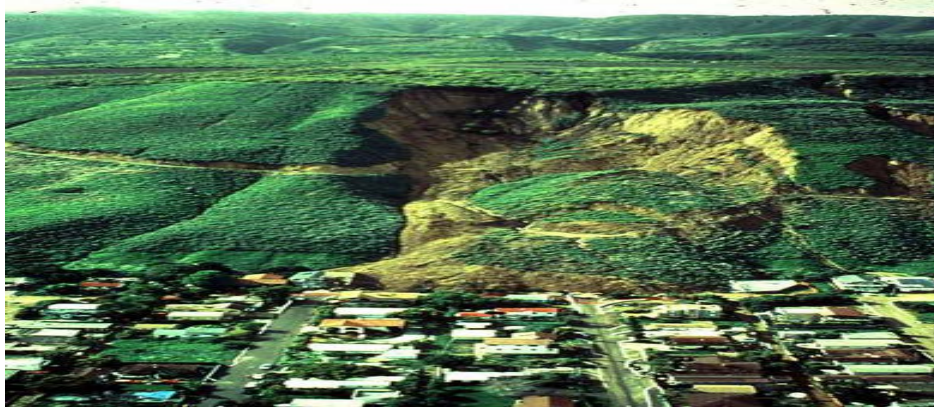
## Σεισμικό ρήγμα



Έχουμε κατολίσθηση ιδιαίτερα όταν ψαθυρά (χαλαροί σχηματισμοί) στρώματα επικάθονται πάνω σε συνεκτικά (σκληρά πετρώματα). Επίσης είναι δυνατόν να κατολισθήσουν βράχοι που βρίσκονται σε σχετικά ασταθή ισορροπία. Έχουν παρατηρηθεί περιπτώσεις που κατολισθήσεις εξαφάνισαν ολόκληρα χωριά προκαλώντας τον θάνατο σε ένα μεγάλο αριθμό ατόμων.



## Παραδείγματα κατολισθήσεων



## Εδαφικές βαθύνσεις

Έχουν συνήθως σχήμα χωνιού και σχηματίζονται πάνω από τα ρήγματα ή από υπόγειες καταπτώσεις. Αν γεμίσουν με νερό σχηματίζουν τέλματα, ενώ αν βγαίνει υγρή άμμος ή λάσπη σχηματίζουν αμμώδεις ή βορβορώδεις αναβλύσεις.



**υψομετρικές μεταβολές**, παράγονται από την γένεση μεγάλων σεισμών με κατάπτωση ή έξαρση τεμαχών ξηράς μεγάλων διαστάσεων. Είναι έντονα ορατές κυρίως σε παράκτιες περιοχές λόγω της μόνιμης μετάθεσης των ακτών πάνω από την στάθμη της θάλασσας. Διακρίνουμε τότε μία λευκή γραμμή που σχηματίζουν πάνω στο μέρος της ακτής που ανυψώνεται τα λείψανα των οστράκων που ζούσαν κάτω από το νερό πριν την ανύψωση στο σημείο εκείνο.

**ρευστοποίηση του εδάφους**, το έδαφος αποτελείται από συσσώρευση κόκκων άμμου οι οποίοι συγκρατούνται μεταξύ τους με δυνάμεις τριβής ενώ η πίεση του νερού μέσα στους πόρους είναι χαμηλή. Με την γένεση σεισμού η δομή διασπάται η πίεση του νερού αυξάνει με συνέπεια οι δυνάμεις τριβής ανάμεσα στους κόκκους να μειώνεται, έτσι ώστε το υλικό στο τέλος συμπεριφέρεται σαν ρευστό. Οι καταστροφές των κτιρίων σε τέτοιο φαινόμενο είναι οι βυθίσεις ή οι κλίσεις.

## Παραδείγματα από ρευστοποιήσεις



Αλασκα, 1964

Niigata(japan)1964



Mexico, city 1985

### 1.2.3 Ρευστοποίηση εδαφικών σχηματισμών

#### Γενικά

Μη συνεκτικοί κορεσμένοι εδαφικοί σχηματισμοί έχουν την τάση όταν υπόκεινται σε άμεση φόρτιση κάτω από αστράγγιστες συνθήκες να τείνουν προς συμπύκνωση, όμως λόγω της αδυναμίας μεταβολής του όγκου τους παρουσιάζεται αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων τους με ταυτόχρονη μείωση έως και μηδενισμό της διατμητικής τους αντοχής.



Κατά την παραπάνω διαδικασία μετατρέπεται η κατάσταση αυτών των εδαφικών στρωμάτων από τη στερεά στη ρευστή φάση, δηλαδή προκαλείται ρευστοποίηση αυτών. Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται αναλυτικά ο μηχανισμός δημιουργίας του φαινομένου καθώς επίσης και οι κατηγορίες στις οποίες διακρίνεται. Βασικό ρόλο στην πρόκληση ρευστοποίησης διαδραματίζουν οι συνθήκες κάτω από τις οποίες οι εδαφικοί σχηματισμοί συναντώνται στη φύση. Αυτοί οι μη συνεκτικοί λεπτόκοκκοι κορεσμένοι σχηματισμοί έχουν μεγάλες πιθανότητες ρευστοποίησης, όμως πριν το στάδιο της τελικής εκτίμησης του δυναμικού αυτής, επιβάλλεται η εξέταση συγκεκριμένων κριτηρίων τα οποία καθιστούν ένα εδαφικό υλικό επιδεκτικό προς ρευστοποίηση. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στις προϋποθέσεις τις οποίες πρέπει να πληρεί ένας εδαφικός σχηματισμός ώστε να χαρακτηριστεί εν δυνάμει ρευστοποιήσιμος. (Kramer, 1996).

### **Μηχανισμός Πρόκλησης Ρευστοποίησης**

Η αύξηση της πίεσης των πόρων μη συνεκτικών κορεσμένων εδαφικών σχηματισμών η οποία προκαλείται από δυναμικού τύπου δονήσεις (σεισμικές ταλαντώσεις ) υπό αστράγγιστες συνθήκες, μπορεί να επιφέρει τη μείωση έως και την απώλεια της διατμητικής αντοχής του υλικού δημιουργώντας το φαινόμενο της ρευστοποίησης. Η διαδικασία αυτή παρατηρείται κυρίως σε ομοιόμορφα χαλαρά, λεπτά έως μεσοκοκκώδη, ιζήματα. Ο όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή αυτής της κατάστασης είναι *ρευστοποίηση εδαφικών σχηματισμών*. (Kramer, 1996).

Τα φαινόμενα ρευστοποίησης διακρίνονται με βάση το μηχανισμό γένεσης σε δύο γενικές κατηγορίες: την εδαφική ροή (flow failure) και την ανακυκλική κινητικότητα (cyclic mobility). Μολονότι η εδαφική ροή παρουσιάζει λιγότερες πιθανότητες εμφάνισης από την ανακυκλική

κινητικότητα, οι επιπτώσεις της είναι αρκετά πιο σοβαρές. Η εδαφική ροή συναντάται συνήθως σε χαλαρά μη συνεκτικά ιζήματα τα οποία είναι τοποθετημένα σε πρανή με σημαντική κλίση και στα οποία η διατμητική τάση η οποία απαιτείται για τη στατική ισορροπία της εδαφικής μάζας είναι μεγαλύτερη από την υπολειπόμενη διατμητική αντοχή του εδάφους

Οι εφαρμοσμένες ανακυκλιζόμενες τάσεις οδηγούν τον εδαφικό σχηματισμό σε αστάθεια καθώς η αντοχή του μειώνεται με αποτέλεσμα οι υπάρχουσες στατικές φορτίσεις να προκαλέσουν στη συνέχεια την δημιουργία εδαφικής ροής. Ένα τέτοιο μηχανισμό μονοτονικής φόρτισης αποτελεί η διάβρωση του πόδα ενός πρανού ή αντίστοιχα η φόρτιση της κεφαλής του. Το συγκεκριμένο φαινόμενο χαρακτηρίζεται από την απότομη εμφάνιση, την ταχύτατη κίνηση και τη μεγάλη σε κλίμακα απόσταση στην οποία μπορεί να κινηθούν τα υλικά του ρευστοποιημένου εδάφους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εμφάνισης εδαφικής ροής αποτελούν οι αστοχίες των φραγμάτων Sheffield και Lower San Fernando. Η ανακυκλική κινητικότητα (cyclic mobility) η οποία χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης, μπορεί να προκληθεί σε περιοχές χωρίς ή με μικρή κλίση (έως 3ο) ενώ οι επιπτώσεις αυτής χαρακτηρίζονται ελαφριές έως πολύ σοβαρές. Στην παρούσα έρευνα θα ασχοληθούμε κυρίως με τη δημιουργία φαινομένων ανακυκλικής κινητικότητας και τις προκαλούμενες από αυτήν εδαφικές παραμορφώσεις και μετατοπίσεις. Σε αντίθεση με την εδαφική ροή, φαινόμενα ρευστοποίησης λόγω ανακυκλικής κινητικότητας προκαλούνται όταν η στατική διατμητική τάση είναι μικρότερη της διατμητικής αντοχής του εδαφικού σχηματισμού. (Olson, 2001)

## Διαδικασία Ρευστοποίησης

Όταν ένας χαλαρός κοκκώδης εδαφικός σχηματισμός υπόκειται σε ανακυκλική δόνηση, όπως στην περίπτωση ενός σεισμού, τότε επιδεικνύει τάση συμπίκνωσης δηλαδή μεταβολής του όγκου. Συγκεκριμένα, οι κόκκοι από τους οποίους αποτελείται το εδαφικό υλικό μετακινούνται έχοντας ως στόχο την μείωση των μεταξύ τους κενών (Olson, 2001). Όμως, η παρουσία νερού σε αυτά τα κενά, στην περίπτωση κορεσμένων χαλαρών εδαφών σε αστράγγιστες συνθήκες, εμποδίζει αυτήν την μετατόπιση. Αυτή η πίεση που μεταφέρεται στο νερό των πόρων, λόγω των αστράγγιστων συνθηκών δεν μπορεί να εκτονωθεί με συνέπεια την απότομη αύξηση της πίεσης των πόρων  $u$ . Η συνεχιζόμενη αύξηση της  $u$  αντιστοιχεί σε μείωση της διατμητικής αντοχής του εδάφους έως και την πλήρη απώλεια αυτής σύμφωνα με τον νόμο του Coulomb:

$$\tau = \sigma' \tan \phi'$$

όπου  $\sigma' = \sigma - u$ ,  $\sigma$ : τάση,  $\sigma'$ : ενεργή τάση,  $\phi'$ : ενεργός (δρώσα) γωνία τριβής και  $u$ : πίεση των πόρων. Ο όρος της συνοχής  $c$  δεν υπάρχει διότι αναφερόμαστε σε μη συνεκτικά εδάφη.

Στο στάδιο αυτό, το οποίο ονομάζεται *ολική ρευστοποίηση*, η πίεση του νερού των πόρων, το οποίο δεν έχει απεγκλωβιστεί από το εδαφικό στρώμα, ανταποκρίνεται στην πίεση που ασκούν τα υπερκείμενα στρώματα διατηρώντας τον όγκο του σχηματισμού. Παράλληλα οι δυνάμεις σύνδεσης μεταξύ των κόκκων, ο δομικός ιστός, του εδάφους έχει καταρρεύσει με αποτέλεσμα αυτό να συμπεριφέρεται πλέον ως ρευστό. Η εκτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων στη συνέχεια θα προκαλέσει την αύξηση της πυκνότητας του εδάφους και την ταυτόχρονη μείωση του όγκου του. Η ποσότητα του νερού που παρέμεινε εγκλωβισμένη στο ίζημα, θα διοχετευτεί προς την επιφάνεια λόγω της

μεγάλης υδραυλικής κλίσης παρασέρνοντας εδαφικό υλικό. Η διάρκεια αυτής της ροής προς την επιφάνεια εξαρτάται από το χρόνο που χρειάζεται για να αποκατασταθεί η υδραυλική ισορροπία στην εδαφική στήλη. Έτσι λοιπόν, είναι σύνηθες φαινόμενο η συνέχιση αυτής της ροής και μετά το τέλος της σεισμικής δόνησης. (Olson, 2001).

### **Προϋποθέσεις πρόκλησης Ρευστοποίησης**

Η εκτίμηση του δυναμικού ρευστοποίησης ενός εδαφικού σχηματισμού αποτελεί ένα από τα αντικείμενα των γεωτεχνικών μελετών, οι οποίες πραγματοποιούνται στο πλαίσιο εξέτασης της σεισμικής διακινδύνευσης μιας συγκεκριμένης θέσης. Προκειμένου να θεωρηθεί ένα έδαφος εν δυνάμει ρευστοποιήσιμο θα πρέπει να πληρεί ορισμένες προϋποθέσεις, η εξέταση των οποίων είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί πριν την τελική εκτίμηση της πιθανότητας ρευστοποίησης του συγκεκριμένου εδαφικού σχηματισμού. Από τα αποτελέσματα αυτής της προκαταρκτικής εξέτασης της επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση των εδαφικών σχηματισμών θα προκύψει η αναγκαιότητα ή όχι της περαιτέρω μελέτης του δυναμικού ρευστοποίησης αυτών. Ως επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση ενός εδαφικού σχηματισμού ορίζεται η ικανότητα του εδάφους να ρευστοποιείται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Από τη μελέτη ιστορικών περιστατικών εμφάνισης ρευστοποίησης, στα οποία έγινε συσχετισμός κυρίως των γεωλογικών, υδρογεωλογικών και φυσικών χαρακτηριστικών των ρευστοποιηθέντων εδαφικών υλικών ορίστηκαν τα κριτήρια επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση ενός εδαφικού σχηματισμού τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια .

## **Γεωλογική ηλικία εδαφικών σχηματισμών**

Η γεωλογική ηλικία καθώς και το περιβάλλον απόθεσης του εδαφικού σχηματισμού αποτελούν βασικά κριτήρια για την ταξινόμηση του εξεταζόμενου εδάφους ως επιδεκτικού προς ρευστοποίηση. Κορεσμένες, χαλαρές και ψαθυρές αποθέσεις παρουσιάζουν το μεγαλύτερο βαθμό επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση (Youd, 1998). Επειδή η πυκνότητα και ο βαθμός συγκόλλησης των εδαφών αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου, η αύξηση της αντοχής έναντι ρευστοποίησης των σχηματισμών θα είναι ανάλογη της ηλικίας τους. Κατά συνέπεια νεότερες αποθέσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση από παλιότερες (Kramer, 1996). Εδαφικοί σχηματισμοί ηλικίας Άνω Ολοκαίνου είναι περισσότερο επιδεκτικοί προς ρευστοποίηση από σχηματισμούς του Ολοκαίνου, ενώ ρευστοποίηση εδαφών Πλειστοκαινικής ηλικίας έχει προκληθεί σε συγκεκριμένες περιστάσεις. Τέλος, δεν έχουν παρατηρηθεί σύγχρονα φαινόμενα ρευστοποίησης σε ιζήματα προ – Πλειστοκαίνου (Obermeier, 1996).

## **Γεωμορφολογικά Κριτήρια**

Σημαντικό ρόλο στην επιδεκτικότητα ρευστοποίησης ενός σχηματισμού παίζει επίσης το περιβάλλον απόθεσης του. Όταν οι συνθήκες επιτρέπουν την απόθεση ενός ομοιόμορφου ταξινομημένου σχηματισμού σε χαλαρή κατάσταση τότε αυτό συνεπάγεται την υψηλή επιδεκτικότητα της απόθεσης. Έτσι λοιπόν ποτάμιες, κολλούβιες και αιολικές αποθέσεις είναι επιδεκτικές προς ρευστοποίηση όταν βρίσκονται σε κορεσμένο στάδιο (Kramer, 1996). Φαινόμενα ρευστοποίησης έχουν παρατηρηθεί σε σχηματισμούς αλλουβιακών ριπιδίων, σε αλλουβιακές πεδιάδες και σε δελταικές αποθέσεις με μικρότερη όμως συχνότητα. Ειδική αναφορά πρέπει να γίνει στις ανθρωπογενείς αποθέσεις, όπως επιχώσεις και φίλτρα

φραγμάτων, στις οποίες δεν έχει πραγματοποιηθεί συμπύκνωση μετά την τοποθέτησή τους και οι οποίες σε περίπτωση κορεσμού συγκαταλέγονται στα εδάφη με μεγάλη επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση.

### **Υδροφόρος Ορίζοντας**

Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο της διαδικασίας ρευστοποίησης, απαραίτητη και αναγκαία προϋπόθεση για τη ρευστοποίηση ενός εδάφους είναι να βρίσκεται σε κορεσμένη κατάσταση, δηλαδή να βρίσκεται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα, οπότε η στάθμη του υδροφόρου επηρεάζει την επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση του (Youd, 1998). Καθώς η αντοχή έναντι ρευστοποίησης ενός στρώματος σε μια στρωματογραφική στήλη αυξάνεται όταν αυξάνεται η πίεση των υπερκείμενων (γεωστατική τάση) και η ηλικία του, δηλαδή είναι ανάλογη του βάθους αφού και οι δύο παράγοντες αυξάνονται με αυτό, τότε θα αυξάνεται και με το βάθος της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Συνεπώς, όσο πιο χαμηλή είναι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα τόσο μεγαλύτερη αντίσταση θα προβάλλει το συγκεκριμένο εδαφικό στρώμα σε ενδεχόμενη πιθανότητα ρευστοποίησης. Αποτελέσματα γεωτεχνικών ερευνών σε θέσεις εμφάνισης ρευστοποίησης έδειξαν ότι τα περισσότερα περιστατικά παρουσιάστηκαν σε περιοχές όπου η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρισκόταν έως 3 μέτρα βάθος από την επιφάνεια, μερικές εμφανίσεις συνδέονται με βάθος στάθμης υδροφόρο έως τα 10 μέτρα, ενώ ελάχιστες είναι οι περιπτώσεις ρευστοποίησης σε θέσεις όπου η υδροστατική στάθμη βρισκόταν σε βάθη μεγαλύτερα των 15 μέτρων .

## Σχετική Πυκνότητα

Εδαφικοί σχηματισμοί παρόμοιας κοκκομετρικής σύστασης είναι δυνατό να επιδεικνύουν διαφορετική συμπεριφορά ως προς την δυνατότητα ρευστοποίησης τους ανάλογα με την τιμή της σχετικής τους πυκνότητας. Όσο πιο χαλαρή είναι η διάταξη των κόκκων ενός εδάφους τόσο η τιμή του δείκτη πόρων είναι μεγαλύτερη και αντίστοιχα η τιμή της σχετικής πυκνότητας του  $D_r$  (%) είναι μικρότερη. Η τιμή της  $D_r$  υπολογίζεται με τη βοήθεια της σχέσης:

$$D_r = (e_{\max} - e) / (e_{\max} - e_{\min})$$

όπου  $e$  είναι ο πραγματικός δείκτης πόρων της άμμου,  $e_{\max}$  είναι ο δείκτης πόρων που αντιστοιχεί στην ελάχιστη συμβατική πυκνότητα (π.χ. με απλή απόθεση του υλικού) και  $e_{\min}$  είναι ο δείκτης πόρων που αντιστοιχεί στη μέγιστη συμβατική πυκνότητα (π.χ. μετά από συμπίκνωση) (Κούκης και Σαμπατάκης, 2002.)

Σύμφωνα με τους Terzaghi και Peck (1967), στα αμμώδη εδάφη η σχετική πυκνότητα συνδέεται με τον αριθμό κρούσεων NSPT της επί τόπου δοκιμής τυποποιημένης διείδυσης SPT. Άμμοι που ταξινομούνται από χαλαρές έως πολύ χαλαρές είναι εν δυνάμει ρευστοποιήσιμες. Αντιθέτως, για να δημιουργηθούν ικανές συνθήκες πρόκλησης ρευστοποίησης σε μερικώς πυκνά αμμώδη στρώματα απαιτούνται πολύ δυνατές φορτίσεις. ) .

### 1.2.4 Καθίζηση

Είναι η υποχώρηση του επιπέδου έδρασης μιας κατασκευής λόγω παραμόρφωσης του υποκείμενου εδάφους, χωρίς πλευρική διόγκωση.

Οφείλεται αποκλειστικά σε αναδιάταξη των κόκκων με το χρόνο και

μείωση του δείκτη πόρων του εδάφους, με απομάκρυνση του νερού των πόρων, στην περιοχή της φόρτισης

### **Διαφορική καθίζηση**

Ονομάζεται η διαφορά καθίζησης δύο συνεχόμενων σημείων έδρασης ενός έργου.

Ισούται με το λόγο των κατακόρυφων μετατοπίσεων προς την οριζόντια απόσταση των σημείων έδρασης.

Η διαφορική καθίζηση εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους, την ακαμψία του έργου και τα δομικά υλικά

Οι διαφορικές καθιζήσεις οφείλονται:

- Στην ανομοιογένεια του εδάφους καθώς και στην παρουσία ασυνεχειών
- Στην ανομοιόμορφη φόρτιση του εδάφους, που εξαρτάται τόσο από την ανομοιόμορφη κατανομή των φορτίων όσο και από το σχήμα της κατασκευής
- Στο γεγονός ότι ακόμη και στην περίπτωση ομοιόμορφης φόρτισης, τα κεντρικά σημεία της φορτιζόμενης επιφάνειας βυθίζονται περισσότερο από τα περιφερειακά (Θεωρία Bussinesq (1885))
- Στην παρουσία υπόγειου νερού
- Στην επίδραση φορτίων από γειτονικές κατασκευές

### **Στάδια καθίζησης**

- Αρχική καθίζηση (άμεση ή αστράγγιστη ή διατμητική)
- Καθίζηση λόγω στερεοποίησης
- Δευτερογενής καθίζηση

Αρχική καθίζηση (άμεση ή αστράγγιστη ή διατμητική)



- Παρατηρείται μετά την εφαρμογή της φόρτισης.
- Είναι αποτέλεσμα των διατμητικών τάσεων που αναπτύσσονται και πραγματοποιείται με σταθερό όγκο και χωρίς αποστράγγιση του νερού των πόρων.
- Το σχετικό της μέγεθος είναι συνήθως μικρό.
- Αποτελεί την ολική καθίζηση σε ψαθυρά εδάφη και κορεσμένες ιλύες και αργίλλους.

#### Καθίζηση λόγω στερεοποίησης

- Πραγματοποιείται βαθμιαία, μετά το τέλος της αρχικής καθίζησης, με βαθμιαία απομάκρυνση του νερού των πόρων από το έδαφος και μεταφορά της φόρτισης από το νερό στο στερεό σκελετό.
- Η παρακολούθηση του φαινομένου γίνεται με τη μέτρηση της μεταβολής της πίεσης του νερού των πόρων.
- Το φαινόμενο τελειώνει όταν η πίεση του νερού των πόρων εξισωθεί με τις υπάρχουσες οριακές υδραυλικές συνθήκες.

#### Δευτερογενής καθίζηση

- Παρατηρείται μετά το τέλος της καθίζησης λόγω στερεοποίησης, σε συνάρτηση με το χρόνο, και δεν έχει σχέση με την μεταβολή της πίεσης των πόρων.
- Τα αίτια και ο μηχανισμός ανάπτυξης της δευτερογενούς καθίζησης φαίνεται ότι ποικίλλουν στα διάφορα εδάφη.

#### Υπολογισμός άμεσης καθίζησης

- Ελαστική συμπεριφορά του εδάφους - Νόμος Boussinesq

- Κατακόρυφη παραμόρφωση στη διεπαφή θεμελίου - εδάφους:

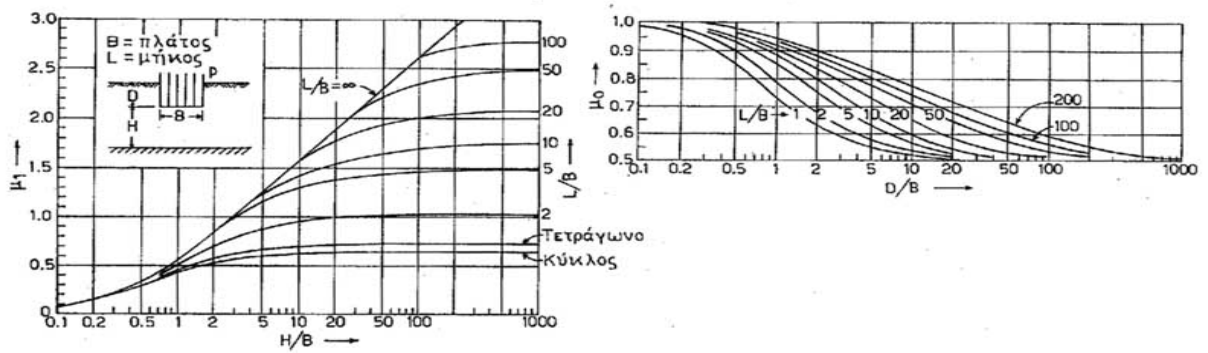
$$W_z = p / (\pi CR) \text{ όπου } C = E_o / (1 - \nu^2)$$

- $E_o$ : Μέτρο ολικής παραμόρφωσης (ελαστικής + μόνιμης)

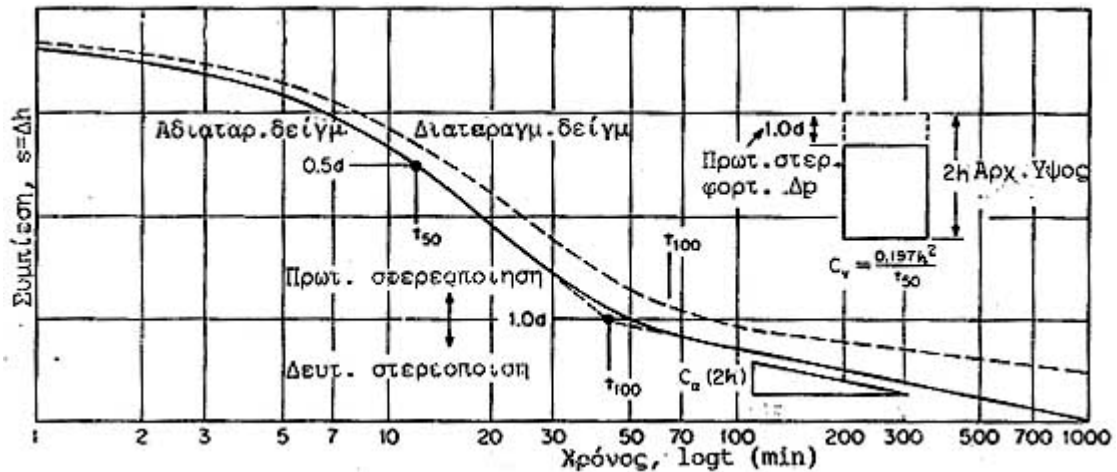
$$W = pB \left( \frac{1 - \nu^2}{E_s} \right) I_w$$

- Άμεση καθίζηση:
- $W$ : καθίζηση,  $p$ :πίεση,  $B$ : μικρότερη διάσταση θεμελίου,  $\nu$ : συντελεστής Poisson,  $I_w$ : συντελεστής σχήματος θεμελίου,  $E_s$ : μέτρο συμπίεσης εδάφους ( $\Delta\sigma/\Delta\varepsilon$ ,  $\varepsilon$ : ανηγμένη παραμόρφωση)

Εικόνα: Μείωση άμεσης καθίζησης με το βάθος



$$W = \mu_0 \mu_1 p B \frac{1 - \nu^2}{E_s}$$



Εικόνα: Καθίζηση λόγω στερεοποίησης

### 1.2.5 Αποτελέσματα σεισμών στο νερό της ξηράς

Η διέλευση των σεισμικών κυμάτων από την ξηρά εκτός των άλλων επιφέρει μεταβολές και στο νερό που είναι άμεσες και έμμεσες. Στις πρώτες ανήκουν οι διάφορες ταλαντώσεις του επιφανειακού νερού, ενώ στις δεύτερες ανήκουν οι διαταράξεις του επιφανειακού νερού λόγω παραμόρφωσης των πετρωμάτων που βρίσκονται κοντά του ή βρίσκεται το νερό μέσα σε αυτά. Η έμμεση επίδραση στο επιφανειακό νερό οφείλεται στη διάρρηξη των πετρωμάτων με αποτέλεσμα την απομάκρυνση του νερού και την αποξήρανση τελμάτων, λιμνών, κτλ. Ή στην κατολίσθηση εδάφους με συνέπεια την απόφραξη ροών νερού (ποτάμια) και την δημιουργία πλημμυρών ή την δημιουργία λιμνών, ελών, κτλ. Το σημαντικότερο είναι η μεταβολή της παροχής νερού από πηγές (στέρεμα ή μεγαλύτερη παροχή).

Είναι δυνατόν σε κάποιες περιπτώσεις να διαδίδονται στη επιφάνεια του νερού που βρίσκεται σε κλειστούς χώρους (π.χ. λίμνες) στάσιμα κύματα μεγάλης περιόδου που βάζουν το νερό σε ελεύθερη ταλάντωση. Τα κύματα αυτά ονομάζονται seiches

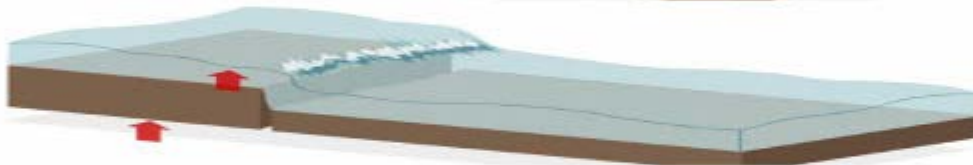
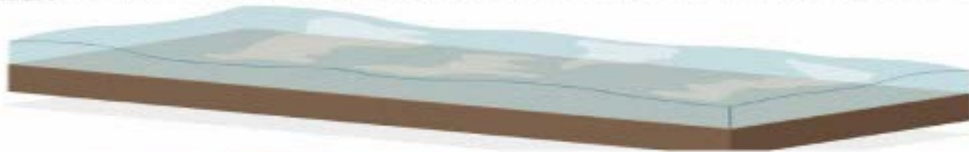
και εκτός από σεισμούς μπορούν να διεγερθούν από παλίρροιες, ανέμους, κτλ. Η περίοδος θεμελιώδους κύματος seiches σε χώρο που έχει σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου με ύψος  $h$  και βάση της πλευρά του  $\ell$  δίνεται από την σχέση (όπου  $g$  επιτάχυνση βαρύτητας):

$$T = 2\ell / \sqrt{gh}$$

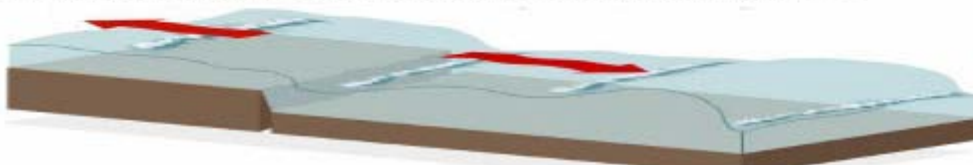
### 1.2.6 Αποτελέσματα σεισμών στη θάλασσα

Εδώ διακρίνουμε δύο περιπτώσεις: τους θαλάσσιους σεισμούς και τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας ή tsunamis. Οι θαλάσσιοι σεισμοί οφείλονται στη διάδοση των επιμηκών κυμάτων μέσα στο θαλασσινό νερό και είναι δονήσεις μικρής περιόδου. Οφείλονται κυρίως σε υποθαλάσσιους σεισμούς. Είναι δυνατόν όμως να γίνονται τέτοιοι σεισμοί και σε υποθαλάσσιες εκρήξεις ηφαιστειών. Τότε παρατηρείται η προς τα άνω αναπήδηση του νερού, θόλωση, αύξηση της θερμοκρασίας του, κτλ. Γίνονται αισθητοί σε κάθε είδους πλεύσιμο σαν προς τα πάνω ωθήσεις. Αυτό οφείλεται στο ότι τα επιμήκη κύματα αφού προσπέσουν στον θαλάσσιο πυθμένα υφίστανται διάθλαση και ισχυρή απόκλιση προς την κατακόρυφο, επειδή η ταχύτητά τους είναι πολύ μικρότερη στο νερό από ότι είναι στο πέτρωμα στον βυθό της θάλασσας. Τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας ή αλλιώς tsunamis έχουν μεγάλο μήκος κύματος και διαδίδονται στη επιφάνεια της θάλασσας. Κατά την διάδοσή τους μεταφέρουν όγκους νερού προς διάφορες κατευθύνσεις. Τα μεγαλύτερα από αυτά γεννώνται στις μεγάλες ωκεάνιες τάφρους του Ειρηνικού από σεισμούς που τα επίκεντρα τους βρίσκονται στις πλευρές της ωκεάνιας τάφρου προς την πλευρά του ηπειρωτικού μέρους.

The tsunami formed when energy from the earthquake vertically jolted the seabed by several metres, displacing hundreds of cubic kilometres of water.



Large waves began moving through the ocean, away from the earthquake's epicentre. The tsunami's journey had begun.



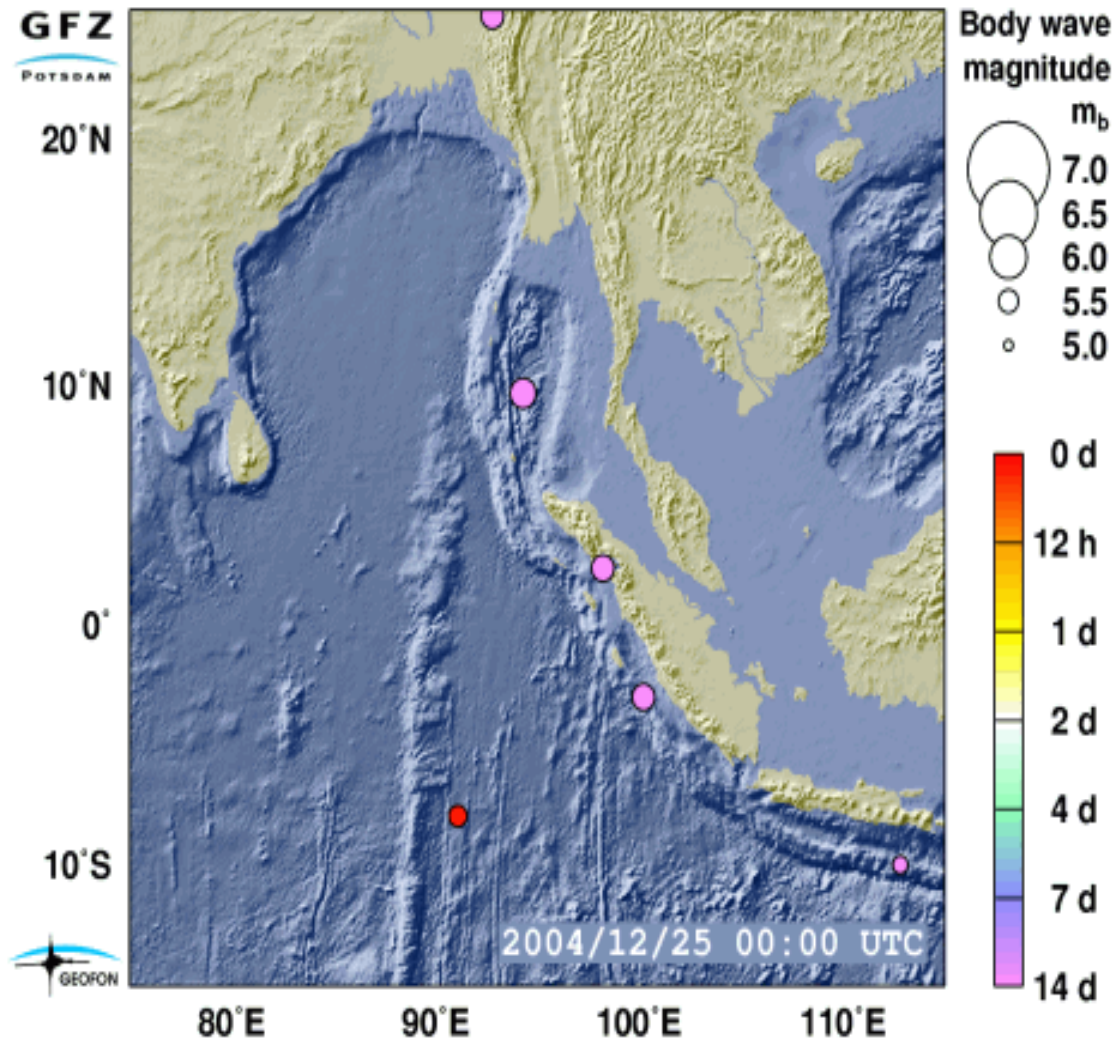
Εικόνα: Βάθος, ταχύτητα και μήκος κύματος tsunami

Στην ανοικτή θάλασσα τα κύματα αυτά δεν είναι επικίνδυνα. Τα πλάτος τους συνήθως είναι περίπου 1m Όταν όμως φτάνουν σε αβαθή νερά προκαλούν τεράστιες καταστροφές στο πέρασμά τους. Στα αβαθή νερά η ταχύτητα των κυμάτων αυτών έχει μικρές τιμές και για τον λόγο αυτό αυξάνεται το πλάτος τους (ύψος) για να διατηρήσουν την κινητική τους ενέργεια.



Εικόνες: καταστροφή από θαλάσσια κύματα

Διαδίδονται σε τεράστιες αποστάσεις. Το 1960 το tsunami από τη Χιλή (σεισμός 1960) έφτασε μέχρι την Ιαπωνία με ύψος 5m (από την άλλη μεριά του Ειρηνικού) και προκάλεσε στα νησιά Χονσού και Χοκάιντο δηλαδή σε απόσταση 17.000 Km τον θάνατο σε 180 κατοίκους. Ανάλογο ήταν και το tsunami που προκλήθηκε από τον σεισμό της Σουμάτρα το 2004 και προκάλεσε στις περιοχές γύρω από τον Ινδικό τον θάνατο σε 300.000 περίπου κατοίκους.



Το τσουνάμι της Σουμάτρα μετά το σεισμό  $M_w=9.3$  26/12/2004





Εικόνα: Πριν το tsunami



Εικόνα: Το tsunami πέρασε από εδώ



Κύματα tsunami έχουν πλήξει και την Ελλάδα με πιο χαρακτηριστικό αυτό που προκλήθηκε από τον σεισμό της Αμοργού 1956 ( $M=7.5$ ). Το ύψος του έφτασε σε ύψος 20-25m και έγινε αισθητό μέχρι την Παλαιστίνη (Γαλανόπουλος, 1971).

### **Υλικές ζημιές στα κτίρια και στις υποδομές**



#### **1.2.7 Αποτελέσματα 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 έφτασαν 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<sup>η</sup> 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 μελετιούνται 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

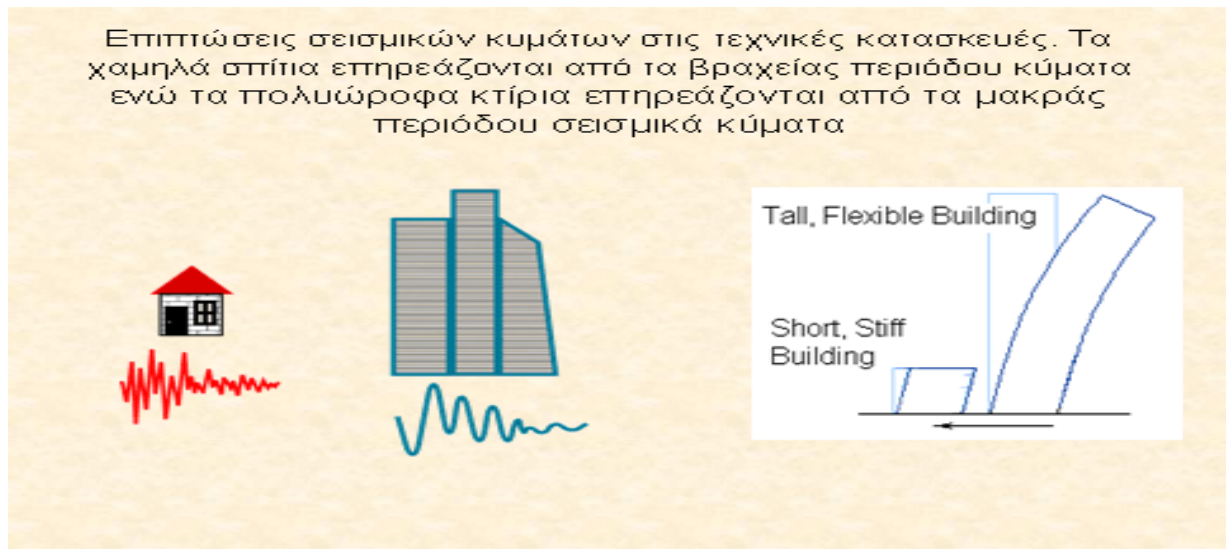
φορές παρατηρούνται στα κτήρια διαρρήξεις που σχηματίζουν ορθές γωνίες μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα της οριζόντιας συνιστώσας της σεισμικής κίνησης εξαρτώνται από τη διεύθυνση της κίνησης αυτής σε σχέση με τον προσανατολισμό της κατασκευής.

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.

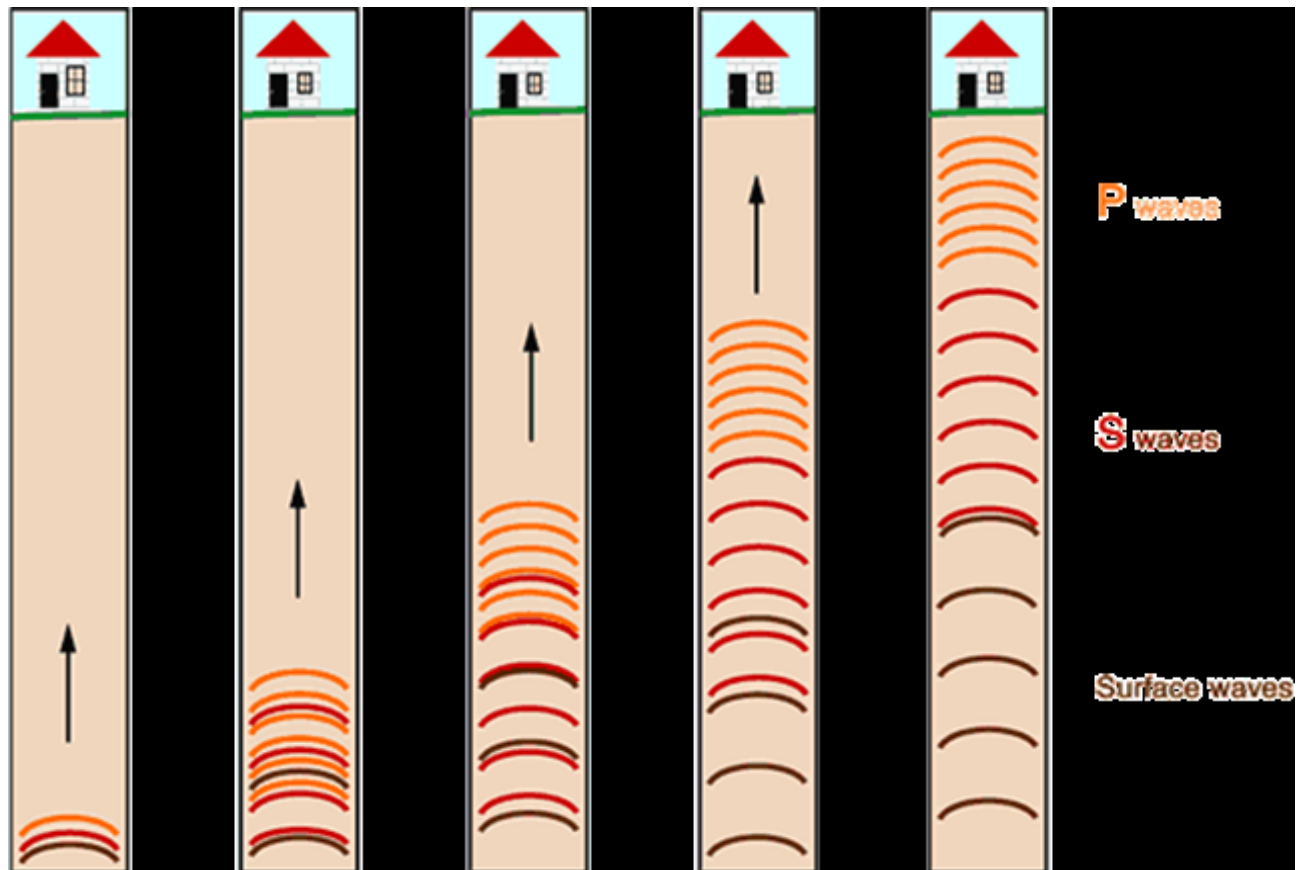
Οι έμμεσες σεισμικές βλάβες προκαλούνται κυρίως από πυρκαγιές που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια των μεγάλων σεισμών. Η δημιουργία πυρκαγιών οφείλεται σε εστίες που υπάρχουν πριν από τους σεισμούς, καθώς και στη γένεση ηλεκτρικών βραχυκυκλωμάτων ή ακόμη και σε διάρρηξη αγωγών. Σε ορισμένες περιπτώσεις,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



Επίδραση των σεισμικών κυμάτων σε μία τεχνική κατασκευή



## ΥΨΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑ

<u>Υψος κτιρίων</u>	<u>Τυπική συχνότητα</u>
2 – Όροφο	0.2 SEC
5 – Όροφο	0.5 SEC
10 – Όροφο	1.0 SEC
20 – Όροφο	2.0 SEC
30 – Όροφο	3.0 SEC
50 – Όροφο	5.0 SEC

### 1.2.7α Άμεσα αποτελέσματα

- Οι μικρότερες βλάβες προξενούνται από την κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης καθότι είναι μικρότερη από την οριζόντια αλλά και από το γεγονός ότι στα αποτελέσματά της αντιδρά το βάρος της τεχνικής κατασκευής.
- Επειδή εξ αιτίας της κατακόρυφης συνιστώσας γεννώνται τάσεις συμπίεσης παρατηρούνται θραύσεις στις πάνω γωνίες των τεχνικών κατασκευών με συνέπεια την κατάρρευση της στέγης.
- Άλλη επίδραση που έχει η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης είναι η ελάττωση της τριβής με αποτέλεσμα να παρατηρείται πτώση αντικείμενων που συγκρατούνται με την τριβή όπως για παράδειγμα τα κεραμίδια.

- Τα αποτελέσματα της οριζόντιας συνιστώσας της σεισμικής κίνησης εξαρτώνται κατ' αρχή από την διεύθυνση της κίνησης σε σχέση με τον προσανατολισμό του κτιρίου.
- Αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την διατμητική παραμόρφωση των στοιχείων μίας τεχνικής κατασκευής. Η κατασκευή με τον τρόπο αυτό δέχεται τάσεις τόσο συμπίεσης όσο και εφελκυσμού που οι διευθύνσεις του είναι κάθετες μεταξύ τους.
- Παλιότερα τα άμεσα αποτελέσματα στις τεχνικές κατασκευές θεωρούνταν ότι ήταν εξαρτημένα από την σεισμική επιτάχυνση. Έτσι οι συνηθισμένες κατασκευές γίνονταν ώστε να αντέχουν σε σεισμικές επιταχύνσεις π.χ 1/10 της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Αργότερα έγινε γνωστό ότι δεν αρκεί μόνο αυτό αλλά απαιτούνται και η γνώση της διάρκειας και της συχνότητας του κύματος για να μπορούμε να καθορίσουμε τα αποτελέσματα στα κτίρια

### **1.2.7β Έμμεσα αποτελέσματα**

Οι κυριότερες βλάβες που είναι τα έμμεσα αποτελέσματα των σειμών είναι οι πυρκαγιές. Αυτές οφείλονται σε πολλούς λόγους, π.χ. διάρρηξη αγωγών φωταερίου, ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα από πτώση καλωδίων, κτλ. Άλλη βλάβη είναι οι πλημμύρες που μπορεί να προκαλέσει η καταστροφή ενός φράγματος.

Η πόλη του Αγίου Φραγκίσκου καταστράφηκε ολοσχερώς από πυρκαγιά που ξέσπασε μετά τον σεισμό του 1906, ενώ οι ζημιές από τον σεισμό δεν ήταν τόσο μεγάλες. Η πυρκαγιά που ξέσπασε στον σεισμό του 1953 κατάστρεψε την πόλη της Ζακύνθου (Γαλανόπουλος 1971)

Εικόνα: Πυρκαγιά στην πόλη Κοβε-Ιαπωνία μετά τον σεισμό του 1995



Εικόνα: Καταστροφή της πόλης Izmit –Τουρκία από τον σεισμό του 1999





Εικόνες: Σπάσιμο φράγματος στην Ταϊβάν. Σεισμός του Chi-Chi







### 1.2.8 Επίδραση των σεισμών στους ανθρώπους

Οι άνθρωποι αισθάνονται τους σεισμούς όταν η σεισμική επιτάχυνση έχει τιμή μεγαλύτερη του 1 gal ( $\approx 1\text{cm/sec}^2$ ). Οι σεισμοί προκαλούν πανικό στους ανθρώπους που εγκαταλείπουν έντρομοί τα σπίτια τους. Αυτό είναι επικίνδυνο γιατί ενδέχεται να σκοτωθούν από πτώση αντικειμένων (καπνοδόχοι κεραμίδια, τοίχοι, κτλ.). Αυτό πρέπει να γίνει μετά το τέλος του σεισμού. Οι κατακόρυφες κινήσεις γίνονται πιο εύκολα αντιληπτές. Κυρίως όταν βρίσκονται σε αυτοκίνητο σταθμευμένο ή είναι ξαπλωμένοι τα ελατήρια του αυτοκινήτου ή του κρεβατιού λειτουργούν σαν κατακόρυφα ελατήρια.

Οι σεισμικές δονήσεις γίνονται αντιληπτές για μερικά δευτερόλεπτα, εκτός αν πρόκειται για μακρινό σεισμό που καταλαβαίνουν την

διαδοχική διέλευση των κυμάτων (P, S, κτλ.) από τον τόπο που βρίσκονται. Πολλές φορές τον σεισμό συνοδεύει ή προηγείται μία βοή που μοιάζει με εκπυρσοκρότηση όπλου ή με τον θόρυβο των κεραυνών. Αυτό συμβαίνει γιατί ένα μικρό μέρος της σεισμικής ενέργειας μετατρέπεται σε ήχο κατά την πρόσπτωση των σεισμικών κυμάτων στην επιφάνεια της Γης. Οι διαθλώμενες στην ατμόσφαιρα ακτίνες έχουν σχεδόν διεύθυνση κατακόρυφη και υπάρχει η αίσθηση ότι οι βοές ακούγονται από κάτω. Εκτός λοιπόν από τις βοές πολλές φορές είναι ορατά και φωτεινά φαινόμενα. Αυτά μπορεί να οφείλονται σε ποικίλα αίτια όπως βραχυκυκλώματα και ανταύγειες πυρκαγιών. Είναι δυνατόν όμως τα φαινόμενα αυτά να προκαλούνται από την τριβή των πετρωμάτων των τεμαχίων του ρήγματος που πραγματοποιούν σχετική κίνηση μεταξύ τους ή από την δράση υποθαλασσίων ηφαιστείων.

### **1.2.9 Επίδραση των σεισμών στα ζώα**

Τα ζώα, όπως και οι άνθρωποι, αντιδρούν με πανικό στον σεισμό. Ο πανικός εκδηλώνεται με τις κραυγές που βγάζουν και τρέχουν έντρομα μακριά από τον τόπο που γίνεται ο σεισμός. Έχουν αναφερθεί πολλές αντιδράσεις ζώων πριν τον σεισμό, π.χ. άρνηση εισόδου στους στάβλους ή τις φωλιές τους, ουρλιαχτά σκύλων, κτλ. Έχει επίσης παρατηρηθεί φίδια να ξυπνούν από την χειμερία νάρκη, ίσως λόγω κάποιων δηλητηριωδών αερίων που απελευθερώθηκαν με τους προσεισμούς. Οι θαλάσσιοι σεισμοί προκαλούν τη ρήξη τις νυκτικής κύστης των ψαριών προκαλώντας τον θάνατο ή την απομάκρυνσή τους από την περιοχή. Για την συμπεριφορά αυτή έχει δοθεί η ερμηνεία ότι είναι δυνατόν κάποιες μικροδονήσεις που προκαλούνται πριν τους σεισμούς να γίνονται αντιληπτές από τα ευαίσθητα (σε σχέση με τον άνθρωπο) όργανα των ζώων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### 2.1 Σεισμικός κίνδυνος – Σεισμική διακινδύνευση

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στα θέματα του σεισμικού κινδύνου (seismic risk) και της σεισμικής διακινδύνευσης-επικινδυνότητας (seismic hazard) .

Σαν σεισμική διακινδύνευση - επικινδυνότητα ορίζεται το ενδεχόμενο απωλειών κατά την διάρκεια ενός σεισμού όπου οι απώλειες μπορεί να είναι ανθρώπινες, υλικές ή κοινωνικό-οικονομικές. Υπολογίζεται σαν το γινόμενο της τρωτότητας επί το πλήθος των στοιχείων που βρίσκονται σε διακινδύνευση επί τον σεισμικό κίνδυνο.

Σαν σεισμικός κίνδυνος ορίζεται το φυσικό γεγονός με μετρούμενα μεγέθη, τα οποία μας ενδιαφέρουν ανάλογα με την περίπτωση πχ. μέγεθος σεισμού, ένταση σεισμού, επιτάχυνση, ταχύτητα ή μετακίνηση στο βραχώδες υπόβαθρο. Σαν τρωτότητα ορίζεται η αναμενόμενη επίδραση στα εκτεθειμένα στον σεισμό στοιχεία που βρίσκονται σε μία εξεταζόμενη θέση, πχ. αν ο σεισμικός κίνδυνος σε μία θέση χαρακτηρίζεται από κάποια εδαφική επιτάχυνση, τρωτότητα είναι ο αναμενόμενος βαθμός βλάβης ανάλογα με το επίπεδο της επιβαλλόμενης επιτάχυνσης τότε σαν σεισμική διακινδύνευση χαρακτηρίζεται ο αναμενόμενος βαθμός βλάβης για το συγκεκριμένο επίπεδο σεισμικού κινδύνου εκφρασμένος με διάφορα κριτήρια, όπως πχ. οικονομικό κόστος αποκατάστασης, ζημιά στα άυλα ή πολιτιστικά αγαθά κλπ.. Ειδικότερα, το κόστος αποκατάστασης εκτιμάται σαν ποσοστό της δαπάνης επισκευής σε σχέση με την αντικατάσταση του βλαβέντος ακινήτου.

Στην διατύπωση της συνολικής τρωτότητας συμπεριλαμβάνεται ο αριθμός των υπό διακινδύνευση στοιχείων, όπως τα υπάρχοντα κτίρια, ο

πληθυσμός , τα δίκτυα ζωής κλπ. Έτσι, παρατηρούμε ότι η τρωτότητα είναι αυξημένη σε χώρες του τρίτου κόσμου όπου εγκαταλείπονται παραδοσιακές τεχνικές δόμησης και κοινωνικές λειτουργίες και αντικαθίστανται με καινούργιες χωρίς να υπάρχουν οι αντίστοιχες υποδομές και κανονισμοί που να εξασφαλίζουν τις προδιαγραφές των νέων εφαρμογών.

Στόχος των αντισεισμικών είναι η μείωση της διακινδύνευσης μέσω της μείωσης αφενός της τρωτότητας και αφετέρου της ορθής εκτίμησης του σεισμικού κινδύνου.

Στον Ελληνικό κανονισμό (ΕΑΚ 2000) αλλά και σε πολλούς άλλους, ο σεισμικός κίνδυνος λαμβάνεται υπόψη με την εκτίμηση ενός σεισμικού συντελεστή, δηλαδή μιας εδαφικής επιτάχυνσης που θεωρείται χαρακτηριστική για κάθε περιοχή και αντιστοιχεί σε κάποια οριακή κατάσταση σχεδιασμού (άμεση λειτουργία, ασφάλεια ζωής ή εξασφάλιση έναντι αστοχίας). Στην Ελλάδα η επιτάχυνση αυτή αντιστοιχεί στην ασφάλεια ζωής και χαρακτηρίζεται από μια πιθανότητα να μην ξεπεραστεί που ισούται με 10% στα 50 χρόνια, όσο είναι δηλαδή ο μέσος όρος ζωής μιας σύγχρονης τυπικής κτηριακής κατασκευής.

Προκειμένου να εκτιμηθεί αυτός ο σεισμικός κίνδυνος σε μια περιοχή είναι κατ' αρχήν απαραίτητη η γνώση της σεισμικότητας της περιοχής. Αυτό γίνεται με την αποτύπωση των σεισμογόνων ζωνών της περιοχής, όπως γνωστά ρήγματα ή περιοχές ιστορικών σεισμικών επικέντρων. Η σεισμικότητα κάθε τέτοιας ζώνης χαρακτηρίζεται από μία σχέση συχνότητας εμφάνισης σεισμικών γεγονότων που λέγεται σχέση Guttenberg - Richter και έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\log N_T = \alpha - \beta M$$

όπου  $N$  ο αριθμός των σεισμών μέσα σε ένα χρονικό διάστημα  $T$  με

μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του  $M$ . Ο συντελεστής  $\alpha$  χαρακτηρίζει την συνολική σεισμικότητα της περιοχής, δηλαδή τον συνολικό αριθμό σεισμών με μέγεθος μεγαλύτερο του μηδενός, ενώ ο συντελεστής  $\beta$  δίνει την σχέση μεταξύ μεγάλων και μικρών σεισμών και είναι ανάλογος της ψαθυρότητας του φλοιού στην περιοχή. Όσο πιο μεγάλος είναι ο συντελεστής  $\beta$ , τόσο λόγω της σαθρότητας του φλοιού στην περιοχή, η σεισμική ενέργεια τείνει να απελευθερώνεται με πολλούς σεισμούς μικρού μεγέθους ενώ στη αντίθετη περίπτωση, για μικρές τιμές του  $\beta$ , η ενέργεια εκτονώνεται με σεισμούς μεγάλου μεγέθους λόγω της μεγαλύτερης αντοχής του φλοιού.

Για την πιθανοτική εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου είναι απαραίτητη η θεώρηση της κατανομής που ακολουθεί η σεισμικότητα, πρέπει, δηλαδή, να προσδιορισθεί η σχέση πιθανολογικής κατανομής της εμφάνισης των σεισμικών γεγονότων. Η πιο συνηθισμένη παραδοχή είναι ότι τα σεισμικά γεγονότα ακολουθούν την κατανομή Poisson, δεχόμαστε δηλαδή ότι η χρονική εμφάνιση ενός μελλοντικού σεισμού είναι ανεξάρτητη από προηγούμενα γεγονότα. Αν θεωρηθεί σαν γεγονός η εμφάνιση ενός σεισμού με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του  $M$  και το γεγονός αυτό έχει ετήσια συχνότητα εμφάνισης  $N$ , τότε η πιθανότητα εμφάνισης  $X$  γεγονότων μέσα σε χρόνο  $T$  δίνεται από την σχέση:

$$p(X) = \frac{(N \cdot T)^X \cdot e^{-N \cdot T}}{X!}$$

Η εμφάνιση ενός τουλάχιστον γεγονότος ισούται με ένα μείον την πιθανότητα μη εμφάνισης γεγονότος για  $X=0$  και δίνεται από την σχέση:

$$p = 1 - e^{-N \cdot T}$$

Μία άλλη χαρακτηριστική παράμετρος είναι η περίοδος επαναφοράς ενός σεισμικού γεγονότος, δηλαδή ο μέσος χρόνος μέχρι την εμφάνιση του επόμενου αντίστοιχου γεγονότος και δίνεται από τον λόγο:

$$T_r = \frac{1}{N}$$

όπου  $N$  είναι η μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης του γεγονότος.

Τέλος, για να προχωρήσουμε σε μία πιθανοτική ανάλυση σεισμικού κινδύνου χρειαζόμαστε μία σχέση που να συνδέει το μέγεθος του σεισμού και την απόσταση της εξεταζόμενης θέσης από την σεισμική πηγή με κάποια παράμετρο της εδαφικής κίνησης λόγω του σεισμού στην εξεταζόμενη θέση, συνήθως με την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση ή την μέγιστη εδαφική ταχύτητα. Οι σχέσεις αυτές ονομάζονται σχέσεις απόσβεσης της εδαφικής κίνησης. Για την εδαφική επιτάχυνση δίνεται χαρακτηριστικά μία σχέση που προτείνεται από τον Παπαζάχο για τον Ελληνικό χώρο:

$$\ln a_g = 3.88 + 1.12 * M_s - 1.65 * \ln(R + 15)$$

όπου  $a_g$  η εδαφική επιτάχυνση σε  $\text{cm/sec}^2$  και  $R$  η απόσταση από την σεισμική πηγή.

Έτσι, για μία εξεταζόμενη θέση που απέχει από σεισμική πηγή απόσταση  $R$ , αν θέλουμε να βρούμε την πιθανότητα υπέρβασης σε χρόνο  $T$  για μία επιτάχυνση  $a_g$ , μπορούμε από την σχέση απόσβεσης να βρούμε το μέγεθος  $M$  που αντιστοιχεί σ' αυτή την επιτάχυνση. Στην συνέχεια βρίσκουμε από την σχέση Guttenberg-Richter την ετήσια συχνότητα υπέρβασης  $N$  για το μέγεθος  $M$  που ισούται με την ετήσια συχνότητα υπέρβασης της  $a_g$  στην εξεταζόμενη θέση. Με την χρήση της κατανομής Poisson υπολογίζεται η πιθανότητα υπέρβασης του μεγέθους  $M$  και κατ' επέκταση της  $a_g$  στο δεδομένο χρονικό διάστημα  $T$ .

Αν υπάρχουν περισσότερες από μία σεισμικές πηγές η διαδικασία που ακολουθείται έχει ως εξής. Προσδιορίζεται με την αναφερθείσα μέθοδο η ετήσια συχνότητα υπέρβασης για κάθε σεισμική πηγή και στην συνέχεια υπολογίζεται η συνολική συχνότητα υπέρβασης σαν το άθροισμα των επιμέρους συχνοτήτων. Η πιθανότητα υπέρβασης υπολογίζεται από την κατανομή Poisson για την συνολική συχνότητα.

Αν υπολογισθούν οι πιθανότητες υπέρβασης για διαφορετικές τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης μπορεί να καταστρωθεί μία καμπύλη εκτίμησης σεισμικού κινδύνου, βάσει της οποίας, με γραμμική παρεμβολή, μπορεί να εκτιμηθεί η πιθανότητα υπέρβασης που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη εδαφική επιτάχυνση (βλ Σχήμα 1.1).

Με βάση το σχήμα φάσματος που προβλέπει ο κανονισμός και την χρήση της επιτάχυνσης που αντιστοιχεί σε δεδομένη πιθανότητα σαν τον επιθυμητό σεισμικό συντελεστή μπορεί να δοθεί και το φάσμα σχεδιασμού σε μία εξεταζόμενη θέση (βλ. Σχήμα 1.2). Ανάλογη διαδικασία μπορεί να ακολουθηθεί και για την εδαφική ταχύτητα.

Υπάρχουν περιπτώσεις που οι σεισμικές πηγές δεν μπορούν να προσομοιωθούν σαν σημειακές, αλλά όπως στην περίπτωση μιας εκτεταμένης περιοχής με σεισμικά επίκεντρα όπου υπάρχει έντονος κατακερματισμός με πολλά και διασταυρούμενα ρήγματα, η ευρύτερη περιοχή θεωρείται σαν επιφανειακή σεισμική πηγή, ή στην περίπτωση γνωστών και εκτεταμένων ρηγμάτων οπότε το ρήγμα θεωρείται σαν γραμμική σεισμική πηγή.

Στις ανωτέρω περιπτώσεις η ευρύτερη σεισμική πηγή, είτε επιφανειακή είτε γραμμική, χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα τα οποία μπορούν να προσομοιωθούν με σημειακές πηγές. Για κάθε επίπεδο εδαφικής κίνησης στην εξεταζόμενη θέση υπολογίζεται το αντίστοιχο

μέγεθος σεισμού στην σημειακή πηγή και η αντίστοιχη ετήσια συχνότητα εμφάνισης. Οι επιμέρους συχνότητες αθροίζονται και ακολουθείται η γνωστή διαδικασία για την εκτίμηση της πιθανότητας υπέρβασης σε δεδομένο χρονικό διάστημα.

Μια αντίστροφη διαδικασία είναι η διάζευξη του σεισμικού κινδύνου. Στην περίπτωση αυτή, για μια δεδομένη στάθμη πχ. εδαφικής επιτάχυνσης με συγκεκριμένη πιθανότητα υπέρβασης σε χρονικό διάστημα  $T$ , προσπαθούμε με βάση την σεισμικότητα της περιβάλλουσας περιοχής να εκτιμήσουμε τους πιο πιθανούς συνδυασμούς μεγέθους σεισμού  $M$  σε απόσταση  $R$  που θα μας δώσουν αντίστοιχες τιμές εδαφικής κίνησης στην εξεταζόμενη θέση.

Γνωρίζοντας τις πιθανές σεισμικές πηγές στην περιοχή, βρίσκουμε τους συνδυασμούς  $M,R$  που έχουν την μεγαλύτερη ετήσια συχνότητα εμφάνισης και θεωρούμε ότι αυτά είναι τα πιο πιθανά σενάρια σεισμικών γεγονότων που θα δώσουν στην εξεταζόμενη θέση την τιμή της εδαφικής κίνησης που επιλέξαμε (βλ. Σχήμα 1.2). Συχνά επιλέγεται ένα σενάριο μακρινού μεγάλου σεισμού και ένα για κοντινό σεισμό μεσαίου μεγέθους. Με βάση τα σενάρια που επιλέγησαν είναι δυνατόν να επιλεγούν από τις διεθνείς βάσεις δεδομένων αντίστοιχοι σεισμοί σε αποστάσεις ανάλογες με αυτές που θεωρήθηκαν και με καταγραφές που αντιστοιχούν σε εδαφικές συνθήκες σχετικές με αυτές της εξεταζόμενης θέσης. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν καταγραφές σε αντίστοιχα εδάφη υπάρχει η δυνατότητα με κατάλληλα προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστού (πχ. SHAKE) να γίνει αναγωγή μιας καταγραφής στο βραχώδες μητρικό πέτρωμα και στην συνέχεια στην επιφάνεια μιας εδαφικής στρώσης ανάλογης με αυτήν της εξεταζόμενης θέσης.

Άλλη δυνατότητα είναι η σύνθεση τεχνητών επιταχυνσιογραφημάτων με την χρήση του φάσματος σχεδιασμού που



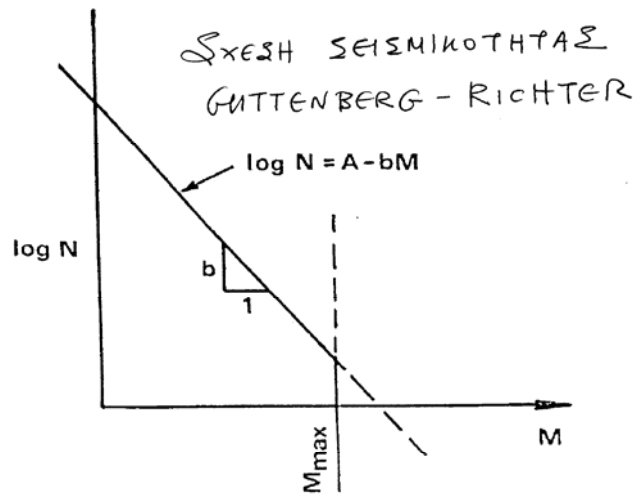
αντιστοιχεί στην εξεταζόμενη θέση. Απαιτείται εκτός από το δεδομένο φάσμα και μία εκτίμηση της διάρκειας της ισχυρής εδαφικής κίνησης ώστε να εκτιμηθεί μία περιβάλλουσα της χρονοιστορίας του εδαφικού κραδασμού.

Μία ιδιαίτερη περίπτωση που εξετάζεται είναι το ενδεχόμενο η περιοχή σεισμικών πηγών να δίνει, πέραν της κατανομής για τα υπόλοιπα σεισμικά μεγέθη, σεισμούς με κάποιο σχετικά μεγάλο μέγεθος και με αυξημένη συχνότητα εμφάνισης. Στην περίπτωση αυτή θεωρούμε ότι η περιοχή προσδιορίζεται από την εμφάνιση αυτού του λεγόμενου χαρακτηριστικού σεισμού (βλ. Σχήμα 1.3 άνω).

Εκτός από την περίπτωση πιθανοτικής εκτίμησης του σεισμικού κινδύνου υπάρχει και η αιτιοκρατική αντιμετώπιση που χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις κατασκευών μεγάλης σπουδαιότητας και με μεγάλη διάρκεια ωφέλιμης ζωής. Στην περίπτωση αυτή γίνεται προσπάθεια καθορισμού του μέγιστου δυνατού σεισμού στην ελάχιστη πιθανή απόσταση και για κάθε ενδεχόμενη σεισμική πηγή εξετάζεται το δυσμενέστερο σενάριο (βλ. Σχήμα 1.4).

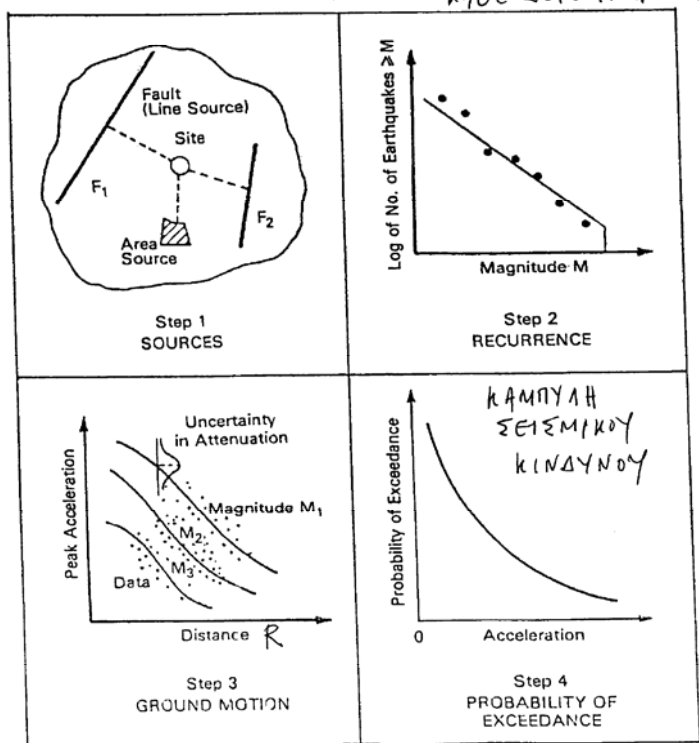
Τέλος, μπορούμε να πούμε ότι κάθε οριακή κατάσταση για τις εξεταζόμενες κατασκευές, ανάλογα με την σπουδαιότητά τους, χαρακτηρίζεται από μια δεδομένη πιθανότητα υπέρβασης του σεισμικού κινδύνου σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και μια αντίστοιχη περίοδο επαναφοράς (βλ. Σχήμα 1.3 κάτω).

ΕΚΤΙΜΗΣΗ  
ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ  
ΚΙΝΔΥΝΟΥ



ΕΥΡΕΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ

ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ  
ΚΑΘΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΠΗΓΗΣ



ΣΧΕΣΗ  
ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ  
 $a_g = f(M, R)$

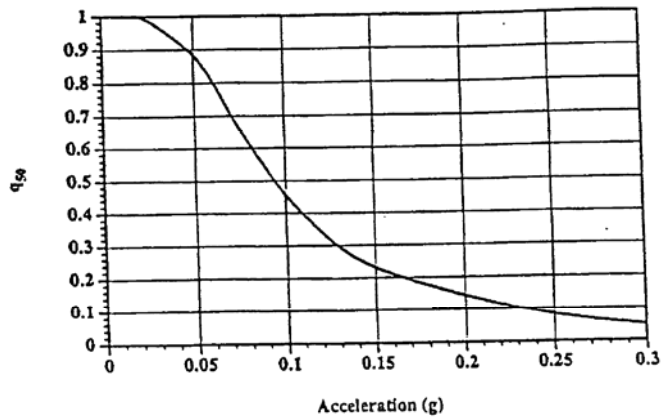
ΚΑΜΠΥΛΗ  
ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ  
ΚΙΝΔΥΝΟΥ

①

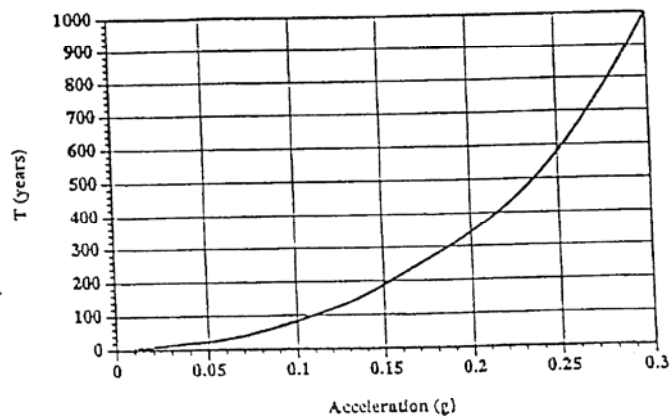
Σχήμα 1.1

ΚΑΜΠΥΛΕΣ  
ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ  
ΚΙΝΔΥΝΟΥ

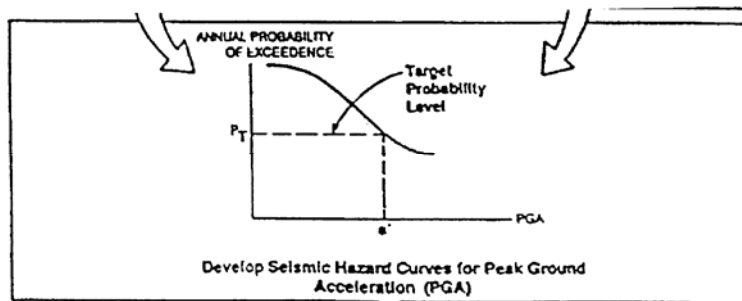
α) ΕΔΑΦΙΚΗ  
ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ  
- ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ  
ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ



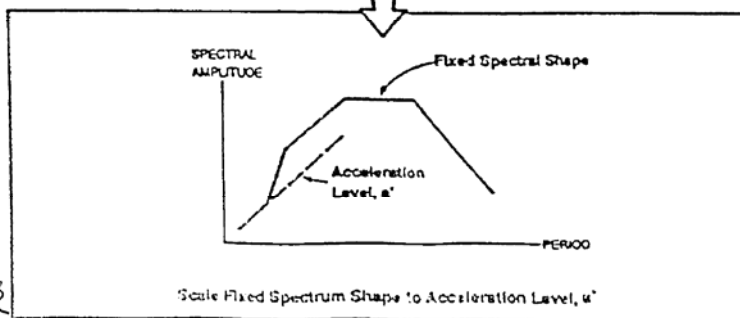
β) ΕΔΑΦΙΚΗ  
ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ  
- ΠΕΡΙΟΔΟΣ  
ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ



ΕΠΙΛΟΓΗ  
ΕΔΑΦΙΚΗΣ  
ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ  
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

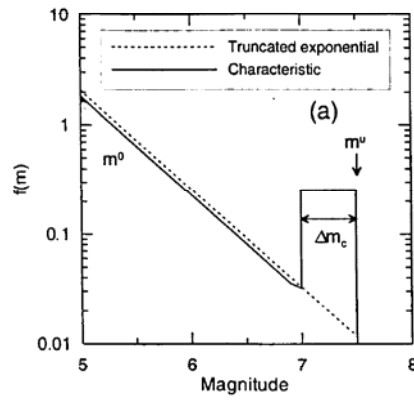


ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ  
ΦΑΣΜΑΤΟΣ  
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ  
ΑΠΟ  
ΕΔ. ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ  
ΚΑΙ  
ΣΧΗΜΑ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

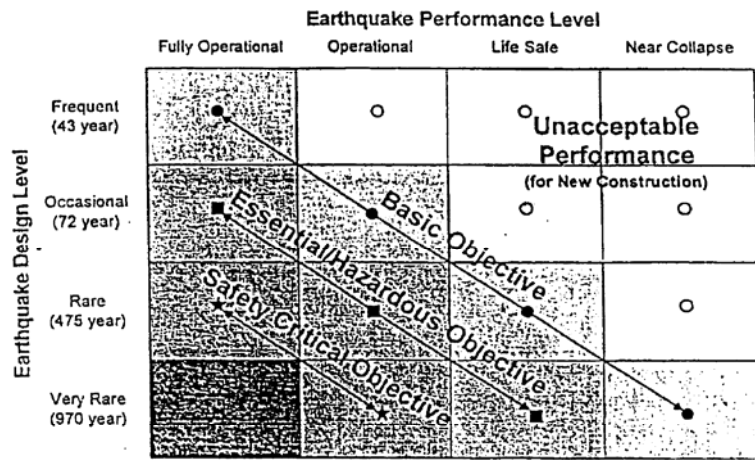


2

Σχήμα 1.2



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΣ ΣΕΙΣΜΟΣ



ΠΕΡΙΟΔΟΙ ΕΓΓΡΑΦΑΣ ΓΙΑ ΣΕΙΣΜΟΥΣ  
ΠΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΕ ΔΙΑΦΕΡΑ  
ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.

9

Σχήμα 1.3

ΝΙΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΗ  
 ΕΚΤΙΜΗΣΗ  
 ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ  
 ΚΙΝΔΥΝΟΥ

- ΕΚΤΙΜΗΣΗ  
 ΑΠΟ 94Ν  
 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ  
 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ  
 ΤΟΥ ΜΕΤΡΙΣΤΟΥ  
 ΔΥΝΑΤΟΥ  
 ΣΕΙΣΜΟΥ.

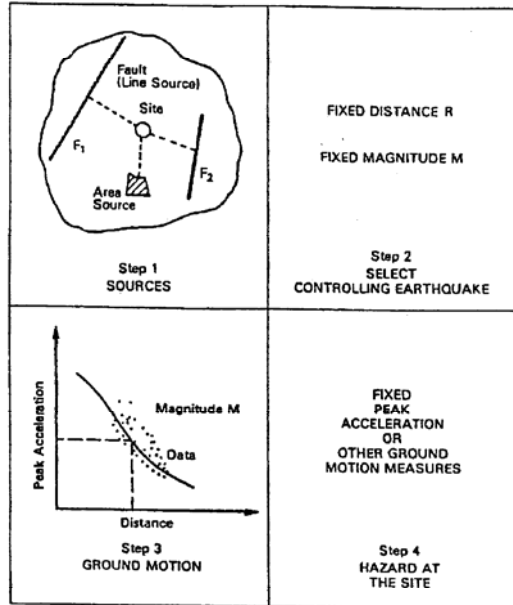


Figure 15.1. The basic steps of deterministic seismic hazard assessment (Reiter, 1990).

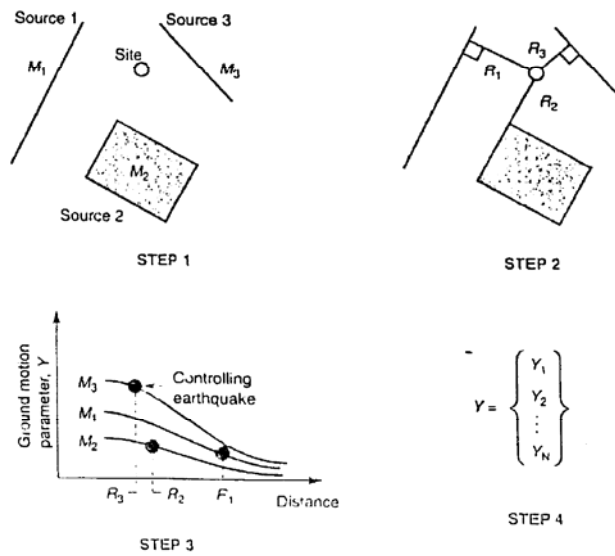


Figure 15.2. The basic steps of deterministic seismic hazard assessment (Kramer, 1996).

6

Σχήμα 1.4

## 2.2 Απόκριση εδαφικής στρώσης σε σεισμική διέγερση

Ανάλογη με την συμπεριφορά των ανελαστικών συστημάτων είναι και η απόκριση των εδαφικών σχηματισμών-αποθέσεων σε περίπτωση σεισμού. Όταν ένα ρήγμα σπάσει κάτω από την επιφάνεια του εδάφους μέσα στον φλοιό της γης τα σεισμικά κύματα ταξιδεύουν προς όλες τις κατευθύνσεις. Λόγω των συνεχών διαθλάσεων η διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων χώρου κοντά στην επιφάνεια καταλήγει να είναι κατακόρυφη. Η θεώρηση ότι οι εδαφικές στρώσεις είναι οριζόντιες και η διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων κατακόρυφη επιτρέπει την προσέγγιση του φαινομένου με μια μονοδιάστατη ανάλυση.

Θεωρούμε την ύπαρξη μιας εδαφικής απόθεσης στο βάθος της οποίας υπάρχει βραχώδες υπόβαθρο. Η περίοδος που αντιστοιχεί στην πρώτη κανονική μορφή της εδαφικής στρώσης θεωρείται ως η χαρακτηριστική περίοδος. Η ταχύτητα αυτή υπολογίζεται με δοκιμές Crosshole που γίνονται με δύο γεωτρήσεις όπου στην μία υπάρχει ένας πομπός-πηγή κυμάτων και στην άλλη καταγραφικό όργανο. Από τον χρόνο άφιξης του εκπεμπόμενου κύματος εκτιμάται η ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων. Η δοκιμή επαναλαμβάνεται καθ' ύψος των γεωτρήσεων και έτσι καταστρώνεται ένα προφίλ ταχυτήτων (βλ. Σχήμα 2.2). Σαν  $V_s$  θεωρείται η μέση ταχύτητα στα πρώτα 30 μέτρα των γεωτρήσεων.

Η ταχύτητα  $V_s$  προκύπτει από την σχέση:

$$V_s = G/\rho$$

όπου  $G$  είναι το μέτρο διατμήσεως του υλικού και  $\rho$  η πυκνότητά του. Η κύρια απόκριση της εδαφικής στρώσης θεωρείται ότι γίνεται στην πρώτη ιδιομορφή της.

Στους κανονισμούς δίνεται η κατηγοριοποίηση των διαφόρων εδαφών βάσει των αντίστοιχων ταχυτήτων  $V_s$  και των χαρακτηριστικών ιδιοπεριόδων τους (βλ. Σχήμα 2.3).

Η απόκριση της εδαφικής στρώσης είναι ανελαστική που σημαίνει ότι η χαρακτηριστική περιόδός της, η ταχύτητα  $V_s$ , το μέτρο διάτμησης  $G$  και η απόσβεση  $\zeta$  μεταβάλλονται συναρτήσει των επιβαλλομένων διατμητικών παραμορφώσεων  $\gamma$  στην ίδια την στρώση. Έτσι η στρώση χαρακτηρίζεται από μία αρχική ταχύτητα  $V_{s0}$  που αντιστοιχεί σε μικρές παραμορφώσεις και από την οποία προκύπτει μια αρχική ιδιοπερίοδος  $T_0$ , και από δύο καμπύλες που ανάλογα με την ποιότητα του εδαφικού υλικού δίνουν την μεταβολή του μέτρου διάτμησης  $G$  και της απόσβεσης  $\zeta$  συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης  $\gamma$  (βλ. Σχήμα 2.4). Οι καμπύλες προκύπτουν από εργαστηριακές ή επί τόπου δοκιμές δειγμάτων του υλικού.

### **Περιγραφή ισοδύναμης γραμμικής μεθόδου**

Από την αρχική τιμή της ταχύτητας  $V_{s0}$  υπολογίζεται, για μικρές παραμορφώσεις μία αρχική χαρακτηριστική περίοδος  $T_0$  και μία απόσβεση  $\zeta_0$ . Από το φάσμα του εισαγόμενου σεισμού στο βραχώδες υπόβαθρο εκτιμάται η μετακίνηση στην επιφάνεια της εδαφικής στρώσης και κατ' επέκταση η διατμητική παραμόρφωση  $\gamma$ . Από την τιμή της  $\gamma$  και τις καμπύλες  $G/G_0$  και  $\zeta$  εκτιμάται μια νέα τιμή του  $G$  και επομένως της  $V_s$  και μία τιμή του  $\zeta$  και της περιόδου  $T$ . Από τις εκτιμώμενες νέες φασματικές τιμές υπολογίζεται η νέα εδαφική μετακίνηση και παραμόρφωση  $\gamma$  και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι την τελική σύγκλιση. Η σύγκλιση επιτυγχάνεται συνήθως με την τρίτη δοκιμή.

$$T = 4H / V_s \quad , \quad V_s = (G/\rho)^{1/2}$$

$$G/G_0 = 0.4375 \cdot \cos [\pi (\log \gamma + 5) / 3] + 0.5625$$

$$\zeta = -0.0875 \cdot \cos [\pi (\log \gamma + 5) / 3] + 0.1125$$

Οι σχέσεις  $G/G_0$  και  $\zeta$  είναι ενδεικτικές

1<sup>η</sup> δοκιμή

$$\gamma = 10^{-5} , G = G_0 , V_{s0} , \zeta = 2.5\%$$

$$T_0 = 4H / V_{s0}$$

$$T_0 \Rightarrow SD(5\%)$$

$$SD(\zeta) = SD(5\%) \cdot \sqrt{2 + \zeta} = d_{g,max}$$

$$\gamma = d_{g,max} / H$$

2<sup>η</sup> δοκιμή



Για  $\gamma \Rightarrow G / G_0$  και  $\zeta$

$$T_0 / T = (G/G_0)^{1/2}$$

$$T \Rightarrow SD(5\%)$$

$$SD(\zeta) = SD(5\%) \cdot \sqrt{2 + \zeta} = d_{g,max}$$

$$\gamma = d_{g,max} / H$$

Οι δοκιμές συνεχίζονται μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση. Συνήθως αρκούν τρεις δοκιμές.

Όταν εκτιμηθεί η τελική περίοδος  $T$  υπολογίζεται η εδαφική ταχύτητα και επιτάχυνση.

$$v_{g,max} = d_{g,max} \cdot 2 \pi / T$$

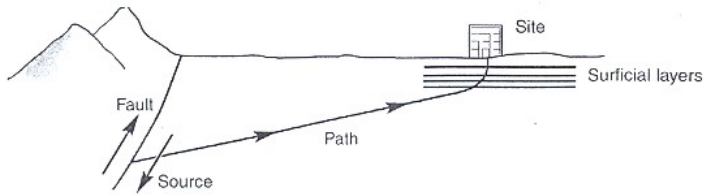
$$a_{g,max} = v_{g,max} \cdot 2 \pi / T$$

Από αναλύσεις που έχουν γίνει σε διάφορους τύπους εδαφών δίδονται καμπύλες μεγέθυνσης της εδαφικής κίνησης για διαφορετικές ιδιοπεριόδους και μεγέθη σεισμού. Παρατηρούμε ότι για μεγάλα σεισμικά μεγέθη στην περιοχή μικρών περιόδων (περιοχή σταθερής

φασματικής επιτάχυνσης ) η απόκριση της εδαφικής στρώσης είναι μικρότερη από την κίνηση του βραχώδους υποβάθρου και στην περίπτωση αυτή θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι το έδαφος φιλτράρει το περιεχόμενο της εδαφικής κίνησης σε υψηλές συχνότητες-μικρές περιόδους. Αντίθετα στις μεσαίες και μεγάλες περιόδους, στην περιοχή σταθερής φασματικής ταχύτητας και μετακίνησης παρατηρείται αύξηση της εδαφικής κίνησης σε σχέση με την κίνηση του βραχώδους υποβάθρου (βλ. Σχήμα 2.4).

Άλλη σημαντική περίπτωση με ιδιαίτερη επαύξηση της εδαφικής κίνησης στην επιφάνεια σε σχέση με το βραχώδες υπόβαθρο είναι η περίπτωση απόκρισης λεκάνης. Η λεκάνη αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις και βραχώδεις σχηματισμούς που είναι νεώτεροι από τα υλικά που τους περιστοιχίζουν. Στις λεκάνες και ειδικά στο όριο τους τα κύματα εγκλωβίζονται λόγω της γωνίας πρόσπτωσης τους, δεν διαθλώνται αλλά ενισχύονται μετά από συνεχείς ανακλάσεις. Χαρακτηριστική περίπτωση οι γειτονικές προς την Πάρνηθα περιοχές του λεκανοπεδίου Αττικής κατά τον σεισμό του 1999. Τα κύματα στην συνέχεια διαδίδονται κατά μήκος της λεκάνης. Αυτή η τοπική ενίσχυση μπορεί να αυξήσει την εδαφική κίνηση κατά 50% (βλ. Σχήμα 2.5). Άλλη περίπτωση τοπικής ενίσχυσης έχουμε όταν η επιφανειακή διαμόρφωση παρουσιάζει κορυφές, βυθίσεις ή πρανή (βλ. Σχήμα 2.6). Και στις περιπτώσεις αυτές η εδαφική κίνηση λαμβάνεται επαυξημένη κατά 50%.

Σχήμα 2.1



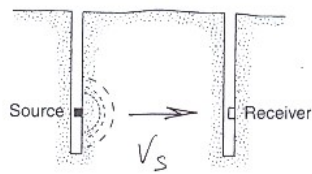
ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩ ΚΥΜΑΤΩΣ  
 ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΗΓΗ ΣΤΗΝ  
 ΕΔΑΦΙΚΗ ΑΠΟΘΕΣΗ  
 (ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΛΟΓΩ  
 ΔΙΘΘΛΑΣΕΩΝ)



ΔΙΑΤΗΝΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

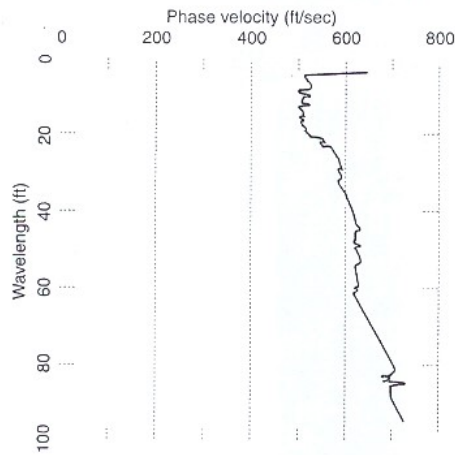
$$\gamma = \frac{d_{g,max}}{H}$$

Σχήμα 2.2



ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

$V_s$   
CROSSHOLE



$V_{s,30}$

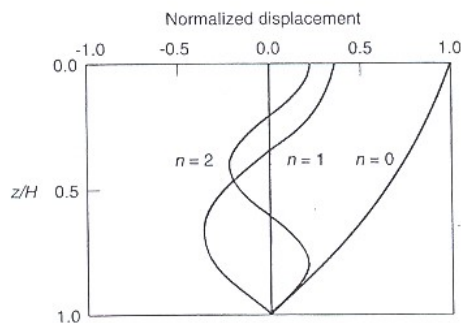
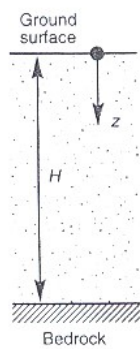
ΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ

ΤΑΧΥΤΗΤΑ

ΣΤΑ ΠΡΩΤΑ 30 ΜΕΤΡΑ

ΤΗΣ ΕΞΑΦΙΚΗΣ

ΑΠΟΘΕΣΗΣ



## Σχήμα 2.3

Table 5.3 Site categories in NEHRP Provisions (Martin, 1994)

NEHRP Category	Description	Mean Shear Wave Velocity to 30 m
A	Hard Rock	> 1500 m/s
B	Firm to hard rock	760-1500 m/s
C	Dense soil, soft rock	360-760 m/s
D	Stiff soil	180-360 m/s
E	Soft clays	< 180 m/s
F	Special study soils, e.g., liquefiable soils, sensitive clays, organic soils, soft clays > 36 m thick	

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΩΝ  
ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΟΒΗΤΩΝ

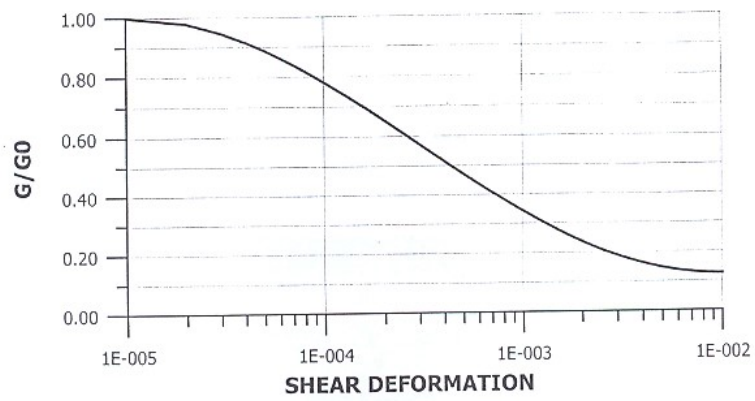
Table 5.4 Geotechnical site categories proposed by Rodríguez-Marek et al. (2001)

Site	Description	Approx. Site Period (s)	Comments
A	Hard Rock	$\leq 0.1$	Crystalline Bedrock; $V_s \geq 1500$ m/s
B	Competent Bedrock	$\leq 0.2$	$V_s \geq 600$ m/s or < 10 m of soil. Most "unweathered" California Rock cases
C1	Weathered Rock	$\leq 0.4$	$V_s \approx 300$ m/s increasing to > 600 m/s, weathering zone > 10 m and < 30 m
C2	Shallow Stiff Soil	$\leq 0.5$	Soil depth > 10 m and < 30 m
C3	Intermediate Depth Stiff Soil	$\leq 0.8$	Soil depth > 30 m and < 60 m
D1	Deep Stiff Holocene Soil	$\leq 1.4$	Depth > 60 m and < 200 m
D2	Deep Stiff Pleistocene Soil	$\leq 1.4$	Depth > 60 m and < 200 m
D3	Very Deep Stiff Soil	$\leq 2.0$	Depth > 200 m
E1	Medium Thickness Soft Clay	$\leq 0.7$	Thickness of soft clay layer 3-12 m
E2	Deep Soft Clay	$\leq 1.4$	Thickness of soft clay layer > 12 m
F	Potentially Liquefiable Sand		Holocene loose sand with high water table ( $z_w \leq 6$ m)

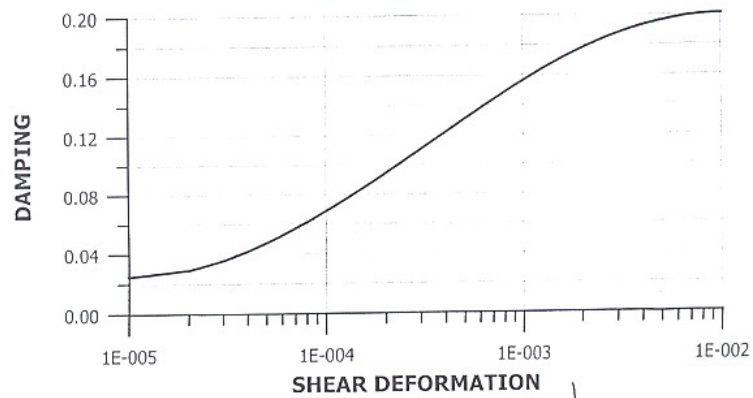
ΒΑΣΕΙΣ  
ΥΠΟΒΑΘΡΟ →

ΑΤΤΙΚΩΝ } A  
ΕΡΓΩΝ } B  
ΕΡΓΩΝ } Γ

Σχήμα 2.4



ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΤΡΟΥ ΔΙΑΤΜΗΣΕΩΣ  $\sigma$   
ΚΑΙ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ  $\zeta\%$   
ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ  
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ



$$\gamma = \frac{d\sigma_{max}}{H}$$

## Σχήμα 2.5

ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΜΕΓΕΘΥΝΣΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΒΡΑΧΟ  
 ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΩ ΕΔΑΦΟΥΣ  
 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ: α) ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΕΡΙΟΔΩΝ  
 β) ΤΥΠΟΥ ΕΔΑΦΟΣ γ) ΜΕΘΟΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

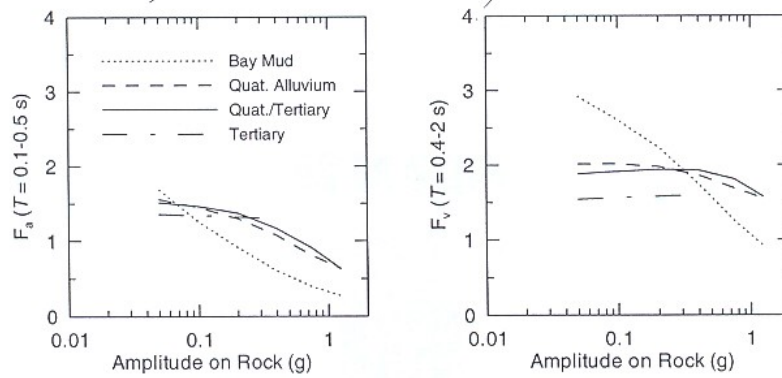


Fig. 5.21(a). Averaged median spectral amplification vs. reference motion amplitude for San Francisco Bay area geology, evaluated from ground response studies by Silva et al. (1999). Factors are for the broadest defined depth range for each category.

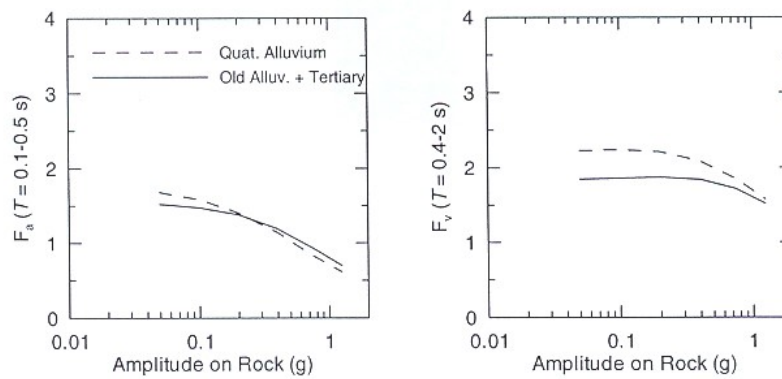


Fig. 5.21(b). Averaged median spectral amplification vs. reference motion amplitude for Los Angeles area geology, evaluated from ground response studies by Silva et al. (1999). Factors are for the broadest defined depth range for each category.

## Σχήμα 2.6

ΕΠΙΔΕΙΞΗ ΕΥΡΟΥΣ ΚΑΙ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ  
ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ  
ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ

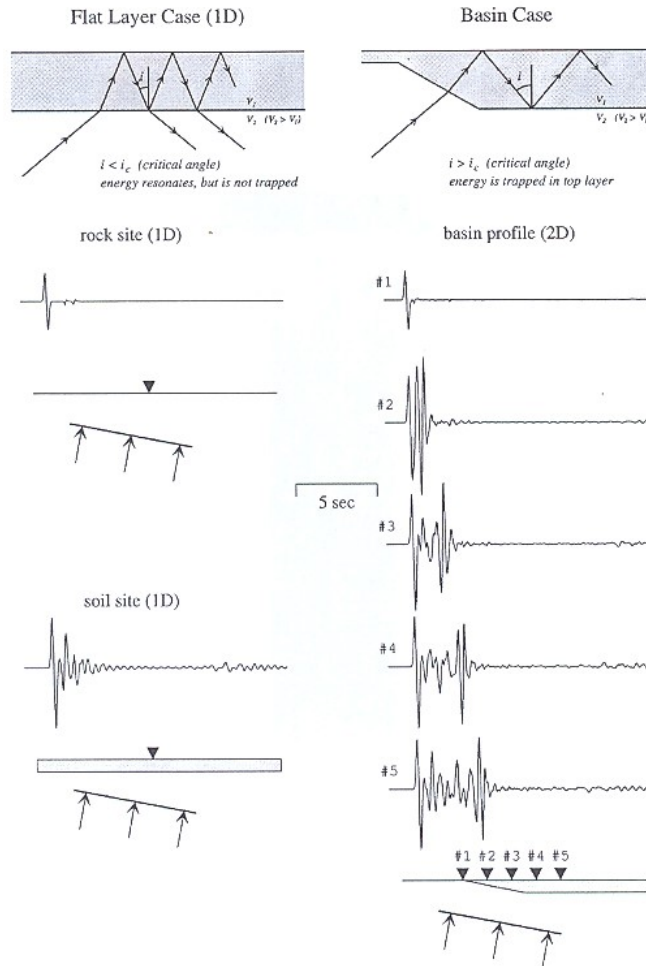


Fig. 5.24. Schematic diagram showing that seismic waves entering a sedimentary layer from below will resonate within the layer but escape if the layer is flat (left) but become trapped in the layer if it has varying thickness and the wave enters the layer through its edge (right). Source: Graves (1993).



## Σχήμα 2.7

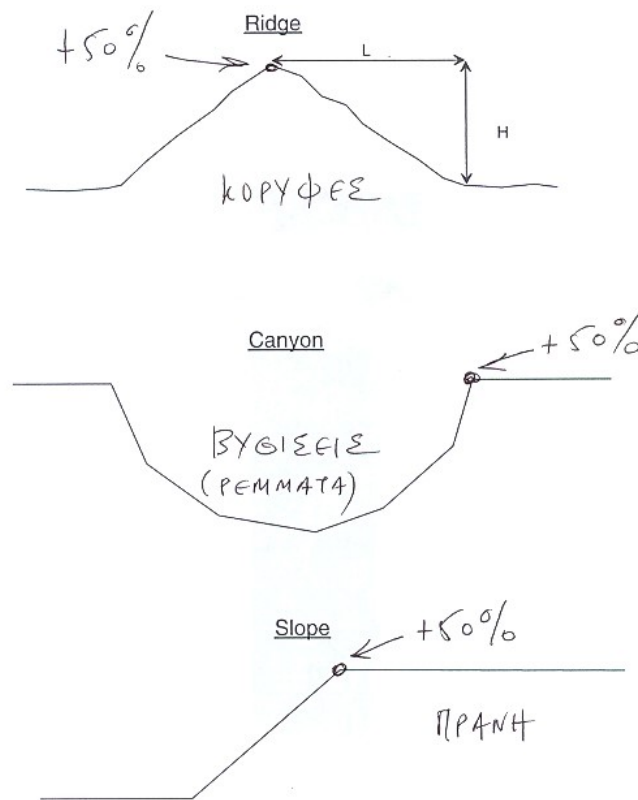


Fig. 5.27. Generalized 2D geometries of irregular surface topography.

## 2.3 Είδη εδαφών

Στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ 2000), για παράδειγμα, η επιρροή του υπεδάφους θεμελίωσης στον καθορισμό των σεισμικών διεγέρσεων λαμβάνεται κυρίως υπόψη δια μέσου των διαφορετικών κατηγοριών εδάφους και του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης. Η κατάταξη των εδαφών όμως ακολουθεί κυρίως ποιοτικά κριτήρια, ενώ οι μέγιστες τιμές του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης εμφανίζονται ανεξάρτητες τόσο της κατηγορίας εδάφους όσο και της έντασης του αναμενόμενου σεισμικού κραδασμού. Νεότερες απόψεις, βασισμένες σε συμπεράσματα που έχουν προκύψει από την επεξεργασία πραγματικών καταγραφών και μεγάλου αριθμού αναλύσεων μετά τους πρόσφατους σεισμούς Loma Prieta (1989), Northridge (1994) και Kobe (1995), έχουν επιφέρει σημαντικές διαφοροποιήσεις στις σχετικές κανονιστικές διατάξεις διεθνών κανονισμών (EC8, UBC/97). {βλ. Κολέτσος Κ. (2004), "Γεωτεχνική Μηχανική", University Studio Press, Θεσσαλονίκη.} Οι διατάξεις αυτές αφενός οδηγούν σε ορθολογικότερο διαχωρισμό των εδαφών σύμφωνα με αυστηρά ποσοτικά κριτήρια (EC8, UBC/97) και αφετέρου αναγνωρίζουν ότι η φασματική ενίσχυση είναι μη γραμμική συνάρτηση της έντασης της σεισμικής κίνησης και των τοπικών εδαφικών συνθηκών (UBC/97). Ο πρώτος στόχος των διατάξεων, που αφορά τον ορθολογικότερο διαχωρισμό, επιτυγχάνεται λαμβάνοντας υπόψη εδαφοδυναμικά χαρακτηριστικά του υπεδάφους (όπως την μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων Vs), ή παραμέτρους αντοχής (τιμές από δοκιμές πρότυπης διείδυσης N(S.P.T.) και χαρακτηριστικά της στρωματογραφίας. (Κολέτσος Κ.2004), "Γεωτεχνική Μηχανική", University Studio Press, Θεσσαλονίκη.} Ο δεύτερος στόχος, που αφορά στην ενσωμάτωση της μη γραμμικής

συμπεριφοράς του εδάφους, επιτυγχάνεται με την υιοθέτηση δύο παραμέτρων ενίσχυσης ( $F_a$ ,  $F_v$ ) όπου ο σεισμικός κραδασμός του υποβάθρου ενισχύεται σε μικρές και μεγάλες περιόδους, αντίστοιχα, ανάλογα με την κατηγορία του εδάφους και την αναμενόμενη μέγιστη τιμή του σεισμικού κραδασμού του υποβάθρου. (Κολέτσος Κ. 2004), "Γεωτεχνική Μηχανική", University Studio Press, Θεσσαλονίκη.} Στην κατεύθυνση αυτή πρόσφατες ερευνητικές εργασίες με στόχο την αποτίμηση του ρόλου των εδαφικών συνθηκών στην ανομοιομορφία της κατανομής των βλαβών, κατά τους πρόσφατους καταστροφικούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου και στον υπολογισμό βελτιωμένων παραμέτρων της εδαφικής ενίσχυσης, επιβεβαιώνουν τα συμπεράσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας και ενισχύουν την άποψη ότι πρέπει οι σημαντικοί αυτοί παράγοντες να λαμβάνονται υπόψη στη διαμόρφωση των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού. ( Κολέτσος Κ. 2004), "Γεωτεχνική Μηχανική", University Studio Press, Θεσσαλονίκη.}

### **Προτεινόμενες κατηγορίες εδαφών**

Η διάκριση των εδαφών με καθαρά ποιοτικά κριτήρια, που προτείνεται από τον ΕΑΚ2000, αποτελεί κοινή διαπίστωση ότι δεν ανταποκρίνεται στις βασικές απαιτήσεις ενός σύγχρονου συστήματος κατηγοριοποίησης, καθώς πέραν των άλλων αδυναμιών η απουσία ποσοτικών παραμέτρων, οι οποίες αποτελούν χαρακτηριστικές ιδιότητες των εδαφικών υλικών, αυξάνει την αβεβαιότητα επιλογής της κατάλληλης κατηγορίας. Η πλειοψηφία των διεθνών αντισεισμικών κανονισμών (NEHRP/97, UBC/97, EC8-prEN1998/Draft4) αναγνωρίζοντας την ανάγκη εισαγωγής ποσοτικών παραμέτρων, προχώρησε στην διάκριση των εδαφών με βάση την ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων  $V_s$ , με χρήση της σταθμισμένης μέσης ταχύτητας

των πρώτων 30 μέτρων,  $V_s,30$ . Αν και η κατάταξη στην μονοπαραμετρική αυτή κλίμακα υπερτερεί της καθαρά ποιοτικής περιγραφής, εκφράζονται επιφυλάξεις για την αξιοπιστία χρήσης της και προκύπτουν αρκετά ερωτηματικά που σχετίζονται με την ταυτόχρονη επιρροή μιας σειράς παραγόντων στα χαρακτηριστικά της σεισμικής απόκρισης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των θεωρητικών και πειραματικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της εκτενούς μελέτης, που συνοψίζονται στα παρακάτω: "Γεωτεχνική Μηχανική", University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

α) η περιγραφή των εδαφών αποκλειστικά από την τιμή  $V_s$ , εμπεριέχει περιορισμούς που σχετίζονται με τη χρήση στατιστικών σχέσεων και την ανάγκη διεξαγωγής εκτεταμένων επί τόπου γεωφυσικών ερευνών και δεν μπορεί να θεωρηθεί πλήρης αν δεν συνοδεύεται από καλή γνώση του είδους του εδαφικού υλικού και διαφόρων φυσικών και μηχανικών παραμέτρων, οι οποίες μπορούν να προσδιοριστούν σχετικά εύκολα ή ενδεχομένως να εκτιμηθούν εμμέσως. Ο λόγος είναι προφανής και συνδέεται, με την επιρροή της μη γραμμικής συμπεριφοράς του εδάφους σε σχέση με είδος του εδαφικού υλικού που 'κυριαρχεί' στο υπέδαφος (άμμος ή άργιλος).

β) η κατάταξη του υπεδάφους βασιζόμενη μόνο στην επιφανειακή εδαφική δομή των 30 μέτρων, παραβλέπει τη σπουδαιότητα που μπορεί να έχουν στη σεισμική απόκριση οι υποκείμενοι εδαφικοί σχηματισμοί έως το βραχώδες υπόβαθρο. Τόσο οι ενόργανες μετρήσεις, όσο και οι θεωρητικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, ανέδειξαν τον καθοριστικό ρόλο των βαθύτερων εδαφικών στρωμάτων καθώς επίσης της γεωμετρίας του υποβάθρου, στην ένταση και στο φασματικό περιεχόμενο της σεισμικής κίνησης στην επιφάνεια.

Βάσει των όσων αναφέρθηκαν, γίνεται αντιληπτό ότι η πρόταση ενός νέου συστήματος εδαφικής κατηγοριοποίησης θα πρέπει να συμπεριλάβει τόσο τον παράγοντα της εδαφικής διάτμισης, όσο και αυτού του τύπου και του βάθους των εδαφικών αποθέσεων, αναγνωρίζοντας τη σπουδαιότητα που αυτοί έχουν στην εδαφική απόκριση. Επιπλέον, η ενσωμάτωσή τους στα πλαίσια ενός αντισεισμικού κανονισμού, προϋποθέτει τη δυνατότητα κάλυψης όλων των πιθανών περιπτώσεων εδαφικών συνθηκών που συναντώνται στην πράξη, την ακρίβεια και πληρότητα στη περιγραφή και την εισαγωγή φυσικών και μηχανικών παραμέτρων που αποτελούν χαρακτηριστικές ιδιότητες των εδαφών και είναι εύκολο να προσδιοριστούν από δοκιμές πεδίου/εργαστηρίου ή να εκτιμηθούν εμμέσως.

Η ικανοποίηση των παραπάνω κριτηρίων αποτέλεσε τη βάση για την τελική πρόταση εδαφικής κατηγοριοποίησης. (Κολέτσος Κ. 2004), Πρόκειται ουσιαστικά για το τελικό αποτέλεσμα της μελέτης, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της επεξεργασίας γεωτεχνικών/γεωφυσικών δεδομένων από την ελληνική επικράτεια που κατέληξε στην προκαταρκτική κατάταξη των εδαφών σε διακριτές κατηγορίες, τις διατάξεις του ΕΑΚ και του EC8-PrEN1998, τα αποτελέσματα των θεωρητικών αναλύσεων καθώς και αποτελέσματα πρόσφατων ερευνητικών εργασιών (Seed and Dickenson, 1991)

Οι βασικές παράμετροι που υιοθετήθηκαν για τον διαχωρισμό των προτεινόμενων εδαφικών κατηγοριών είναι οι εξής:

- η ποιοτική περιγραφή με βάση τον τύπο των σχηματισμών – αποθέσεων (υγείς / ελαφρά αποσαθρωμένοι / έντονα αποσαθρωμένοι βραχώδεις σχηματισμοί, πολύ στιφρές έως μαλακές άργιλοι, μεγάλης πυκνότητας έως χαλαρές άμμοι κλπ), η οποία και αποτελεί μέτρο της

δυστημής τους και βρίσκεται σε αντιστοιχία με τις προτεινόμενες τιμές μέσης ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων.

- το πάχος των εδαφικών σχηματισμών έως το βραχώδες υπόβαθρο, το οποίο ορίζεται ως ο σχηματισμός με  $V_s \geq 800$  m/s.

Βοηθητικά, για λόγους που επιβάλλει η πληρότητα αλλά και η διευκόλυνση της κατάταξης των εδαφών σε μία από τις προτεινόμενες κατηγορίες, προτείνονται επίσης όρια διακύμανσης για:

- την ιδιοπερίοδο των εδαφικών σχηματισμών, η οποία αποτελεί μέτρο έκφρασης τόσο της δυστημής, όσο και του πάχους τους έως το βραχώδες υπόβαθρο.

- την τιμή N-S.P.T. της δοκιμής κρουστικής διείσδυσης, η οποία αποτελεί την πλέον διαδεδομένη γεωτεχνική δοκιμή πεδίου στην Ελλάδα και χρησιμοποιείται τόσο για τον χαρακτηρισμό των εδαφών, όσο και για την έμμεση εκτίμηση των ταχυτήτων  $V_s$ .

- την τιμή της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής  $S_u$ , η οποία χρησιμοποιείται για την κατάταξη των αργιλικών εδαφών (συμπληρωματικά χρησιμοποιείται και η τιμή του δείκτη πλαστικότητας PI). (Seed and Dickenson, 1991)

Βάσει των παραπάνω διαμορφώθηκαν τελικά 6 βασικές κατηγορίες εδαφών (A, B, Γ, Δ, E και X), ο διαχωρισμός των οποίων γίνεται κατά βάση με κριτήριο την ποιοτική περιγραφή και τη δυστημής τους. Στη γενική τους μορφή ανταποκρίνονται ως ένα βαθμό στις κατηγορίες εδαφών των υφιστάμενων κανονισμών (EAK2000, EC8) και στις ειδικές περιπτώσεις εδαφικών συνθηκών που επισημάνθηκαν κατά τη θεωρητική μελέτη της σεισμικής απόκρισης και που στο σύνολο τους ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στις περισσότερες από τις πιθανές περιπτώσεις εδαφικών συνθηκών που συναντώνται στην πράξη. Η

υποδιαίρεση των βασικών κατηγοριών Α, Β, Γ, και Δ σε επί μέρους υποκατηγορίες, έγινε με κριτήριο το πάχος των εδαφικών αποθέσεων και βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό στα αποτελέσματα των θεωρητικών αναλύσεων, οι οποίες ανέδειξαν την επιρροή του βάθους έως το βραχώδες υπόβαθρο στα χαρακτηριστικά της σεισμικής απόκρισης.

## **2.4 Παράδειγμα μετάδοσης κύματος σεισμού στο Botany Bay του Σύδνεϋ**

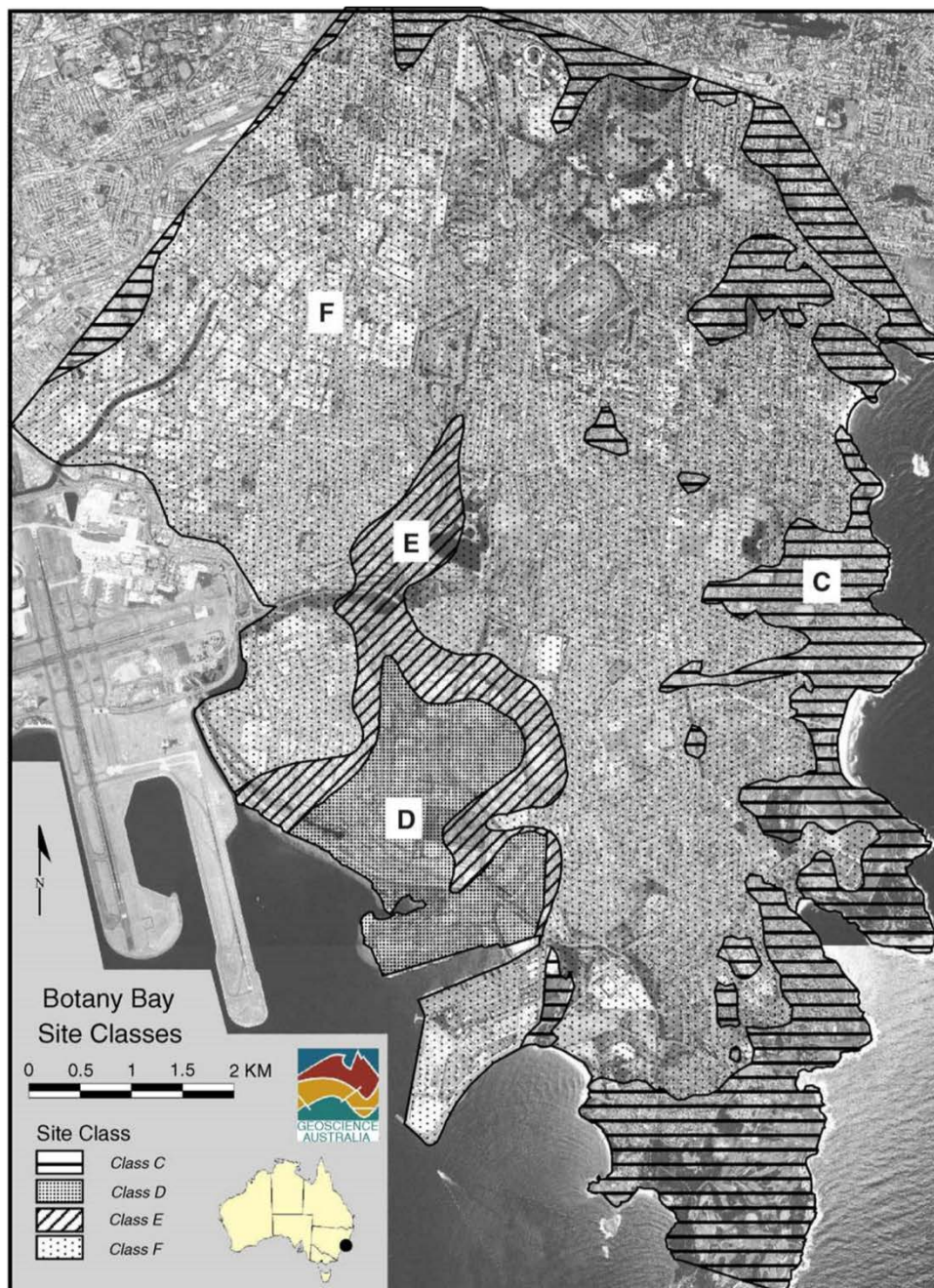
Ένας σεισμός μεγέθους 6-6,5 βαθμούς ρίχτερ στην περιοχή του Σύδνεϋ της Αυστραλίας θεωρείται ως μια από τις 50 πιο επικίνδυνες φυσικές καταστροφές που αντιμετωπίζει η διεθνής κοινότητα.

Αυτή η αντίληψη του κινδύνου οφείλεται στην υψηλή πυκνότητα του πληθυσμού, την ποιότητα κατασκευής του κτιρίου και την έκθεση ασφάλισης στο Σύδνεϋ . Η προσέγγιση που περιγράφηκε προηγουμένως χρησιμοποιήθηκε με τα διαθέσιμα γεωτεχνικά στοιχεία για να εξεταστούν οι δυνατότητες για την ενίσχυση της εδαφικής κίνησης στην περιοχή Botany Bay του Σύδνεϋ . Ο στόχος αυτού του παραδείγματος είναι να παρέχει μια επίδειξη της μεθοδολογίας μας και σε καμία περίπτωση δεν προορίζεται να είναι μια λεπτομερή μελέτη σχετικά με την επικινδυνότητα σεισμό στο Σύδνεϋ .

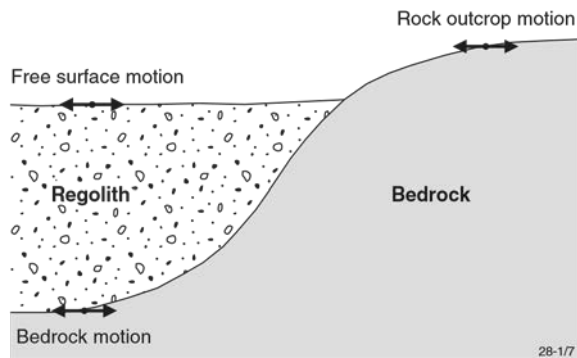
Η περιοχή Botany Bay βρίσκεται εντός της βόρειας λεκάνης του Σύδνεϋ η οποία περιλαμβάνει μια σειρά από τεταρτογενή ιζήματα από διάφορα γεωλογικά περιβάλλοντα , συμπεριλαμβανομένων των καταθέσεων στην παραλία , αμμόλοφους , παλιρροϊκά δέλτα , διαμερίσματα λάσπης και βάλτους . Επιπλέον , έχουν τοποθετηθεί τεχνητά τμήματα στη περιοχή της μελέτης . Αυτές οι αποθέσεις είναι συνήθως της τάξης των 30 - 35m πάχους , αλλά μπορεί να είναι μέχρι 70 - 80m πάχος σε ορισμένα σημεία. ΣΧ. 5 δείχνει τις τέσσερις κατηγορίες που εντοπίστηκαν γύρω από την

περιοχή της Botany Bay ως χρήση γεωτεχνικών δεδομένων και σεισμικών ταχυτήτων που λαμβάνονται από το Τμήμα Δημοσίων Έργων και Υπηρεσιών της Αυστραλίας. Η χωρική κατανομή των κατηγοριών στην ιστοσελίδα αυτή προκύπτει από το περίγραμμα του πάχους των ιζημάτων που δημοσιεύθηκε από ( Griffin , 1963 ) . Οι ιδιότητες των ιζημάτων σε κάθε κατηγορία περιορίστηκαν από τη φύση των πρωτογενών ιζημάτων στους τέσσερις τύπους που προσδιορίζονται στην λεκάνη της Botany Bay ( Roy, 1983).





Η περίπτωση του σεισμού στο Botany Bay δείχνει ότι το βραχώδες υπόβαθρο μπορεί να ενισχύσει σημαντικά το έδαφος που υπόκειται σε ένα σεισμό ελαχιστοποιώντας έτσι τις βλάβες στις κατασκευές .



Αν το βραχώδες υπόβαθρο είναι πολύ πιο «δύσκαμπτο» από το έδαφος (πρακτικά τελείως άκαμπτο), όταν τα ανακλώμενα στην ελεύθερη επείγουν στη διεπιφάνεια εδάφους-υποβάθρου, ολόκληρο το κύμα ανακλάται και παραμένει μέσα στην εδαφική στρώση. Με άλλα λόγια, στην περίπτωση αυτή δεν έχουμε την ευεργετική επίδραση της απόσβεσης ακτινοβολίας (δηλαδή της απομάκρυνσης σεισμικής ενέργειας από το σύστημα λόγω εκπομπής κυμάτων προς το άπειρο), οπότε θα αναμένονται μεγαλύτερες εδαφικές μετακινήσεις, ταχύτητες και επιταχύνσεις λόγω του σεισμού και μεγαλύτερη πιθανότητα για βλάβες σε κατασκευές

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

### **Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε και θα αναλύσουμε βήμα βήμα τις εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήσαμε για το δείγμα/καρότο το οποίο μας παραχώρησε η γνωστή ΕΤΑΙΡΕΙΑ Εδαφομηχανική Α.Ε που ειδικεύεται στις μελέτες των εδαφών .

Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο της εδαφομηχανικής του τμήματος μας με την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγηση της εισηγήτριας μας κα Καλαντώνη.

Ο κύριος λόγος των δοκιμών αυτών ήταν για να συμπεράνουμε αν το έδαφος μας ήταν κατάλληλο για ανοικοδόμηση τεχνικών κατασκευών και τους κινδύνους που μπορεί να διατρέχουν σε περίπτωση σεισμού.

Ξεκινήσαμε βρίσκοντας την περιεχόμενη υγρασία του εδάφους και τα ειδικά βάρη. Στη συνέχεια ακολουθήσε ο προσδιορισμός των ορίων Atterberg ,η κοκκομετρική ανάλυση και με βάση των αποτελεσμάτων αυτών μπορέσαμε να κατατάξουμε το έδαφος μας. Τέλος ακολουθήσαν οι δοκιμές αντοχής δηλαδή η ανεμπόδιστη θλίψη και η διάτμηση . Βάση όλων των παραπάνω εργαστηριακών δοκιμών καταλήξαμε στον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους μας.

### **Ιστορία**

Μία από τις ιδιαιτερότητες της εδαφομηχανικής σε σχέση με άλλους κλάδους της εφαρμοσμένης μηχανικής, είναι η αδυναμία της καταρχήν προδιαγραφής των ιδιοτήτων των υλικών. Ως αντιπαράδειγμα αναφέρουμε τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα όπου τα υλικά (σκυρόδεμα και χάλυβας) κατασκευάζονται βιομηχανικά, με μεθοδολογίες τέτοιες ώστε να ελέγχονται οι ιδιότητες και να πληρούνται

οι προδιαγραφές. Στην περίπτωση των κατασκευών επί του (ή και από) εδάφους, ο σχεδιασμός γίνεται σύμφωνα με τις ιδιότητες του υλικού που θα συναντηθεί. Δεν είναι λίγες και οι περιπτώσεις όπου λόγω δυσμενών εδαφοτεχνικών συνθηκών, έργα έχουν αλλάξει θέση (όπως η μεταβολή της χάραξης οδού). Terzaghi K. (1969-1994), "Εφαρμοσμένη εδαφομηχανική", εκδ. Μ. Γκιούρδας, Αθήνα.}

Οι ιδιότητες των εδαφικών υλικών προσδιορίζονται με τις δύο παρακάτω μεθοδολογίες:

- Επί τόπου δοκιμές. Η διαδικασία αυτή αφορά δοκιμές που γίνονται στον τόπο – έδαφος κατασκευής ενός έργου. Αν και δεν διαθέτουν την ακρίβεια των εργαστηριακών δοκιμών στον προσδιορισμό γεωτεχνικών παραμέτρων, είναι πολλές οι περιπτώσεις που μόνο αυτές μπορούν να δώσουν μία εικόνα για τις ιδιότητες του εδάφους. Για παράδειγμα ο εργαστηριακός προσδιορισμός της αντοχής της άμμου είναι δύσκολος καθώς προκαλείται έντονη διατάραξη κατά την διαδικασία της δειγματοληψίας. Η συνήθης πρακτική είναι, οι ιδιότητες της άμμου να προσδιορίζονται με την δοκιμή διείδυσης (SPT – Standard Penetration Test) επί τόπου. ( Terzaghi K. 1969-1994),
- Εργαστηριακές δοκιμές. Με την διαδικασία της δειγματοληψίας η οποία γίνεται συνήθως με χρήση γεωτρύπανων λαμβάνονται εδαφικά δείγματα τα οποία μεταφέρονται στον χώρο του εργαστηρίου. Με κατάλληλες εργαστηριακές μεθοδολογίες, προσδιορίζονται οι μηχανικές και οι φυσικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων (γεωτεχνικοί παράμετροι).

Οι εργαστηριακές δοκιμές της εδαφομηχανικής έχουν τυποποιηθεί από διάφορους φορείς, ώστε να είναι δυνατή η αναπαραγωγή των εργαστηριακών δοκιμών και η εξαγωγή συμβατών αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών εργαστηρίων. Τέτοιοι φορείς είναι οι ΕΛΟΤ για

την Ελλάδα αλλά και διεθνείς φορείς όπως οι ISO, ASTM, UCS, BST, DIN κ.α. Οι προδιαγραφές του ΕΛΟΤ για τις εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές εδαφομηχανικής, εκδίδονται από το ΚΕΔΕ (Κέντρο Ελέγχου Δημοσίων Έργων) σε έντυπα που περιγράφουν τις μεθόδους διεξαγωγής και επιπλέον αποτελούν νόμο του κράτους (ΦΕΚ - Τεχνικές προδιαγραφές δοκιμών εδαφομηχανικής). Η τήρηση αυτών των προδιαγραφών είναι υποχρεωτική από τα εργαστήρια, προκειμένου τα αποτελέσματα των δοκιμών να χρησιμοποιηθούν στον σχεδιασμό

### **Δειγματοληψία**

Προκειμένου να γίνει ο γεωτεχνικός σχεδιασμός ενός έργου (όπως η μελέτη - διαστασιολόγηση των θεμελιώσεων, ο σχεδιασμός τοίχων αντιστήριξης, υπολογισμού των μέτρων υποστήριξης σηράγγων κ.α.) απαιτείται μία εκτενής γεωτεχνική έρευνα. Η έρευνα αυτή απαιτεί ανάλογα με την φύση του έργου, γεωλογική χαρτογράφηση, επιτόπου αναγνώριση ειδικών γεωτεχνικών συνθηκών, αλλά κυρίως την διαδικασία της δειγματοληψίας.

Η δειγματοληψία του εδάφους μπορεί να γίνει με απλή λήψη δειγμάτων από την επιφάνεια. Επειδή όμως τα εδαφικά υλικά διαφοροποιούνται έντονα κατά το βάθος, προτιμάται η χρήση των γεωτρύπανων ώστε με την διάτρηση εδαφικών στρωμάτων να είναι δυνατή η προσέγγισή τους. Η διαδικασία της διάτρησης διακόπτεται ανά διαστήματα (τα οποία αποφασίζονται επί τόπου από τον επιβλέπων γεωλόγο ή μηχανικό) ώστε να γίνει η δειγματοληψία. Η συνηθισμένη πρακτική είναι η κατακόρυφη ή σχεδόν κατακόρυφη διάτρηση, δεν είναι λίγες όμως οι περιπτώσεις που η διάτρηση είναι οριζόντια ώστε να διερευνηθούν οι ιδιότητες του εδάφους κατά μήκος. Η διάτρηση μπορεί να γίνεται με μεθόδους που επιταχύνουν την διαδικασία αλλά

διαταράσσουν έντονα το έδαφος. Η δειγματοληψία όμως πρέπει να γίνεται προσεκτικά ώστε το δείγμα που θα ληφθεί να μεταφέρει όσο το δυνατόν καλύτερα την πραγματικότητα στο εργαστήριο. Η διερεύνηση του υπεδάφους θα γίνεται μέχρι το βάθος όπου η αλληλεπίδραση με το έργο κρίνεται σημαντική.

Σε περιπτώσεις που η δειγματοληψία είναι αδύνατη (όπως σε χαλαρά στρώματα άμμου), ο γεωτρυπανιστής μπορεί να εκτελέσει χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό του γεωτρύπανου επί τόπου δοκιμές (SPT ή CPT κ.α.). Επιπλέον, αν συναντηθεί βραχώδες στρώμα είναι δυνατή η χρήση ειδικών γεωτρύπανων για βραχώδη υλικά (π.χ. διαμάντι, καρβίδια) και περιστροφική διάτρηση (σε συνδυασμό με την χρήση νερού για ψύξη του τρυπανιού προκειμένου για πολύ σκληρό βράχο).

Η λήψη αδιατάραχτων εδαφικών δειγμάτων γίνεται με έμπηξη ενός κυλινδρικού στελέχους στο εδαφικό υλικό, με απλή πίεση, χωρίς περιστροφική κίνηση. Το δείγμα το οποίο θα είναι μήκους έως 30-40 εκ. εισέρχεται σε έναν πλαστικό σωλήνα (PVC) ο οποίος σφραγίζεται με παραφίνη ώστε να μην χάνεται η φυσική υγρασία και μεταφέρεται στο εργαστήριο για δοκιμές. Επιπλέον, τα δείγματα από χαρακτηριστικές θέσεις τοποθετούνται σε ένα κασελάκι κατά την σειρά που συναντήθηκαν, ώστε να δίνουν μία εικόνα της γεώτρησης. Η εικόνα αυτή υποστηρίζεται από την σύνταξη ενός διαγράμματος που θα δείχνει την αλληλουχία των στρωμάτων με την περιγραφή τους, καθώς και κάποιες ιδιότητες.

Τέλος, συλλέγεται το διαταραγμένο εδαφικό υλικό το οποίο αφού προστατευτεί από την απώλεια φυσικής υγρασίας (βάζοντάς στο σε νάilon σακούλες), μεταφέρεται στο εργαστήριο για δοκιμές που δεν απαιτούν αδιατάραχτα δείγματα (π.χ. δοκιμές δείκτη, μέτρηση περιεχόμενης υγρασίας κ.α.).



Στις παρακάτω εργαστηριακές δοκιμές που ακολουθούν θα μελετήσουμε το δείγμα/καρότο το οποίο απεικονίζεται στη παρακάτω φωτογραφία και προέρχεται από το γεωλογικό υπόβαθρο της Ροδόπης, κοντά στα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα.

Εικόνα:καροτα από την περιοχή της Ροδοπης



### 3.Εργαστηριακό μέρος

#### 3.1 Περιεχόμενη υγρασία

##### Θεωρητικό Μέρος

Το έδαφος είναι ένα τριφασικό υλικό που εμπεριέχει και την στερεή (εδαφικοί κόκκοι) και την υγρή (νερό) και την αέρια φάση (αέρας). Στην ειδική περίπτωση όπου το έδαφος είναι κορεσμένο, το έδαφος είναι διφασικό υλικό αποτελούμενο από τους εδαφικούς κόκκους και το νερό των εδαφικών πόρων.

Η περιεχόμενη υγρασία ορίζεται ως το ποσοστό του βάρους του περιεχόμενου νερού, προς το βάρος της στερεάς φάσης (των εδαφικών κόκκων), σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$w (\%) = W_w / W_s * 100$$

Ως φυσική υγρασία ορίζεται η περιεχόμενη υγρασία ενός εδαφικού δείγματος στην φυσική του κατάσταση. Η μέτρηση της φυσικής υγρασίας θα γίνεται με την μεθοδολογία που ακολουθείται για την μέτρηση της περιεχόμενης υγρασίας, αρκεί το εδαφικό δείγμα να έχει μεταφερθεί προσεκτικά από την περιοχή της γεώτρησης στο εργαστήριο, ώστε να μην χαθεί υγρασία.

##### Εργαστηριακός προσδιορισμός

**Εξοπλισμός:** Θα χρησιμοποιούμε *κάψες* (γυάλινες κατά προτίμηση ή μεταλλικές) για να τοποθετούμε τα δείγματα. Επιπλέον, θα χρησιμοποιούμε *ζυγό ακριβείας* (0.1 g ή καλύτερα 0.01 g) και *κλίβανο ξήρανσης* ρυθμιζόμενος στους 110+-C.



1. Ζυγίζεται η άδεια κάψα η οποία προηγουμένως έχει καθαριστεί από τυχόν ρύπους.
2. Το εδαφικό δείγμα τοποθετείται στην κάψα. Επιθυμητό είναι να γεμίζει όλη η κάψα με το δείγμα.
3. Ζυγίζεται το δείγμα (το οποίο περιέχει υγρασία) μέσα στην κάψα. Το βάρος είναι αυτό της κάψας + των εδαφικών κόκκων + περιεχόμενης υγρασίας..
4. Ξηραίνουμε το δείγμα σε φούρνο 105° C, μέχρι σταθεροποίησης του βάρους (ολική ξήρανση).
5. Ζυγίζεται το αποξηραμένο δείγμα + κάψα. Η διαφορά του βάρους (3) μείον το βάρος (5) δίνει την περιεχόμενη υγρασία ( $W_w$ ) σε g. Η διαφορά του βάρους (5) μείον το βάρος (1) δίνει το βάρος των στερεών ( $W_s$ ) σε g. Εφαρμόζουμε την σχέση (3.1) για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας.

#### ΟΡΙΣΜΟΙ :

- Περιεχόμενη υγρασία εδάφους είναι ο λόγος του βάρους του νερού που περιέχεται στο έδαφος (Bνερ), προς το βάρος του ξηρού εδάφους (Bξ.εδ).

Δηλαδή  $W = B_{\text{νερ}} / B_{\text{ξ.εδ}}$

- Φυσική υγρασία η περιεκτικότητα σε νερό W ενός εδαφικού δείγματος ορίζεται ο λόγος του βάρους του περιεχομένου ύδατος  $W_w$  προς το βάρος των στερεών συστατικών  $W_s$  (συνήθως εκφράζεται επί τις εκατό).
- Ξηρό έδαφος είναι το έδαφος το οποίο περιέχει 0% υγρασία. Στο εργαστήριο, το ξηρό έδαφος το «παρασκευάζουμε» σε κλίβανο στους  $110^\circ \pm 5^\circ \text{ C}$ .

## ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ :

Λαμβάνεται ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του εδάφους, ζυγίζεται η κάψα (Bκ), ζυγίζεται η κάψα με το υγρό έδαφος (Bκ+υ), όπου η διαδικασία της ζύγισης πρέπει να γίνεται γρήγορα για να μην έχουμε επιφανειακή ξήρανση του δείγματος. Έπειτα το δείγμα με την κάψα τοποθετείται μέσα στον κλίβανο που είναι ρυθμισμένος στους  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$  C και παραμένει μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος του. Έτσι η τελευταία ζύγιση (γίνονται διαδοχικές ζυγίσεις μέχρι όπου οι δυο τελευταίες να είναι ίδιες) σημειώνεται ως βάρος κάψας και ξηρού δείγματος (Bκ+ξ).

### Πρακτικό Μέρος

A	Βάρος Κάψας	gr	Bκ		34.19
B	Βάρος κάψας + υγρού δείγματος	gr	Bκ+υ		69.02
Γ	Βάρος κάψας + ξηρού δείγματος	gr	Bκ+ξ		62.40
Δ	Βάρος περιεχόμενου νερού	gr	Bυ	$\Delta=B-\Gamma$	6.62
E	Βάρος ξηρού δείγματος	gr	Bξ	$E=\Gamma-A$	28.21
Z	Περιεχόμενη Υγρασία	gr	W	$Z=\Delta/E$	0.23

### 3.2 Ειδικά Βάρη Εδαφών

**Υγρό φαινόμενο βάρος** είναι ο λόγος του βάρους υγρού δείγματος προς το συνολικό όγκο του δείγματος

$$\gamma = B_{\text{υγρ.}}/V = 2 \text{ gr/cm}^3$$

**Ξηρό φαινόμενο βάρος:** (dry bulk gravity,  $\gamma$ , ASTM C97-47). Υπολογίζεται, ως ο λόγος του βάρους προς τον ολικό όγκο του δοκιμίου, μετά από ξήρανση 24 ωρών στους 110°

$$\gamma_d = \gamma / (1 + w) = 1,6 \text{ gr/cm}^3$$

**Πορώδες:** Ως πορώδες χαρακτηρίζεται ο λόγος του όγκου των πόρων στη μάζα του δείγματος προς το συνολικό όγκο του.

$$\pi = 1 - \gamma_d / \gamma_s = 0,25$$

**Δείκτης κενών:** είναι ο λόγος του ειδικού βάρους στερεών συστατικών προς το ξηρό φαινόμενο ειδικό βάρος.

$$e = \gamma_s / \gamma_d = 0,33$$

**Ειδικό βάρος στερεών συστατικών  $\gamma_s$**  είναι ο λόγος του ξηρού βάρους του εδαφικού δείγματος, προς τον όγκο των κόκκων του

$$\gamma_s = B_{\text{ξηρ.}} / V_s$$

Το ειδικό βάρος στερεών συστατικών  $\gamma_s$  ενός εδάφους, χρησιμοποιείται για τον συσχετισμό του βάρους του εδάφους προς τον όγκο του. Συνήθως οι τιμές κυμαίνονται από 2.2 – 2.9 gr/cm<sup>3</sup>.

**Εργαστηριακός εξοπλισμός :**

- Κλίβανος
- Κάψες αλουμινένιες
- Γουδί, γουδοχέρι

- Ζυγός ακριβείας 0.01 gr
- Κόσκινο Νο10
- Πυκνόμετρο χωρητικότητας 100 ml
- Αποσταγμένο νερό
- Αντλία κενού

### **Τρόπος Εργασίας**

Λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα του εδάφους. Ξεραίνεται στον κλίβανο και κατόπιν τρίβεται στο γουδί με το γουδοχέρι. Το υλικό αυτό κατόπιν κοσκινίζεται στο κόσκινο Νο10 (2mm). Από το διερχόμενο από το κόσκινο υλικό(που θεωρείται λεπτόκοκκο), λαμβάνουμε δείγμα περίπου 50 gr. Αυτή η ποσότητα θα χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του ειδικού βάρους.

- Το πυκνόμετρο καθορίζεται ξεραίνεται και ζυγίζεται (Bπ).
- Στη συνέχεια τοποθετείται το ξηρό εδαφικό δείγμα (τα 50 gr του λεπτόκοκκου), μέσα στο πυκνόμετρο και το ξανά ζυγίζουμε μαζί με το πυκνόμετρο ( Bπ+ξ)
- Κατόπιν προστίθεται αποσταγμένο νερό περίπου μέχρι τα  $\frac{3}{4}$  της φιάλης. Ο αέρας που έχει παγιδευτεί στο μίγμα νερού – εδάφους απομακρύνεται με τη βοήθεια μιας αντλίας κενού.
- Στη συνέχεια συμπληρώνουμε με αποσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή της φιάλης και ζυγίζουμε ξανά ( Bπ+ξ+v).
- Ξεπλένουμε καλά το πυκνόμετρο και το γεμίζουμε μόνο με αποσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή, και το ξανά ζυγίζουμε (Bπ+v).

- Το ειδικό βάρος υπολογίζεται από τον τύπο :  $\gamma_s = \frac{B_{\xi\eta\rho}}{B_{\xi\eta\rho} + (B_{\pi+\nu} - B_{\pi+\xi+\nu})}$

A	Βάρος Πυκνομετρου	Bπ	gr		92.47
B	Βάρος Πυκν. + Ξηρού Δείγματος	Bπ+ξ	gr		128.71
Γ	Βάρος Ξηρού Δείγματος	Bξ	gr	Γ= B-A	36.24
Δ	Βάρος πυκν. + Ξ. Δειγματος + Νερού	Bπ+ξ+w	gr		361.65
E	Όγκος Συνολικού Νερού	Vw	Cm <sup>3</sup>	E= Δ-B	232.94
Z	Όγκος Πυκνομετρου + Νερου	Bπ+w	gr		342.31
H	Όγκος Πυκνομετρου	Vπ	Cm <sup>3</sup>	H= Z-A	249.84
Θ	Όγκος Δείγματος	Vs	Cm <sup>3</sup>	Θ= H-E	16.9
I	Ειδικό Βάρος Στερεών Συστατικών	$\gamma_s = \frac{B_{\xi\eta\rho}}{V_s}$	Gr/Cm <sup>3</sup>	I= Γ/Θ	2.14

### 3.3 Όρια Atterberg

#### Θεωρητικό Μέρος

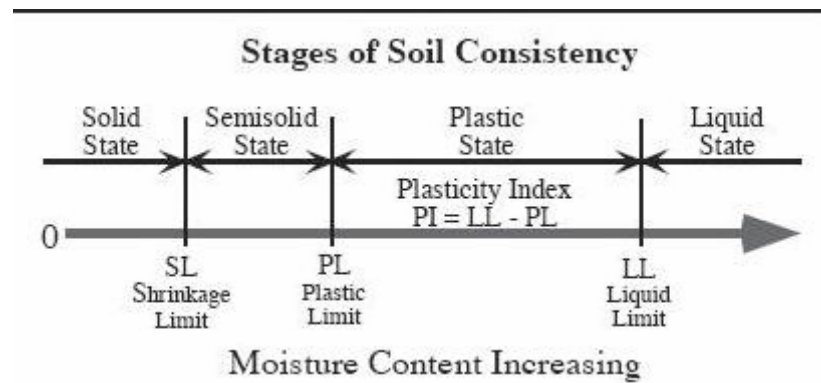
Η συμπεριφορά των αργιλικών εδαφών μεταβάλλεται έντονα με την μεταβολή της περιεκτικότητας τους σε νερό. Όταν η περιεκτικότητα είναι πολύ μεγάλη, τότε η συμπεριφορά θυμίζει χυλό ή ζεσταμένο μαλακό βούτυρο, ενώ όταν η περιεκτικότητα είναι χαμηλή, τότε ουσιαστικά αποκτά την συμπεριφορά των ωμοπλίνθων θυμίζοντας άλλοτε παγωμένο σκληρό βούτυρο και άλλοτε, όταν εμφανίζεται στεγνό, παλιό, ξηραμένο και σκληρό ψωμί. Τα αργιλικά εδάφη όταν η περιεκτικότητα είναι χαμηλή τότε συμπεριφέροντε ως στερεά, ενώ όταν η περιεκτικότητα σταδιακά αυξάνεται, τότε η κατάσταση τους με την σειρά μεταπίπτει σε ημιστερεά, πλαστική και ρευστή (σχήμα 1.4). Μεταξύ των τεσσάρων καταστάσεων διακρίνονται τρεις αυστηρά καθορισμένες ειδικές καταστάσεις συμπεριφοράς. Οι ειδικές αυτές καταστάσεις αντιστοιχούν σε ορισμένες τιμές περιεκτικότητας σε νερό, διαφορετικές από έδαφος σε έδαφος, καθώς εξαρτώνται από την φύση του και ονομάζονται όριο υδαρότητας (WL ή LL), όριο πλαστικότητας (WP ή LP) και όριο συρρίκνωσης (WR ή SL). Τα τρία αυτά όρια ορίσθηκαν και προτάθηκαν από τον Σουηδό γεωεπιστήμονα Atterberg και για τον λόγο αυτό φέρουν το όνομά του.

Συγκεκριμένα:

1. Το όριο υδαρότητας WL (liquid limit) χαρακτηρίζει τη μετάβαση από την πλαστική κατάσταση στην υδαρή.
2. Το όριο πλαστικότητας WP (plasticity limit) προσδιορίζει τη φυσική υγρασία για την οποία το υλικό αρχίζει να συμπεριφέρεται ως πλαστικό σώμα

3. Το όριο συρρίκνωσης WS (shrinkage limit) χαρακτηρίζει τη φυσική υγρασία για την οποία το υλικό έχει το μικρότερο δυνατό όγκο. Παραπέρα μείωση της φυσικής υγρασίας,  $W < WS$ , δεν επιφέρει μεταβολή όγκου.

(σχήμα 1.4)



**Δείκτης πλαστικότητας:** Ο δείκτης πλαστικότητας (PI) είναι η αριθμητική διαφορά μεταξύ ορίου υδαρότητας και ορίου πλαστικότητας δηλαδή,  $PI = WL - WP$ . Με άλλα λόγια είναι το εύρος της υγρασίας πάνω από το όριο πλαστικότητας που το έδαφος είναι σε πλαστική κατάσταση και συνεπώς έχει πλαστική συμπεριφορά. Εδάφη με μεγάλη τιμή δείκτη πλαστικότητας είναι ακατάλληλα για την έδραση οδοστρωμάτων. Τέτοια είναι όλα τα αργιλώδη και ιλυώδη εδάφη καθώς και ορισμένα αμυλώδη εδάφη. Στον Πίνακα 1.2 δίνεται ο βαθμός πλαστικότητας συναρτήσει του PI.

## Πίνακας 1.2. Πλαστικότητα εδαφών συναρτήσει του δείκτη πλαστικότητας

<i>Έδαφος</i>	<i>Εύρος PI</i>	<i>Χαρακτηριστικά σε ξηρή κατάσταση</i>
Υψηλής πλαστικότητας	>35	Υψηλή συνεκτικότητα, αδύνατη η θρυμμάτιση των σβόλων με το χέρι
Πλαστικό	16-35	Μέτρια-υψηλή συνεκτικότητα, δύσκολη η θρυμμάτιση των σβόλων με το χέρι
Μέτριας πλαστικότητας	7-15	Χαμηλή-μέτρια συνεκτικότητα, με μικρή πίεση θρυμματίζονται οι σβόλοι
Ελαφρώς πλαστικό	4-6	Χαμηλή συνεκτικότητα, εύκολος θρυμματισμός των σβόλων με το χέρι
Μη-πλαστικό	0-3	Πολύ λίγη-καθόλου συνεκτικότητα, οι σβόλοι αποσυντίθενται με την επαφή

Με τη γνώση του δείκτη πλαστικότητας είναι δυνατόν να εκτιμηθεί η φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους εκφραζόμενη σε CBR. Τέλος, η γνώση του PI, σε συνδυασμό με το όριο υδαρότητας WL, είναι δυνατόν να καθορίσει τη μεταβολή των βασικών χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των εδαφών όπως: συμπίεστικότητα, διαπερατότητα, μεταβολή όγκου και συνεκτικότητα σε ξηρή κατάσταση ( Πίνακας 1.3)



Πίνακας 1.3. Σύγκριση εδαφών

Χαρακτηριστική Ιδιότητα	Σύγκριση εδαφών με το ίδιο  WL αλλά το PI να αυξάνει	Σύγκριση εδαφών με το ίδιο  PI αλλά το WL να αυξάνει
Συμπιεστότητα	Περίπου η ίδια	Αυξάνεται
Διαπερατότητα	Μειώνεται	Αυξάνεται
Μεταβολή όγκου	Αυξάνεται	Μειώνεται
Συνεκτικότητα	Αυξάνεται	

**Σχέσεις μεταξύ PI, WL & WP:** Δυο άλλες παράμετροι, οι οποίες σπανίως χρησιμοποιούνται στην οδοποιία, είναι ο Δείκτης Υδαρότητας (LI) (Lingyidity Index) και ο Δείκτης Συνεκτικότητας (CI) (Consistency Index). Οι σχέσεις από τις οποίες καθορίζονται οι δείκτες αυτοί είναι:

$$LI = (W-WP)/PI$$

$$CI = (WL-W)/PI$$

$$IC+IL=1$$

όπου W = φυσική υγρασία του εδάφους

WP = όριο πλαστικότητας

WL = όριο υδαρότητας

PI = δείκτης πλαστικότητας

Οι παραπάνω δείκτες, κυρίως ο CI, βρίσκουν εφαρμογή περισσότερο στα αργιλικά εδάφη για να εκτιμηθεί η κατάσταση του εδαφικού υλικού από πλευράς συνεκτικότητας. Τα αργιλικά εδάφη περιέχουν σχεδόν πάντοτε κάποια υγρασία. Έτσι μπορεί λόγω της φυσικής τους υγρασίας να βρίσκονται σε στερεά κατάσταση,  $CI > 1$ , σε πλαστική κατάσταση  $0 \leq CI \leq 1$  ή σε υδαρή κατάσταση  $CI < 0$ .

### **Μέθοδος προσδιορισμού ορίου υδαρότητας**

Εργαστηριακός εξοπλισμός:

1. Κάψα από πορσελάνη διαμέτρου περίπου 120 mm.
2. Σπαθίδα ή μικρό μαχαίρι με λεπίδα μήκους περίπου 80 mm και πλάτους 20 mm.
3. Συσκευή ορίου υδαρότητας. Μηχανική συσκευή που συνίσταται από ένα ορειχάλκινο κύπελλο και μια βάση που είναι κατασκευασμένη σύμφωνα με το σχέδιο και της διαστάσεις.
4. Όργανο χαράξεως συνδυασμένο με μετρητή στο πίσω μέρος.
5. Υποδοχείς γυάλινοι που παρεμποδίζουν την απώλεια υγρασίας κατά την ζύγιση.

6. Ζυγός με ευαισθησία 0,01 g.

Σχήμα 1.5.





Σχήμα 1.5. Εξοπλισμός υπολογισμού ορίου υδαρότητας

- Μηχανική μέθοδος

Προκαταρκτικές εργασίες: Παίρνουμε δείγμα βάρους περίπου 100g από το κλάσμα του υλικού, που έχει καλά αναμιχθεί και διέρχεται από το κόσκινο No 40.

Η συσκευή του ορίου υδαρότητας πρέπει να επιθεωρείται για να διαπιστωθεί η καλή κατάσταση λειτουργίας, ότι δεν έχει επέλθει φθορά στον πείρο που συγκρατεί το κύπελλο, ότι είναι σφιγμένοι οι κοχλίες συνδέσεως του κυπέλου και ότι δεν έχει χαραχθεί το κύπελλο λόγω μακράς χρήσεως.

Με τον μετρητή που υπάρχει στο πίσω μέρος του οργάνου χαράξεως ρυθμίζουμε το ύψος στο οποίο θα ανυψώνεται το κύπελλο έτσι ώστε το σημείο του κυπέλου που έρχεται σε επαφή με την βάση της συσκευής να είναι ακριβώς 1 εκατ. πάνω από τη βάση. Στη συνέχεια σταθεροποιούμε την πλάκα ρυθμίσεως σφίγγοντας τους κοχλίες με τον μετρητή. Ακόμη στη θέση I ελέγχουμε την ρύθμιση περιστρέφοντας τον στρόφαλο μερικές φορές. Εάν η ρύθμιση είναι καλή θα ακούγεται ένας ελαφρύς

ήχος, όταν η προεξοχή του στροφάλου εφάπτεται της προεξοχής του κυπέλλου. Εάν το κύπελλο ανυψώνεται ή δεν ακούγεται ο ελαφρύς ήχος πρέπει να γίνει ξανά η ρύθμιση.

- Τρόπος εργασίας

Τοποθετούμε το δείγμα εδάφους μέσα σε μια κάψα και ρίχνουμε 15 – 20 cm<sup>3</sup> αποσταγμένου νερού. Ανακατεύουμε πάρα πολύ καλά με τη σπαθίδα (σπάτουλα) μέχρις ότου κατανεμηθεί ομοιόμορφα το νερό στο δείγμα. Παραπάνω προσθήκη νερού γίνεται σε ποσότητα 1 – 3 cm<sup>3</sup> και επακολουθεί η ανάμιξη ως ανωτέρω, πριν προστεθεί, αν χρειασθεί, άλλη ποσότητα νερού. Κατόπιν το δείγμα τοποθετείται στον υγραντήρα επί 30 min για ωρίμανση. Στην συνέχεια παίρνουμε μέρος της ομοιόμορφης πηκτής μάζας και την τοποθετούμε στο κύπελλο της συσκευής και στο μέρος πάνω από το σημείο που ακουμπά το κύπελλο στη βάση της συσκευής. Απλώνεται το υλικό με τη βοήθεια της σπαθίδας (σπάτουλας) καταβάλλοντας προσπάθεια να μην εγκλείσουμε φυσαλίδες μέσα στο δείγμα. Μετά την ισοπέδωση το μεγαλύτερο βάθος του δείγματος πρέπει να είναι 1 cm. Το επί πλέον έδαφος απομακρύνεται. Το εντός του κυπέλλου έδαφος διαιρείται με μια σταθερή διαδρομή του οργάνου χαράξεως κατά μήκος της διαμέτρου που διέρχεται από το μέσο του στηρίγματος του κυπέλλου, έτσι ώστε να σχηματισθεί καθαρή και απότομη χαραγή καταλλήλων διαστάσεων.

Προς αποφυγή δημιουργίας σχισμών επί των πλευρών της χαραγής ή ολισθήσεως του εδάφους, επιτρέπονται μέχρι 6 τέτοιοι χειρισμοί. Το βάθος της χαραγής πρέπει να αυξάνει με κάθε χειρισμό, στο τέλος δεν πρέπει να φαίνεται ο πυθμένας του κυπέλλου.

Με περιστροφή του στρόφαλου F με ταχύτητα δύο στροφών ανά δευτερόλεπτο, ανυψώνεται και πέφτει το κύπελλο με το παρασκεύασμα, μέχρις ότου οι δύο πλευρές του δείγματος ενωθούν στον πυθμένα της χαραγής και σε μήκος 12,7 χιλιοστά περίπου. Αναγράφεται ο αριθμός των κτύπων που χρειάστηκαν για να κλείσει έτσι η χαραγή. Όταν περιστρέφεται ο στρόφαλος η συσκευή πρέπει να κρατιέται με το άλλο χέρι.

Τμήμα εδάφους, ίσο περίπου με το πλάτος της σπαθίδας εκτεινόμενο από άκρο σε άκρο του πλακούντος του εδάφους, κάθετα προς την χαραγή και περιλαμβάνοντας το μέρος της χαραγής που ενώθηκε το έδαφος, τοποθετείται σε κατάλληλο γυάλινο υποδοχέα ζυγίζεται και ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους σε κλίβανο θερμοκρασίας 1100C και ζυγίζεται πάλι. Καταγράφεται το ξηρό βάρος ως επίσης και το νερό που έχασε κατά την ξήρανση.

Η πιο πάνω δοκιμασία, επαναλαμβάνεται σε δύο τουλάχιστον επί πλέον τμήματα του δείγματος, στα οποία έχει προστεθεί αρκετό νερό για να γίνει το δείγμα περισσότερο ρευστό. Ο σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η επίτευξη δειγμάτων τέτοιας συστάσεως ώστε να γίνεται τουλάχιστον ένας προσδιορισμός σε κάθε μια από τις ακόλουθες τρεις περιοχές κτύπων: 25 - 35, 20 - 30, 15 - 25.

- Τήρηση στοιχείων

Η περιεκτικότητα σε νερό βρίσκεται όπως αναφέρεται στην προδιαγραφή προσδιορισμού φυσικής υγρασίας εδάφους. Στη συνέχεια επί ημιλογαριθμικού διαγράμματος σχηματίζεται η καμπύλη ροής, που παριστά την σχέση μεταξύ περιεχόμενης υγρασίας και αντίστοιχου

αριθμού κτύπων, με τα ποσοστά υγρασίας σαν τετμημένες στην γραμμική κλίμακα και των αριθμό κτύπων, ως τεταγμένες, στην λογαριθμική κλίμακα. Η καμπύλη ροής θα σχεδιάζεται ως ευθεία γραμμή όσον δυνατόν πλησιέστερα προς τα τρία αποτυπωθέντα σημεία. Το ποσοστό υγρασίας που αντιστοιχεί στην καμπύλη ροής με την τεταγμένη των 25 κτύπων λαμβάνεται σαν όριο υδαρότητας.

### **Προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας και του δείκτη πλαστικότητας**

Εξοπλισμός: Ο εργαστηριακός εξοπλισμός θα αποτελείται:

1. Κάψα από πορσελάνη διαμέτρου περίπου 120 mm.
2. Σπαθίδα ή σπάτουλα με λεπίδα μήκους 80 mm περίπου και πλάτος 20 mm περίπου.
3. Επιφάνεια από την κυλίνδρωση: Γυάλινη πλάκα σμηριδόμενη ή κομμάτι ομαλού και αστίλβωτου χαρτιού για κυλίνδρωση του δείγματος.
4. Υποδοχείς. Κατάλληλοι υποδοχείς, ώστε να προσαρμόζονται, ύαλοι ωρολογίου για την πρόληψη απώλειας υγρασίας κατά την διάρκεια της ζυγίσεως.
5. Κλίβανος θερμοκρασίας 110°C.
6. Ζυγός ευαισθησίας 0,001 g.

Τρόπος εργασίας.

Λαμβάνεται ποσότητα εδάφους περίπου 20 g από το μέρος του υλικού που έχει αναμιχθεί καλά, του διερχόμενου από το κόσκινο Νο 40 (425 μικρά).

Τοποθετείται το έδαφος, που έχει ξηραθεί στον αέρα, μέσα σε κάψα από πορσελάνη και αναμιγνύεται καλά με αποσταγμένο νερό μέχρι που η

μάζα καταστεί αρκετά πλαστική ώστε να μορφώνεται εύκολα σε βόλο. Σαν δείγμα δοκιμής λαμβάνεται μέρος του βόλου αυτού βάρους 8 g περίπου.

Συμπιέζεται και μορφώνεται το δείγμα δοκιμής των 8 g σε μάζα ελλειψοειδούς σχήματος. Η μάζα αυτή κυλινδρώνεται μεταξύ των δακτύλων και της σφυριδωμένης γυάλινης πλάκας ή του κομματιού χαρτιού που βρίσκεται πάνω σε ομαλή οριζόντια επιφάνεια, με την ακριβώς απαιτούμενη πίεση ώστε να κυλινδρωθεί η μάζα σε ραβδίσκο ομοιόμορφου διαμέτρου σε

όλο το μήκος του. Ο αριθμός κυλινδρώσεως πρέπει να είναι μεταξύ 80 – 90 κινήσεων ανά λεπτό, υπολογιζόμενης της κινήσεως σαν μια πλήρη κίνηση του χεριού προς τα εμπρός και προς τα πίσω στη θέση εκκινήσεως.

Όταν η διάμετρος του ραβδίσκου καταστεί 3 mm ο ραβδίσκος θραύεται ξανά σε έξη ή οκτώ τεμάχια. Συμπιέζονται τα τεμάχια μαζί μεταξύ των αντιχειρών και των δακτύλων και των δύο χεριών προς ομοιόμορφη μάζα, χονδρικά ελλειψοειδούς σχήματος και επαναλαμβάνεται η κυλίνδρωση. Η εναλλαγή συνεχίζεται με κυλίνδρωση σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm, με

συλλογή (συνένωση), με αναζύμωση και επανακυλίνδρωση, μέχρι που ο ραβδίσκος θρυμματισθεί με την απαιτούμενη για την κυλίνδρωση πίεση και το έδαφος δεν μπορεί πλέον να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο. Ο θρυμματισμός μπορεί να επέλθει όταν ο ραβδίσκος έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 3 mm. Αυτό πρέπει να θεωρηθεί ικανοποιητικό σημείο περατώσεως, με τον όρο ότι το έδαφος κυλινδρώθηκε προηγουμένως σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm.

Συγκεντρώνονται μαζί τα μέρη του θραυσθέντος εδάφους και τοποθετούνται μέσα σε κατάλληλο προζυγισμένο υποδοχέα. Ο υποδοχέας με το έδαφος ζυγίζεται και καταγράφεται το βάρος. Το έδαφος



που είναι μέσα στον υποδοχέα, ξηραίνεται σε κλίβανο μέχρι σταθερού βάρους, σε θερμοκρασία 110°C και ζυγίζεται. Το βάρος αυτό καταγράφεται. Η απώλεια βάρους αναφέρεται στο βάρος ύδατος.

Ο προσδιορισμός του ορίου υδαρότητας προκύπτει σαν ο μέσος όρος τριών δοκιμών.

- Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Το όριο πλαστικότητας υπολογίζεται σαν το ποσοστό επί τοις εκατό (%) του νερού, κατά βάρος, που περιέχεται στους ραβδίσκους των 3 mm που ξηράθηκαν στον κλίβανο μέχρι σταθερού βάρους, ως εξής:

Όριο πλαστικότητας = Βάρος Νερού/Βάρος εδάφους που ξηράθηκε στον κλίβανο x 100 .Ο δείκτης πλαστικότητας του εδάφους υπολογίζεται σαν η διαφορά μεταξύ του ορίου υδαρότητας και του ορίου πλαστικότητας ως εξής:

Δείκτης πλαστικότητας = όριο υδαρότητας - όριο πλαστικότητας

Η διαφορά που αναγράφεται παραπάνω αναφέρεται ως "δείκτης πλαστικότητας", με εξαίρεση τις εξής περιπτώσεις:

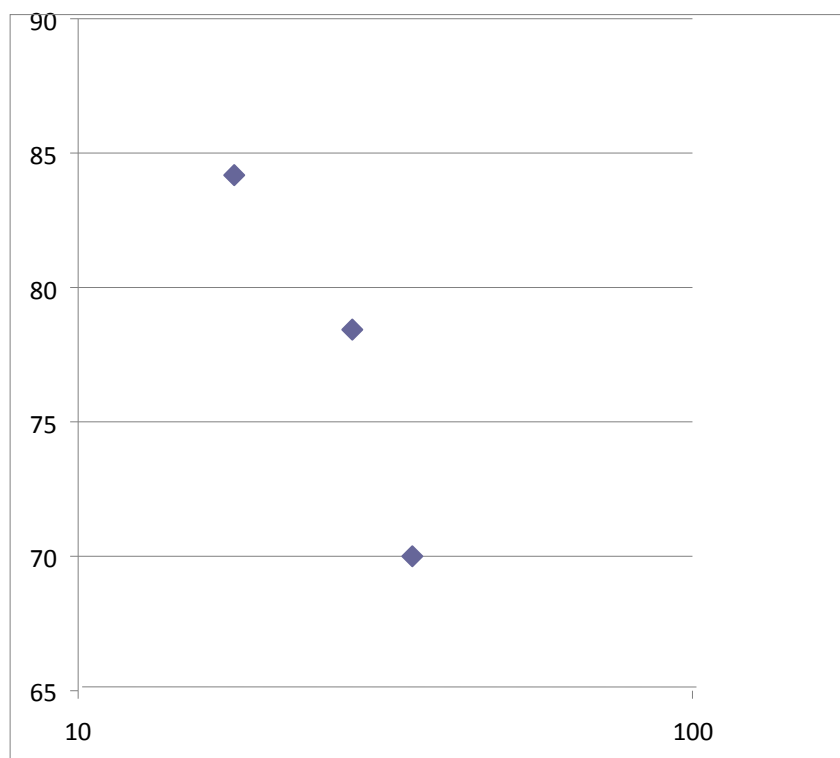
Όταν το όριο υδαρότητας ή το όριο πλαστικότητας δεν μπορούν να προσδιορισθούν, αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν NP (μη πλαστικό).

Όταν το έδαφος είναι εξαιρετικά αμμώδες, η δοκιμή για το όριο πλαστικότητας πρέπει να εκτελείται πριν από το όριο υδαρότητας. Αν το όριο πλαστικότητας δεν μπορεί να προσδιορισθεί, αναφέρονται και το όριο υδαρότητας και το όριο πλαστικότητας σαν NP (μη πλαστικό).

Όταν το όριο πλαστικότητας είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το όριο υδαρότητας, αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν NP. Το όριο πλαστικότητας και ο δείκτης πλαστικότητας εκφράζονται στρογγυλεμένοι στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό. Για υλικά με δείκτη πλαστικότητας μικρότερο του 10 εκφράζονται με ακρίβεια 0,1.

### Πρακτικό Μέρος

N	$\omega$
35	70
28	78.42
18	84.21



**ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ:**  $LL=78$  (Το βρίσκουμε φέρνοντας κάθετη από τους 25 χτύπους στην ευθεία που ορίζουν τα σημεία μας.)

**ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ:**  $LP=B_v/B_{εδ.ξ.}=36,67$

**ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ:**  $IP=LL-LP=41,33$

Ο δείκτης πλαστικότητας είναι αρκετά μεγάλος, πράγμα που σημαίνει ότι το έδαφος μας έχει υψηλή συνεκτικότητα.

### **3.4 Κοκκομετρική Ανάλυση Εδαφών**

#### **θεωρητικό Μέρος**

Η κοκκομετρική ανάλυση θεωρείται διεθνώς η καταλληλότερη εργαστηριακή δοκιμή για την μηχανική κατάταξη των εδαφών. Η καταλληλότητα ή μη εδαφών για θεμελιώσεις, έργα οδοποιίας και λοιπά συγκοινωνιακά έργα (σιδηροδρομικά δίκτυα, αεροδρόμια), κατασκευή φραγμάτων και αναχωμάτων, επιχωμάτων, προσχώσεων κλπ., εξαρτάται από την κοκκομετρική ανάλυση, δηλαδή, τον προσδιορισμό της σχετικής συμμετοχής κάθε κλάσματος στο δείγμα.

Οι πληροφορίες που παίρνουμε από την κοκκομετρική ανάλυση μπορούν να μας διευκολύνουν στο να προβλέψουμε την συμπεριφορά εδαφών, όσον αφορά την αντοχή και παραμόρφωση, την κίνηση του υπόγειου νερού (διήθηση), την απόκριση σε παγετό. Η σωστή ταξινόμηση των εδαφών μας βοηθά στην επιλογή των κατάλληλων υλικών για φίλτρα προστασίας και συγκράτησης γύρω από τεχνητές και φυσικές αποστραγγίσεις.

Στην πραγματικότητα δεν είναι δυνατόν να προσδιορίσουμε το κάθε ένα διαφορετικό κοκκομετρικό μέγεθος αλλά το εύρος των διαφόρων

μεγεθών που συμμετέχουν στο δείγμα. Αυτό ολοκληρώνεται με το να πάρουμε την ποσότητα του υλικού που διέρχεται μέσα από ένα κόσκινο συγκεκριμένου ανοίγματος και συγκρατείται στο αμέσως μικρότερου ανοίγματος κόσκινο της σειράς. Στη συνέχεια συσχετίζουμε την ποσότητα αυτή με το συνολικό δείγμα.



Διάταξη κοκκομετρικής δοκιμής (φωτ. Εργαστήριο Εδαφομηχανικής).

Τα κόσκινα είναι κατασκευασμένα από πεπλεγμένο σύρμα, τετραγωνικών ανοιγμάτων των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται από 101.6 mm, το οποίο κατακρατεί τα πλέον χονδρόκοκκα υλικά έως και 0.075 mm (τυποποιημένο φίλτρο No200), το οποίο είναι το φίλτρο με τις μικρότερες διαστάσεις και διαχωρίζει τα ιλυώδη- αργιλώδη υλικά από τα αμμώδη - χαλικώδη και έχει ουσιαστική σημασία στην ταξινόμηση του εδάφους. Συχνά είναι απαραίτητη η γνώση της κοκκομετρικής κατανομής του υλικού που διέρχεται το φίλτρο No200 (ειδικά όταν το διερχόμενο

ξεπερνάει το 12% του συνολικού δείγματος). Σε αυτήν την περίπτωση εφαρμόζεται η υδραυλική δοκιμή (η οποία δεν βασίζεται στον μηχανικό διαχωρισμό αλλά στην ανάλυση με πυκνόμετρο και αραιόμετρο - μέθοδος Stokes).

Εικόνα: Κάρολος με κόσκινα





Κόσκινα (από αριστερά) No200, No4, 6.3 mm, 75 mm (φωτ. Εργαστήριο Εδαφομηχανικής).

Συχνά οι κόκκοι είναι κατά τέτοιο τρόπο προσανατολισμένοι ώστε παρόλο που το άνοιγμα του κόσκινου είναι μεγαλύτερο, δεν μπορούν να διέλθουν μέσα από αυτό και έτσι παραμένουν στο μεγαλύτερου μεγέθους κλάσμα. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με κατάλληλη διάταξη δόνησης.

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής δοκιμής παρουσιάζονται με την μορφή καμπύλης. Για να έχουμε καλύτερη εποπτεία της κατανομής και δυνατότητα σύγκρισης των διαφόρων εδαφών, χρησιμοποιείται η λογαριθμική κλίμακα, καθώς η λεπτόκοκκη μάζα έχει κλάσματα της τάξης των 2.00 mm (και μεγαλύτερα) έως και 0.075 mm (No200) και έτσι απαιτείται μεγάλη κλίμακα για να αποδοθούν όλα τα μεγέθη με την ίδια ακρίβεια. Η συνήθης πρακτική είναι η απεικόνιση του διερχόμενου ποσοστού στον κατακόρυφο άξονα και της διαμέτρου στον οριζόντιο. Επιπλέον, τα μεγέθη των κόκκων αυξάνονται από αριστερά προς τα δεξιά.

Είναι προφανές πως η κατανομή της κοκκομετρικής καμπύλης είναι προσεγγιστική. Αυτό οφείλεται στις αντικειμενικές δυσκολίες στο να συλλέξουμε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα, επιπλέον, στο γεγονός της παρουσίας συσσωματώσεων κόκκων, στην ανομοιομορφία στο σχήμα των κόκκων και στον προσανατολισμό τους και τέλος στο γεγονός πως το πρόβλημα πρέπει να αντιμετωπιστεί με ένα περιορισμένο αριθμό κόσκινων.

Η ακρίβεια της ανάλυσης θα μπορούσε να αμφισβητηθεί κυρίως για τα δείγματα με μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκου υλικού. Η συνήθης πρακτική είναι η διαδικασία της ξήρανσης σε φούρνο, η οποία ελάχιστα επηρεάζει τελικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Η ορθότητα των αποτελεσμάτων εξαρτάται από το αν το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό και από το αν το δείγμα περιέχει συσσωματώματα κόκκων και όχι τα πιο στοιχειώδη κομμάτια.

Η καμπύλη που παίρνουμε από την παραπάνω διαδικασία είναι ικανοποιητική για να προβλέψουμε τη συμπεριφορά μη συνεκτικών εδαφών, για την εύρεση του σχετικού ποσοστού κόκκων που περνά από το κόσκινο No200 καθώς και για την ταξινόμηση των εδαφών.

Μία σειρά κόσκινων αποτελείται εν γένει από 6-7 κόσκινα με άνοιγμα το οποίο διπλασιάζεται από το κατώτερο στο ανώτερο (6, 12, 24 mm) ώστε να απεικονίζονται στο λογαριθμικό διάγραμμα σε ίσες αποστάσεις. Για απλοποίηση της διαδικασίας, επιτρέπεται κάποια από τα κόσκινα να παραληφθούν. Κάτι τέτοιο είναι αποδεκτό αφού η αυστηρή ακολουθία διπλασιασμού του μεγέθους δεν επηρεάζει την καμπύλη κατανομής και εξακολουθεί να διασφαλίζεται η στατιστική αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

## **Χαρακτηριστικά Κόσκινα**

Σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης εδαφών της ASTM , τα παρακάτω κόσκινα χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν τα εδαφικά υλικά σε κατηγορίες:



Κατηγορίες εδαφικών υλικών – χαρακτηριστικά κόσκινα

Λίθοι (πέτρες)	Το κόσκινο των <b>75 mm</b> , διαχωρίζει το εδαφικό υλικό από τις λίθους.		
<b>Χαλίκια</b>	Τα χαλίκια είναι η διαβάθμιση μεταξύ του κόσκινου των <b>75 mm</b> και του κόσκινου <b>No4 (4.75 mm)</b> .	<b>Χονδρόκοκα χαλίκια</b>	Τα χονδρόκοκα χαλίκια, συγκρατούνται μεταξύ των κόσκινων <b>75 mm</b> και <b>19 mm</b> .
		Λεπτόκοκα χαλίκια	Τα λεπτόκοκα χαλίκια συγκρατούνται μεταξύ των κόσκινων <b>19 mm</b> και <b>No4 (4.75 mm)</b> .
<b>Άμμος</b>	Η άμμος συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων <b>No4 (4.75 mm)</b> και <b>No200 (0.075 mm)</b> .	Χονδρόκοκη άμμος	Η χονδρόκοκη άμμος συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων <b>No4 (4.75 mm)</b> και <b>No10 (2 mm)</b> .
		Μεσόκοκη άμμος	Η μεσόκοκη άμμος συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων <b>No10 (2 mm)</b> και <b>No40 (0.425 mm)</b> .

		<b>Λεπτόκοκκη άμμος</b>	Η λεπτόκοκκη άμμος συγκρατείται μεταξύ των κόσκινων <b>No40 (0.425 mm)</b> και <b>No200 (0.075 mm)</b> .
<b>Ιλύς - Άργιλος</b>	Η ιλύς και η άργιλος είναι το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο <b>No200 (0.075 mm)</b>	<b>Ιλύς (0.075 -0.005 mm)</b> <b>Άργιλος (έως 0.005 mm)</b>	<b>Απαιτείται υδραυλική κοκκομετρική δοκιμή με χρήση αραιόμετρου.</b>

Εργαστηριακός Εξοπλισμός:

- Ζυγός ακριβείας 0,1 gr
- Γυάλινο ποτήρι 250 ml
- Παράγοντας διασποράς
- Συσκευή ανάδευσης, μηχανική
- Αραιόμετρο (πυκνόμετρο)
- Γυάλινοι ογκομετρικοί κύλινδροι των 1000ml
- Θερμόμετρο ακρίβειας 0,5°C

- Κόσκινο N<sub>o</sub> 10 (2mm)
- Υδατόλουτρο ή χωρίς σταθερής θερμοκρασίας

Η κοκκομετρική ανάλυση γίνεται σε τρεις (3) φάσεις :

- I. Στη κοσκίνιση του χοντρόκοκκου υλικού
- II. Στη φάση της καθίζησης
- III. Στην κοσκίνιση του λεπτόκοκκου υλικού

## Πρακτικό Μέρος

### Κοκκομετρική Ανάλυση Χονδρόκοκκου Κλάσματος

**$P_x = 24.98\%$ ,  $P_L = 75.02\%$**

Ολικό Βάρος= 92.48 gr				Αναγωγή επί του συνολικού δείγματος	Διερχόμενο (%)
Αριθμός κόσκινου	Συγκρατούμενο (gr)	Διερχόμενο			
		(gr)	(%)		
3/8 – in	0	92.48	100	$(100 * 24.98 / 100) + 75.02$	100
No.4	34.48	58	62,72	$(62,72 * 24.98 / 100) + 75.02$	90,69
No.10	92.48	0	0	$(0 * 24.98 / 100) + 75.02$	75.02

<b>ΧΡΟΝΟΣ (min)</b>	<b>MAX ΔΙΑΜ ΚΟΚΚΩΝ D' (mm)</b>	<b>ΘΕΡΜ (c)</b>	<b>ΕΝΔ ΠΥΚΝ (Ri)</b>	<b>C</b>	<b>R</b>	<b>R-1</b>	<b>Pδ%</b>	<b>P%</b>
0								
2	0,041	25	1,028	0,00006	1,02794	0,02794	47,92	35,95
5	0,026	25	1,028	0,00006	1,02794	0,02794	47,06	35,30
15	0,015	24	1,027	0,00027	1,02673	0,02673	45,84	34,39
30	0,011	25	1,026	0,00006	1,02594	0,02594	44,49	33,37
60	0,007	24	1,0245	0,00027	1,02423	0,02423	41,55	31,17
250	0,004	26	1,022	0,00014	1,02214	0,02214	37,97	28,48
1440	0,002	25	1,022	0,00006	1,02194	0,02194	37,63	28,23

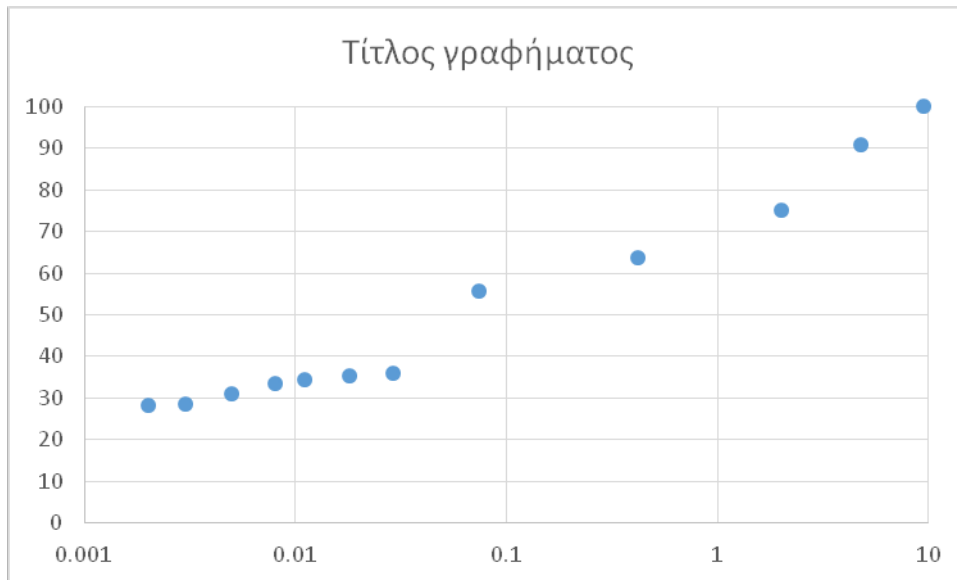
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ $D=D' \times KL \times KG \times KN$					
Χρόνος (min)	D'	KL	KG	KN	D(mm)
2	0.041	0.743	1,016	0,935	0.029
5	0.026	0.743	1,016	0,935	0.018
15	0.015	0.752	1,016	0,946	0.011
30	0.011	0.760	1,016	0,935	0.008
60	0.007	0.778	1,016	0,945	0.005
250	0.004	0.796	1,016	0,925	0.003
1440	0.002	0.806	1,016	0,935	0.002

<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ</b>		
Βάρος ξηρού δείγματος W=98,33gr	Αναγωγή επί του	Διερχόμενο

Αριθμός κόσκινου	Συγκρατούμενο (gr)	Διερχόμενο		συνολικού δείγματος	(%)
		(gr)	(%)		
No.10	0	98,33	100		75,02
No.40	15,02	83,31	84,72	84,72*75,02/100	63,56
No.200	10,23	73,08	74,32	74,32*75,02/100	55,76

**ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ**

ΜΕΓΕΘΟΣ ΟΠΗΣ	% ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ
0,002	28,23
0,003	28,48
0,005	31,17
0,008	33,37
0,011	34,39
0,018	35,30
0,029	35,95
0,074	55,76
0,42	63,56
2,00	75,02
4,76	90,69
9,52	100



### Ταξινόμηση εδαφικών υλικών

Η διαδικασία της ταξινόμησης των εδαφικών υλικών είναι από τις σημαντικότερες διαδικασίες της γεωτεχνικής έρευνας. Πρόκειται ουσιαστικά για την διαδικασία αναγνώριση του υλικού και ταξινόμησής του σε κάποια από τις γνωστές κατηγορίες εδαφών. Το έδαφος είναι ένα υλικό που δεν έχει προδιαγεγραμμένες ιδιότητες. Σε αντίθεση με τα υλικά που χρησιμοποιούμε στις κατασκευές τα οποία είναι προϊόντα βιομηχανικής - ελεγχόμενης επεξεργασίας, τα γεωτεχνικά υλικά χρησιμοποιούνται όπως τα βρίσκουμε στο φυσικό τους περιβάλλον, ενδεχομένως έχοντας υποστεί απλές κατεργασίες (όπως θραύση αδρανών υλικών) όταν χρησιμοποιούνται ως υλικά «χτισίματος» επιχωμάτων και φραγμάτων.. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως δεν επεμβαίνουμε στις ιδιότητές τους και είναι οι περιπτώσεις όπου τα γεωτεχνικά υλικά είναι τελικός φορέας των κατασκευών μας (π.χ. έδαφος θεμελιώσεων, έδαφος σηράγγων). Για τον



παραπάνω λόγο είναι σημαντικό να ταξινομούμε κάποιο εδαφικό υλικό σε κάποια από τις γνωστές κατηγορίες, ώστε να έχουμε μία πρώτη εικόνα για τις ιδιότητες και την συμπεριφορά του υλικού. Επιπλέον, η ταξινόμηση δίνει την ονοματολογία των υλικών (ουσιαστικά «βαπτίζει» το εδαφικό δείγμα) ώστε να είναι ευκολότερη η επικοινωνία μεταξύ των ειδικών επιστημόνων που ασχολούνται με την γεωτεχνική (Γεωλόγοι και μηχανικοί).

Μία πρώτη προσέγγιση της ταξινόμησης είναι η απευθείας αναγνώριση του υλικού από κάποιον έμπειρο. Ο έμπειρος ο οποίος μπορεί να είναι Γεωλόγος ή Μηχανικός ταξινομεί το υλικό με το οποίο μπορεί να έχει άμεση επαφή (π.χ. από τα πρηνή ενός ορύγματος οδοποιίας) ή μέσω των «καρότων» της γεώτρησης. Εφαρμόζοντας την κρίση του που βασίζεται στην εμπειρία και χρησιμοποιώντας τα αισθητήρια όργανά του (την όραση, την όσφρηση και την αφή) ταξινομεί το εδαφικό δείγμα. Η ταξινόμηση με βάση την εμπειρία είναι απλούστερη για τις κατηγορίες πετρωμάτων (π.χ. αναγνώριση ιζηματογενών, μεταμορφωμένων ή πυριγενών πετρωμάτων και ειδικότερη ταξινόμηση) και ένας ειδικός μπορεί να περιγράψει με σχετική ακρίβεια το είδος του πετρώματος καθώς έχουν έντονα και διακριτά χαρακτηριστικά. Για την περίπτωση των εδαφικών δειγμάτων είναι δυνατή η ταξινόμηση σε μία από τις τρεις κατηγορίες: «Άμμος», «Ιλύς» ή «Άργιλος» ενδεχομένως με μία εκτίμηση των μεταξύ των προσμίξεων ή του χρωματισμού τους κλπ (π.χ. «παχιά Άργιλος» ή «κόκκινη Άργιλος με λίγο άμμο»).

### **Έδαφος κακής διαβάθμισης.**

Ένα έδαφος όπου επικρατεί μία συγκεκριμένη διάσταση ή απουσιάζει μία γκάμα διαστάσεων είναι κακής διαβάθμισης. Ένα έδαφος όπου θα επικρατεί μία συγκεκριμένη διάσταση και δεν έχει επαρκής ποσότητα λεπτομερούς κλάσματος για να πληρώσει τα κενά μεταξύ των μεγαλύτερων κόκκων, δεν είναι δεκτικό συμπίκνωσης, θα έχει ανοικτή πορώδη δομή και ευκολότερη μετακίνηση των κόκκων και μικρότερη φέρουσα ικανότητα. Ένα έδαφος όπου απουσιάζει μία γκάμα διαστάσεων είναι επίσης κακής διαβάθμισης. Εκτός των προβλημάτων που οφείλονται στην κακή συμπίκνωση, το έδαφος αυτό είναι ευαίσθητο στην διέλευση του νερού, το οποίο συμπαρασύρει τους κόκκους λεπτότερης διαμέτρου και έτσι δημιουργούνται κενά με δυσμενείς επιπτώσεις στις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους. (Κολέτσος Κ. 2004

### **Καλά διαβαθμισμένο έδαφος**

Ένα καλά διαβαθμισμένο έδαφος, είναι σχετικά σταθερό, ανθίσταται στην φθορά και την διάβρωση, μπορεί να συμπυκνωθεί καλά και να αποκτήσει μεγάλη πυκνότητα με αποτέλεσμα να αναπτύσσει μεγάλη αντοχή στη διάτμηση και φέρουσα ικανότητα. Οι καλές ιδιότητες του υλικού προέρχονται από το γεγονός πως τα κενά μεταξύ των κόκκων συμπληρώνονται από κόκκους μικρότερης διαμέτρου. Στην συνέχεια τα κενά μεταξύ των κόκκων μικρότερης διαμέτρου συμπληρώνονται από κόκκους ακόμα μικρότερης διαμέτρου, κλπ. {βλ. Κολέτσος Κ. (2004), "Γεωτεχνική Μηχανική", University Studio Press, Θεσσαλονίκη.}

### 3.5 Κατάταξη εδαφών

Με τον ορο κατάταξη εδαφών αναφερόμαστε στην ταξινόμηση των εδαφών σε ομάδες, σύμφωνα με ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά. Η ταξινόμηση των εδαφών είναι απαραίτητη σε ορισμένα μεγάλα τεχνικά έργα, όπως έργα οδοποιίας, θεμελιώσεων .

Επιπλέον είναι απαραίτητη σε όσες περιπτώσεις απαιτείται ολοκληρωμένη εδαφική έρευνα, οπότε και δίνεται ο γενικός χαρακτηρισμός του εδάφους και καθορίζει ποιες δοκιμές θα γίνουν στη συνέχεια.

Οι μέθοδοι ταξινόμησης που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι αυτές που διαχωρίζουν τα εδάφη σε ομάδες, που μπορεί εύκολα να τις θυμάται κανείς, που έχουν παρόμοιες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες και μπορούν να προσδιοριστούν εύκολα με απλές και οικονομικές δοκιμές. Συνήθως οι δοκιμές αυτές είναι η κοκκομετρική ανάλυση και τα όρια atterberg (είναι τα λεπτόκοκκα).

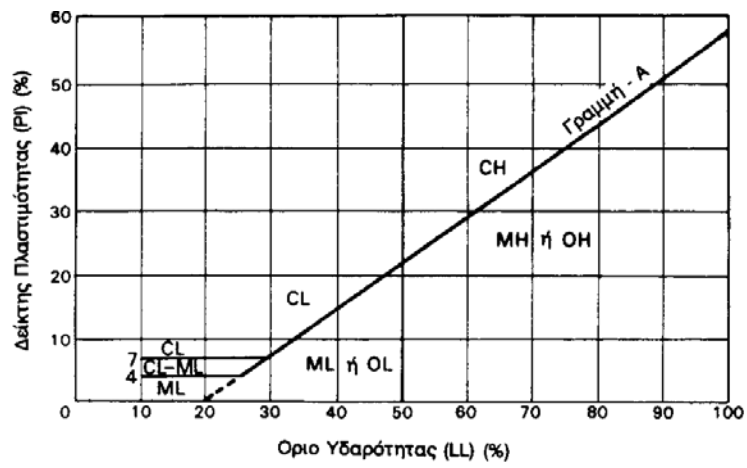
Συνεπώς τα κριτήρια ταξινόμησης είναι:

- 1) τα διερχόμενα ποσοστά από τα αντίστοιχα κόσκινα και
- 2) τα αποτελέσματα των ορίων atterberg, συνήθως το όριο υδαρότητας LL και ο δείκτης πλαστικότητας IP.

Τα δυο περισσότερο συνήθως συστήματα ταξινόμησης είναι :

- A) το σύστημα A.A.S.H.O. που χρησιμεύει στην οδοποιία και
- B) το σύστημα A.S.T.M.

Σχήμα 4. Διάγραμμα Casagrand



ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ		ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ
ΕΔΑ ΦΗ ΧΟΝ ΔΡΟ ΚΟΚ ΚΑ	<b>ΧΑΛΙΚΙΑ</b> (λιγότερο από 50% του χονδρόκοκκου διέρχεται από κόσκινο No . 4)	<b>GW</b>	Χαλίκι καλά διαβαθμισμένο με μίγμα άμμου-χαλικιού. Λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		<b>GP</b>	Χαλίκι κακής διαβάθμισης με μίγμα άμμου-χαλικιού. Λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		<b>GM</b>	Χαλίκια ιλυώδη, μίγμα χαλικιών, άμμου και ιλύος.
		<b>GC</b>	Ιλυώδης άργιλος, μίγμα χαλικιών, άμμου και αργίλου.
	<b>ΑΜΜΟΣ</b> (πάνω από 50% του χονδρόκοκκου διέρχεται από κόσκινο No . 4)	<b>SW</b>	Άμμος καλά διαβαθμισμένη με χαλίκια, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		<b>SP</b>	Άμμος κακής διαβάθμισης με χαλίκια, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		<b>SM</b>	Ιλυώδης Άμμος
		<b>SC</b>	Αργιλώδης Άμμος
ΕΔΑ ΦΗ ΛΕΠ ΤΟΚ ΟΚΚ Α	<b>ΙΛΥΣ ΚΑΙ ΑΡΓΙΛΟΣ</b> Όριο υδαρότητας 50% ή μικρότερο	<b>ML</b>	Ανόργανη ιλύς, λεπτόκοκκη άμμος, ιλυώδης ή αργιλώδης λεπτόκοκκη άμμος.
		<b>CL</b>	Ανόργανη άργιλος μικρής ή μέσης πλαστιμότητας,

		χαλικώδης άργιλος, αμμώδης άργιλος, ιλυώδης άργιλος, ισχνή άργιλος.
	<i>OL</i>	Οργανική ιλύς και οργανική ιλυώδης άργιλος χαμηλής πλαστιμότητας.
<p><b>ΙΛΥΣ ΚΑΙ ΑΡΓΙΛΟΣ</b>  Όριο υδαρότητας μεγαλύτερο του %  50</p>	<b>MH</b>	Ανόργανη ιλύς, μαρμαρυγιακά ή λεπτόκοκκα αμμώδη ή ιλυώδη εδάφη, ελαστική ιλύς.
	<b>CH</b>	Ανόργανη άργιλος μεγάλης πλαστιμότητας, παχιά άργιλος.
	<b>OH</b>	Οργανική άργιλος με μέση ως μεγάλη πλαστιμότητα
<b>ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΕΛΑΦΗ</b>	<b>PT</b>	Χούμος, τύρφη και άλλα έντονα οργανικά εδάφη.

**Πίνακας 3**

		ΣΥΜΒΟ- ΛΙΣΜΟΣ	ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ			ΑΜΜΟΣ - ΧΑΛΙΚΙΑ
			No 200			
<b>LL<math>\geq</math>50</b>	Σημεία επάνω στη ή επάνω από τη γραμμή «Α»	O	< 30%	< 15% συγκρ. No 200		Οργανική άργιλος
				15 – 29% συγκρατ. No 200	% άμμου > %χαλικιών	Οργανική άργιλος με άμμο
				% άμμου < % χαλικιών	Οργανική άργιλος με χαλίκια	
		$\geq 30\%$	% άμμου > % χαλικιών	< 15% χαλίκια	Αμμώδης οργανική άργιλος	
				$\geq 15\%$ χαλίκια	Αμμώδης οργανική άργιλος με χαλίκια	
			% άμμου < % χαλικιών	< 15% άμμος	Χαλικώδης οργανική άργιλος	
				$\geq 15\%$ άμμος	Χαλικώδης οργανική άργιλος με	

					άμμο
Σημεία κάτω από τη γραμμή «Α»	Ο	< 30%	< 15% συγκρ. No 200		Οργανική ιλύς
			15 – 29% συγκρατ. No 200	% άμμου > % χαλικιών	Οργανική ιλύς με άμμο
				% άμμου < % χαλικιών	Οργανική ιλύς με χαλίκια
		≥ 30%	% άμμου > %	< 15% χαλίκια	Αμμώδης οργανική ιλύς
			χαλικιών	≥ 15% χαλίκια	Αμμώδης οργανική ιλύς με χαλίκια
			% άμμου < %	< 15% άμμος	Χαλικώδης οργανική ιλύς
χαλικιών	≥ 15% άμμος		Χαλικώδης οργανική ιλύς με άμμο		



### **Κατάταξη εδάφους κατά A.S.T.M.**

Βρήκαμε ότι το διερχόμενο υλικό από το κόσκινο Νο 200 ισούται με 74,32% ( $P > 50\%$ ), άρα βρισκόμαστε στην κατηγορία Ίλυσ και Άργιλος. Στη συνέχεια επειδή το LL (όριο υδαρότητας) ισούται με 78% μεγαλύτερο δηλαδή του 50% αυτομάτως βρίσκεται σε μια από τις τρεις κατηγορίες (MH, CH, OH). Με βάση όμως το Σχήμα 4. Διάγραμμα Casagrand ,το κοινό σημείο που ενώνει το δείκτη πλαστικότητας (PI)(%) και του ορίου υδαρότητας (LL)(%) είναι κάτω από την γραμμή A. Άρα το υλικό μας είναι MH δηλαδή οργανική ίλυσ ή οργανική ιλυώδης άργιλος χαμηλής πλαστικότητας.

### **3.6 ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗ ΘΛΙΨΗ**

#### **Θεωρητικό Μέρος**

Η δοκιμή αυτή γίνεται μόνο σε συνεκτικά εδάφη, που μπορούν να φέρουν μονοαξονικό φορτίο. Τέτοια εδάφη είναι οι στιφρές άργιλοι κ.α. όπου τα μορφωμένα δείγματα μπορούν να διατηρήσουν το σχήμα τους χωρίς την βοήθεια παράπλευρης πίεσης - εγκιβωτισμού.

Το δείγμα τοποθετείται σε μία πρέσα δοκιμών θλίψης. Η φόρτιση γίνεται με ταχύτητα τάξης μεγέθους 1-5 mm/λεπτό. Λόγω της σχετικής υψηλής παραμορφωσιμότητας των δοκιμίων έναντι των δύσκαμπτων πλακών της συσκευής (από χάλυβα), το πείραμα γίνεται ουσιαστικά με έλεγχο των παραμορφώσεων (strain controlled).



Εδαφικό δοκίμιο σε ανεμπόδιστη θλίψη. (φωτ. Εργαστήριο Δομικής Εδαφομηχανικής)]

Το φορτίο αυξάνει σταδιακά μέχρι την αστοχία όπου λαμβάνει την μέγιστη τιμή  $P_{lim}$ . Έχοντας προμετρήσει την διάμετρο - διατομή του δείγματος, υπολογίζουμε την τάση αστοχίας:

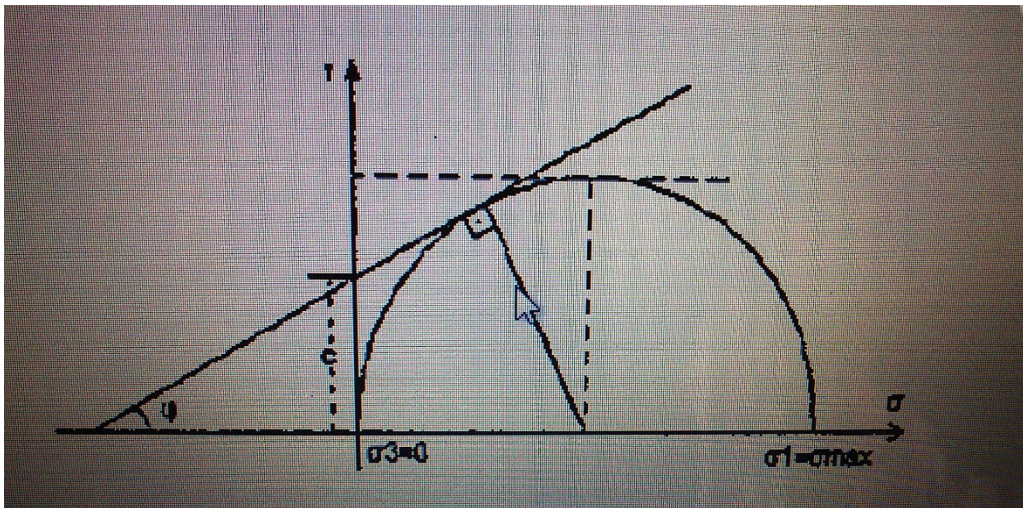
$$\sigma_{\max} = P_{\text{lim}} / A$$

Λόγω της μοναξονικής φόρτισης, η τάση αστοχίας είναι μία κύρια τάση ( $\sigma_1$ ).

Μία πρώτη εκτίμηση της συνοχής του εδάφους είναι:

$$c_1 = \sigma_{\max} / 2$$

Η παραπάνω τιμή δεν συμβαδίζει με την πραγματική τιμή της συνοχής, ειδικά όταν η γωνία τριβής διαφέρει από το 0. Η παραπάνω τιμή διορθώνεται χρησιμοποιώντας την εκτίμηση της γωνίας τριβής που προκύπτει από την μέτρηση της κλίσης του επιπέδου αστοχίας. Το επίπεδο αστοχίας παρουσιάζει γωνία  $45^\circ + \phi/2$  ως προς την διεύθυνση φόρτισης ( $\sigma_1$ ). Έτσι μετρώντας την κλίση, μπορούμε να έχουμε μία πρώτη εκτίμηση για την γωνία τριβής.



Γωνία τριβής, συνοχή σχηματίζουν μία περιβάλλουσα αστοχίας η οποία περιορίζει τον κύκλο Mohr που αντιπροσωπεύει την μονοαξονική αντοχή.

Η ανηγμένη τιμή της συνοχής, έχοντας εκτιμήσει την γωνία τριβής είναι:

$$c = (\sigma_{\max}/2) \times \{(1 - \sin\phi) / \cos\phi\}$$

#### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ:

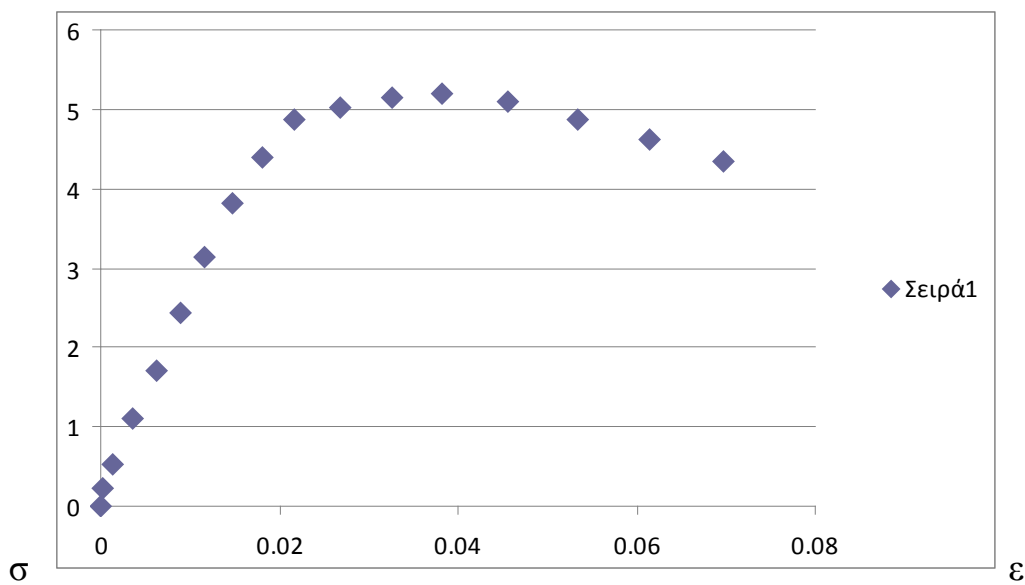
Συσκευή για την εκτέλεση της δοκιμής εφοδιασμένη με:

- Μετρητή παραμορφώσεως που έχει ικανότητα ανάγνωσης 0,01mm
- Δακτύλιο ανάγνωσης των ασκούμενων φορτίων
- Παχύμετρο
- Χρονόμετρο
- Κλίβανο θερμοκρασίας  $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Ζυγαριές με ακρίβεια 0,1gr και 0,01gr
- Δοχεία, εργαλεία κοπής και αναζύμωσης, εξοκλέα

#### Πρακτικό Μέρος

$\alpha/\alpha$	$\Delta H$	$\varepsilon = \Delta H/H$ %	$A' = (A/1 - \varepsilon)$ $\cdot 10^{-4} \text{ m}^2$	RP	$P = RP \cdot 40 \cdot 10^{-2}$ 2KN	$\sigma = P/A'$ $\cdot 10^2 \text{ KN/m}^2$		H=83mm d=40mm
1	0	0	12.57	0	0	0		
2	0.027382	0.00033	12.5741483	0.068681	2.74724	0.218483		
3	0.112952	0.001361	12.5871294	0.166361	6.65444	0.52867		
4	0.301205	0.003629	12.6157824	0.349512	13.98048	1.108174		

5	0.515129	0.006206	12.6485013	0.543346	21.73384	1.718294		
6	0.747878	0.009011	12.6842928	0.772283	30.89132	2.435399		
7	0.965225	0.011629	12.7178992	0.998168	39.92672	3.139412		
8	1.215088	0.01464	12.756754	1.219475	48.779	3.823778		
9	1.497467	0.018042	12.8009518	1.405678	56.22712	4.392417		
10	1.803806	0.021733	12.8492476	1.561355	62.4542	4.860534		
11	2.217963	0.026722	12.9151237	1.623932	64.95728	5.029552		
12	2.707421	0.03262	12.9938534	1.674298	66.97192	5.154123		
13	3.17463	0.038249	13.069905	1.697192	67.88768	5.194198		
14	3.785597	0.04561	13.1707109	1.674298	66.97192	5.084913		
15	4.437637	0.053466	13.2800232	1.620879	64.83516	4.882157		
16	5.101657	0.061466	13.3932246	1.549145	61.9658	4.626653		
17	5.777656	0.06961	13.5104679	1.466728	58.66912	4.342494		



$$q_u = 5.194198 \cdot 10^2 \text{ KN / m}^2$$

$$c = q_u / 2 = 2.597099 \cdot 10^2 \text{ KN / m}^2$$

### 3.7 ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ – ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

#### Θεωρητικό Μέρος

Σε όλα τα προβλήματα ευστάθειας των εδαφών, όπως ο σχεδιασμός των θεμελιώσεων, τοίχων αντιστήριξης και αναχωμάτων, είναι απαραίτητη η γνώση της αντοχής των εδαφών που σχετίζονται με αυτά. Ο προσδιορισμός της αντοχής αποτελείται ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα Εδαφομηχανικής και ιδιαίτερα αν το έδαφος είναι συνεκτικό.

Γενικά, αντοχή σε διάτμηση ονομάζεται η διατμητική τάση, η οποία μπορεί να προκαλέσει ολίσθηση δύο εσωτερικών επιφανειών του εδάφους

$$\tau = \sigma \cdot \epsilon\phi\phi$$

Όπου:  $\phi$ : είναι η γωνία εσωτερικής τριβής του εδάφους

$\tau$ : είναι η διατμητική δύναμη και

$\sigma$ : Ορθή τάση

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι δοκιμή διάτμησης είναι:

1. Η απευθείας (ή άμεση) διάτμηση
2. Η κυλινδρική (ή τριαξονική) θλίψη, και
3. Η διάτμηση από στρέψη

Στη δοκιμή της απευθείας διάτμησης, το έδαφος υπόκειται σε θραύση, με κίνηση, του ενός τμήματος του υποδοχέα του εδάφους, ως προς το άλλο.

Στη δοκιμή της διάτμησης με στρέψη, μια κυλινδρική στήλη εδάφους υπόκειται σε περιστροφική κίνηση η οποία μέσο ενός δίσκου, στην κορυφή ή στον πυθμένα. Στην κυλινδρική ή τριαξονική θλίψη, φορτίζεται αξονικά

ένα κυλινδρικό δοχείο μέχρι τη θραύση του. Το δοκίμιο καλύπτεται με μια ελαστική μεμβράνη και γύρω από αυτό εφαρμόζεται μια ομοιόμορφη πίεση με τη βοήθεια ενός ρευστού. Η δοκιμή που προτιμάται για καλύτερα εργαστηριακά αποτελέσματα, είναι αυτή της απευθείας (ή άμεσης) διάτμησης.

### **Προσδιορισμός Άμεσης Διάτμησης**

Στη δοκιμή αυτή το έδαφος θραύεται κατά μια προδιαγραμμένη επίπεδη επιφάνεια που λέγεται και επιφάνεια διάτμησης.

Μετριέται η μεταβολή της διατμητικής αντοχής του εδάφους με τη μεταβολή της όρθιας τάσης, που εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια διάτμησης. Η δοκιμή εφαρμόζεται σε συνεκτικά και μη συνεκτικά εδάφη.

Υπάρχουν τρεις τύποι δοκιμών:

1. Ταχεία δοκιμή μη στερεοποιημένου δοκιμίου
2. Ταχεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου
3. Βραδεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου

Ο πιο αντιπροσωπευτικός τύπος είναι η βραδεία δοκιμή σε στερεοποιημένα δοκίμια η οποία και συνίσταται, σε αντίθεση με τους άλλους δύο τύπους που πρέπει να αποφεύγονται.

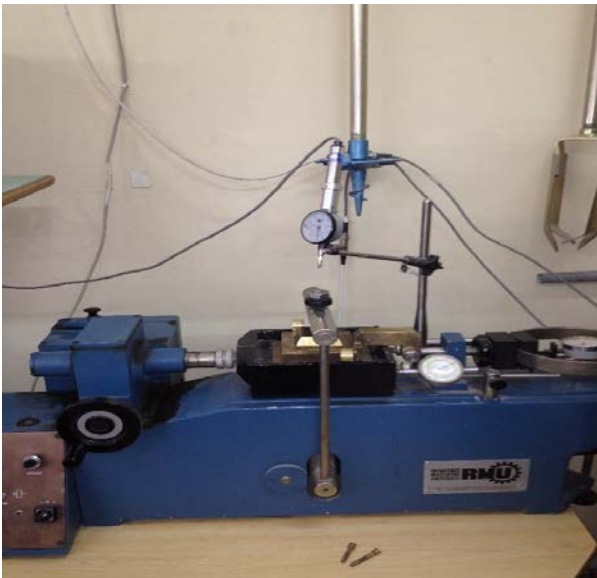
Οι τύποι της δοκιμής (1) και (2) εφαρμόζονται σε γεωτεχνικά προβλήματα, όπου εξετάζεται η θραύση του εδάφους λόγω επιβολής φορτίου σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να

μην είναι δυνατόν να γίνει εκτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων που δημιουργείται λόγω της φόρτισης(στάδιο αμέσως μετά την κατασκευή). Ο τύπος της δοκιμής (3) εφαρμόζεται σε γεωτεχνικά προβλήματα όπου το

έδαφος οδηγείται σε θραύση αργά, ώστε να είναι δυνατή η εκτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων (στάδιο λειτουργίας).

Εργαστηριακός εξοπλισμός :

1. Ράβδος για συμπύκνωση του εδάφους
2. Ζυγός ακριβείας 0,1 gr
3. Παχύμετρο
4. Κανόνας
5. Χρονόμετρο
6. Συσκευή άμεσης διάτμησης



Συσκευή άμεσης διάτμησης

Υπάρχουν διάφορες συσκευές διάτμησης, όπου η διάτμηση του εδαφικού υλικού επιβάλλεται κατά μία ή δύο επιφάνειες τετραγωνικού ή κυλινδρικού δοκιμίου. Στο συνήθη τύπο ο υποδοχέας του δοκιμίου αποτελείται από δύο δακτυλίους. Το δοκίμιο κρατείται μέσα σ' αυτούς και μεταξύ δύο πωρόλιθων, με τέτοιο τρόπο ώστε να αποκλείεται στρέψη του δοκιμίου. Η συσκευή θα πρέπει να επιτρέπει την εφαρμογή της ορθής και διατμητικής



τάσης, κάθετης και παράλληλης προς το επίπεδο διάτμηση, αντίστοιχα. Κατά την δοκιμή είναι δυνατόν να μετριοούνται εκτός από τις εφαρμοζόμενες τάσεις και η μεταβολή του πάχους του δοκιμίου και η διατμητική παραμόρφωση με ειδικά μηκυνσιόμετρα. Το πλαίσιο του δοκιμίου, θα πρέπει να είναι αρκετά άκαμπτο έτσι ώστε να αποφεύγεται στρέβλωση του δοκιμίου. Για τη μέτρηση της μεταβολής του πάχους του δοκιμίου θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μηκυνσιόμετρα βαθμολογημένα σε διαστήματα 0,002mm, και για τη μέτρηση των μετακινήσεων κατά τη διεύθυνση διάτμησης μηκυνσιόμετρα βαθμολογημένα σε διαστήματα 0,02 mm.



Δοκίμιο άμεσης διάτμησης μέσα στο οποίο θα εισέλθει το δείγμα

Διαδικασία δοκιμής:

1. Η συσκευή διάτμησης συναρμολογείται με τα πλαίσια ευθυγραμμισμένα και σταθερά. Γίνεται ελαφρό γρασάρισμα στις επιφάνειες επαφής των πλαισίων ώστε να εξασφαλίζεται υδατοστεγανότητα στη περίπτωση που

γίνεται στερεοποίηση του δοκιμίου πριν από την κυρίως δοκιμή της διάτμησης και επίσης για τη μείωση των τριβών κατά την διάρκεια της διάτμησης.

2. Το δοκίμιο τοποθετείται προσεχτικά, και γίνεται η σύνδεση των μηχανισμών φόρτισης. Προσδιορίζεται το αρχικό πάχος του δοκιμίου.

3. Εφαρμόζεται κατακόρυφο φορτίο (0,5 – 1,0 kg/cm<sup>2</sup>)

4. Τα δύο τμήματα του υποδοχέα αποχωρίζονται ώστε να μην υπάρχει άλλη σύνδεση μεταξύ των τμημάτων του υποδοχέα, εκτός από το έδαφος.

5. Προσαρτώνται τα μηκυσιόμετρα που μετρούν τις οριζόντιες και κατακόρυφες μετατοπίσεις.

6. Αρχίζει η επιβολή της οριζόντιας δύναμης και λαμβάνονται, ανά τακτά χρονικά διαστήματα (συνήθως ανά 3 sec) οι ενδείξεις της διατμητικής, οι ενδείξεις της διατμητικής (οριζόντιας) δύναμης, των οριζοντίων και κατακόρυφων μετατοπίσεων. Συνεχίζεται η επιβολή φορτίου ως ότου ληφθεί οριζόντια μετατόπιση περίπου 15% της

διαμέτρου του δοκιμίου, εκτός αν ληφθεί προηγουμένως σταθερή διατμητική δύναμη.

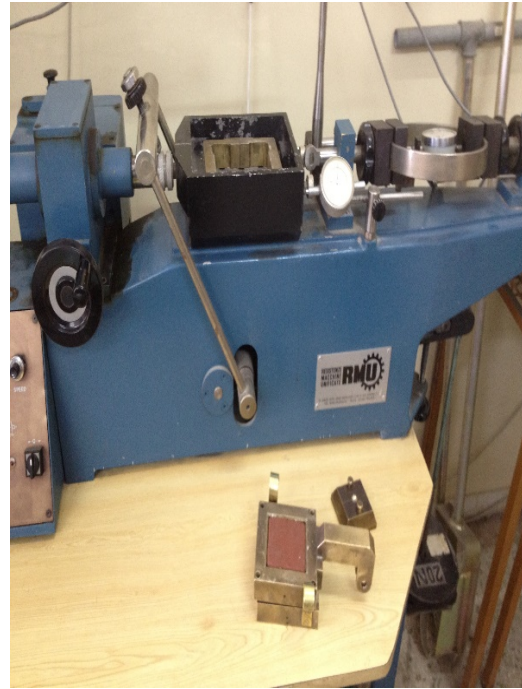
7. Επαναλαμβάνονται τα παραπάνω άλλη μια φορά με διαφορετικά κατακόρυφα φορτία.

8. Μετά το τέλος της δοκιμής, το δοκίμιο αφαιρείται από το δακτύλιο, ξηραίνεται και ζυγίζεται για το προσδιορισμό του ξηρού βάρους.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται ορισμένα στάδια της δοκιμής:



Προετοιμασία του δείγματος



Τοποθέτηση του δοκιμίου - Εγκατάσταση του μηχανισμού  
σύνδεση των μηχανισμών φόρτισης φόρτισης



Ολοκλήρωση της σύνδεσης      Αγκίστρωση του δοκιμίου έτσι  
ώστε το χαμηλότερο κομμάτι να μπορεί να μετακινηθεί

Υπολογισμοί – παρουσίαση αποτελεσμάτων

Υπολογίζονται τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. Αρχική φυσική υγρασία
2. Αρχικό ξηρό και υγρό φαινόμενο βάρος του εδαφικού δείγματος
3. Στοιχεία διατμητικής τάσης και παραμόρφωσης
4. Δείκτης πόρων
5. Βαθμός κορεσμού

Από κάθε δοκιμή που έγινε προκύπτει ένα ζεύγος τιμών ( $\tau, \sigma$ ), οι οποίες και παρουσιάζονται σε ένα αντίστοιχο διάγραμμα. Για κάθε δοκιμή διάτμησης παρουσιάζονται οι καμπύλες με άξονες:

- I. Διατμητική τάση – Διατμητική παραμόρφωση.
- II. Διατμητική τάση – Μεταβολή πάχους του δοκιμίου.

## Πρακτικό Μέρος

### Δοκιμή Διάτμησης 1

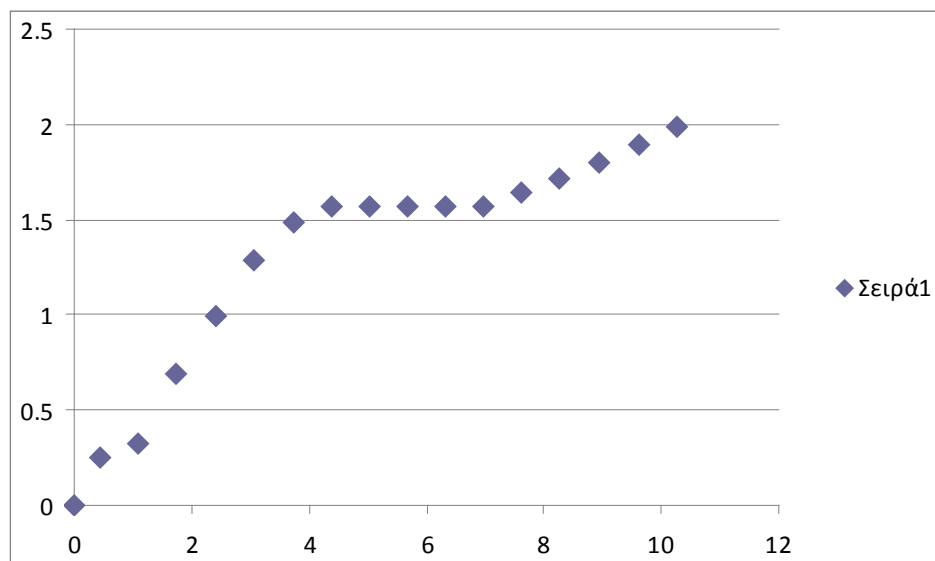
A/A	$\Delta d$ mm	$\varepsilon = \Delta d/d$	$\varepsilon\%$	RT	T	$\tau = T/A$		A=36
1	0	0	0	0	0	0.000000000		
2	0.197079	0.003285	0.328465	0.074805	5.326116	0.147947667		
3	0.574161	0.009569	0.956935	0.273273	19.45704	0.540473267		
4	0.958067	0.015968	1.596778	0.422994	30.11717	0.836588133		
5	1.347093	0.022452	2.245155	0.557047	39.66175	1.101715178		
6	1.737824	0.028964	2.896373	0.666727	47.47096	1.318637844		

7	2.128556	0.035476	3.547593	0.732883	52.18127	1.449479711		
8	2.520994	0.042017	4.201657	0.746811	53.17294	1.4770262		
9	2.903194	0.048387	4.838657	0.725919	51.68543	1.435706467		
10	3.276863	0.054614	5.461438	0.724178	51.56147	1.432263156		
11	3.652239	0.060871	6.087065	0.724178	51.56147	1.432263156		
12	4.031026	0.067184	6.718377	0.724178	51.56147	1.432263156		
13	4.416639	0.073611	7.361065	0.731142	52.05731	1.4460364		
14	4.807371	0.080123	8.012285	0.760738	54.16455	1.504570711		
15	5.199809	0.086663	8.666348	0.783370	55.77594	1.549331778		
16	5.595659	0.093261	9.326098	0.799039	56.89158	1.580321578		
17	5.614428	0.093574	9.35738	0.795557	56.64366	1.573434956		
		$\sigma_1=0.55*$ $10^2\text{KN/m}^2$		$\tau_{\max 1}$	=	$1.580321578*10^2$		

### Δοκιμή Διάτμησης 2

A/A	$\Delta d$ mm	$\epsilon=\Delta d/d$	$\epsilon\%$	RT	T	$\tau=T/A$			A=36
1	0	0	0	0	0	0			
2	0.271294	0.004521567	0.452157	0.125348	8.924778	0.24791			
3	0.658613	0.010976883	1.097688	0.161908	11.52785	0.320218			
4	1.049345	0.017489083	1.748908	0.351671	25.03898	0.695527			
5	1.440076	0.024001267	2.400127	0.504875	35.9471	0.998531			

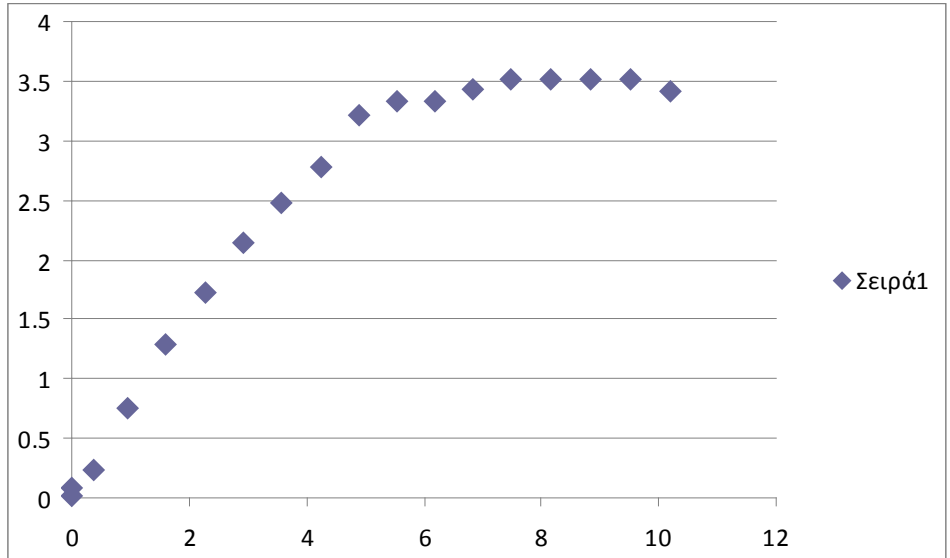
6	1.837633	0.030627217	3.062722	0.649373	46.23536	1.284315			
7	2.233483	0.037224717	3.722472	0.752089	53.54874	1.487465			
8	2.627628	0.0437938	4.37938	0.792131	56.39973	1.566659			
9	3.014947	0.050249117	5.024912	0.793872	56.52369	1.570102			
10	3.40056	0.056676	5.6676	0.793872	56.52369	1.570102			
11	3.787879	0.063131317	6.313132	0.793872	56.52369	1.570102			
12	4.175198	0.069586633	6.958663	0.795613	56.64765	1.573546			
13	4.56593	0.076098833	7.609883	0.828691	59.0028	1.638967			
14	4.96178	0.082696333	8.269633	0.866992	61.72983	1.714718			
15	5.361043	0.089350717	8.935072	0.910515	64.82867	1.800796			
16	5.763718	0.096061967	9.606197	0.957521	68.1755	1.893764			
17	6.161275	0.102687917	10.26879	1.002786	71.39836	1.983288			
		$\sigma_2=1.11 \cdot 10^2 \text{ KN/m}^2$		$\tau_{\max 2}=1.983288 \cdot 10^1 \text{ KN/m}^2$					



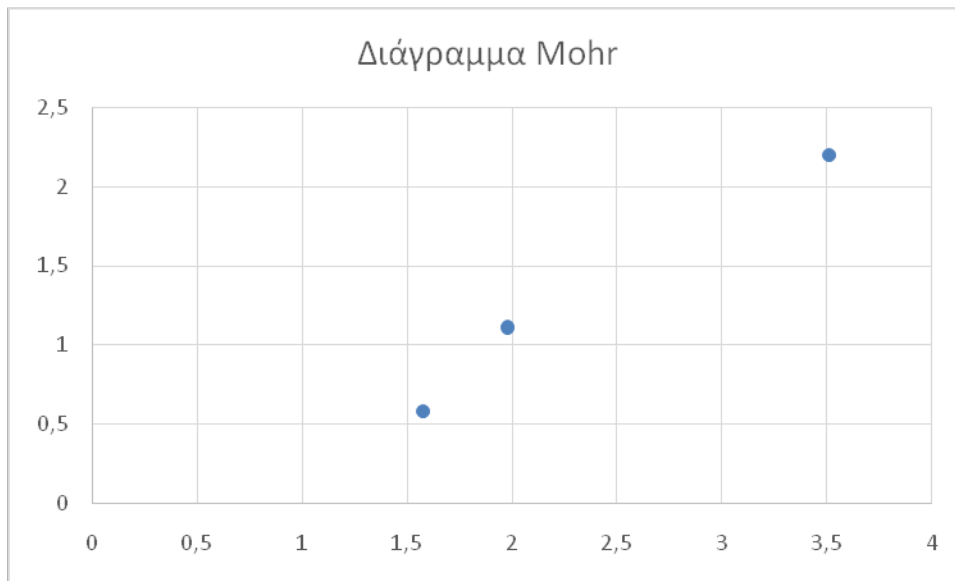
Δοκιμή Διάτμησης 3

A/A	Δd mm	$\varepsilon = \Delta d/d$	$\varepsilon\%$	RT	T	$\tau = T/A$			A=36
1	0	0	0	0.008705	0.619796	0.017217			d=40
2	0.001706	2.84E-05	0.002843	0.043524	3.098909	0.086081			
3	0.220106	0.003668	0.366843	0.114903	8.181094	0.227253			
4	0.580126	0.009669	0.966877	0.384749	27.39413	0.760948			
5	0.965738	0.016096	1.609563	0.654596	46.60724	1.294645			
6	1.356470	0.022608	2.260783	0.875696	62.34956	1.731932			
7	1.752321	0.029205	2.920535	1.081128	76.97631	2.138231			
8	2.151583	0.03586	3.585972	1.255223	89.37188	2.482552			
9	2.547434	0.042457	4.245723	1.408426	100.2799	2.785554			
10	2.933047	0.048884	4.888412	1.624304	115.6504	3.212512			
11	3.325485	0.055425	5.542475	1.685237	119.9889	3.333024			
12	3.711097	0.061852	6.185162	1.685237	119.9889	3.333024			
13	4.100123	0.068335	6.833538	1.733983	123.4596	3.429433			
14	4.492561	0.074876	7.487602	1.775766	126.4345	3.512071			
15	4.895236	0.081587	8.158727	1.777507	126.5585	3.515514			
16	5.301324	0.088355	8.83554	1.775766	126.4345	3.512071			
17	5.710824	0.09518	9.51804	1.775766	126.4345	3.512071			
18	6.120325	0.102005	10.20054	1.730501	123.2117	3.422547			
			$\sigma_3 = 2.2 \cdot 10^2 \text{KN/m}^2$ , $\tau_{\max 3} = 3.515514 \cdot 10^2$						





$T_{max}(kN/m^2)$	$\sigma(kN/m^2)$
$1.580322 \cdot 10^2$	$0.55 \cdot 10^2$
$1.983288 \cdot 10^2$	$1.11 \cdot 10^2$
$3.515514 \cdot 10^2$	$2.2 \cdot 10^2$



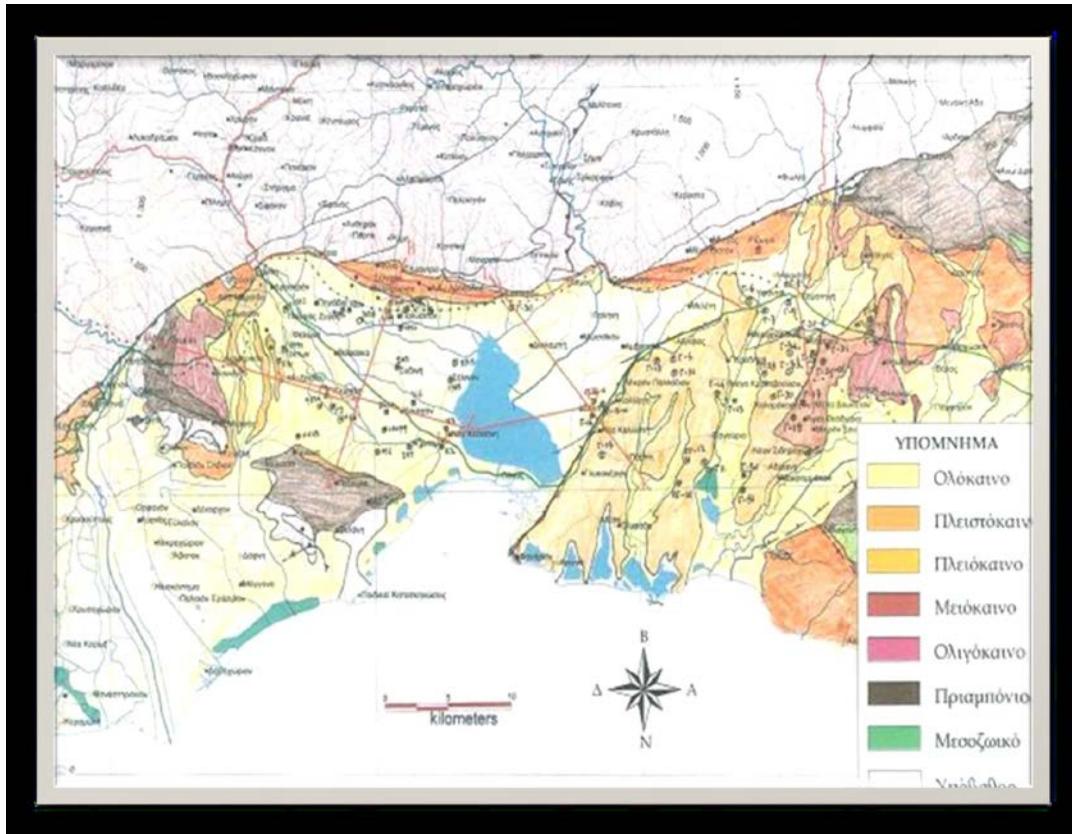
$C=0.4 \text{ kN/m}^2, \varphi=16$

### 3.8 Στοιχεία της περιοχής του δείγματος

#### Γεωλογικά στοιχεία της περιοχής-μελέτης

Ο χώρος έρευνας είναι μια ευρεία ιζηματογενή λεκάνη η οποία δομείται γεωλογικά από το μεταμορφωμένα πετρώματα του κρυσταλλικού υποβάθρου της Ροδόπης. Εντός της λεκάνης έχουν αποθεθεί με ιζηματολογική ασυμφωνία ιζήματα του Τριτογενούς και του Τεταρτογενούς

στη λιθολογία και τη γεωμετρία των οποίων δίδεται έμφαση εδώ, καθώς εντός αυτών αναπτύσσονται οι υπό μελέτη υδροφορίες. { βλ. Μαρίνος & Διαμαντής, 1985} Ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 1. {βλ.ΕΙΚΟΝΑ 1}



Το βόρειο όριο της ιζηματογενούς λεκάνης επί της οποίας αναπτύσσεται η πεδιάδα Ξάνθης - Κομοτηνής οριοθετείται από την εμφάνιση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της γεωτεκτονικής ζώνης της Ροδόπης όπως γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, αμφιβολίτες, μάρμαρα, σχηματισμοί που διασχίζονται από γρανιτικές διεισδύσεις ή καλύπτονται τοπικά από ηφαιστειακά πετρώματα. Η εμφάνιση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων ταυτίζεται με τα κρᾶσπεδα της ορεινής μάζας της Ροδόπης, οπότε και το έντονο επικλινές ανάγλυφο. Τα ίδια πετρώματα απαρτίζουν και το βραχώδες γεωλογικό υπόβαθρο της λεκάνης το οποίο βρίσκεται σε πολύ μεγάλο βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Ερευνητική γεώτρηση στη Σάλπη ανατολικότερα της λίμνης Βιστωνίδας σε απόσταση 8 Km από το βόρειο όριο της λεκάνης συνάντησε το βραχώδες, ελαφρά μεταμορφωμένο υπόβαθρο σε βάθος 1.703 m { βλ. Μαρίνος & Διαμαντής, 1985}. Το δυτικό όριο οριοθετείται από την εμφάνιση του βραχώδους υποβάθρου μέσα από τα ιζήματα του κάμπου στην περιοχή Μυρωδάτου - παραλίας Αβδήρων με γνευσίους, σχιστόλιθους, και πηγματίτες διαμορφώνοντας τις λοφοσειρές που διαχωρίζουν την υπό μελέτη ιζηματογενή λεκάνη από το Δέλτα του Νέστου. Το ανατολικό όριο της υπό μελέτη ιζηματογενούς λεκάνης οριοθετείται από τον υδροκρίτη που διαχωρίζει τη λεκάνη επιφανειακής αποστράγγισης του ποταμού Βοσβόζη από αυτή του ποταμού Φιλιουρή. Στο μεγαλύτερο μέρος του ορίου επικρατούν οι σχηματισμοί του Πλειοκαίνου. { βλ. Μαρίνος & Διαμαντής, 1985 }

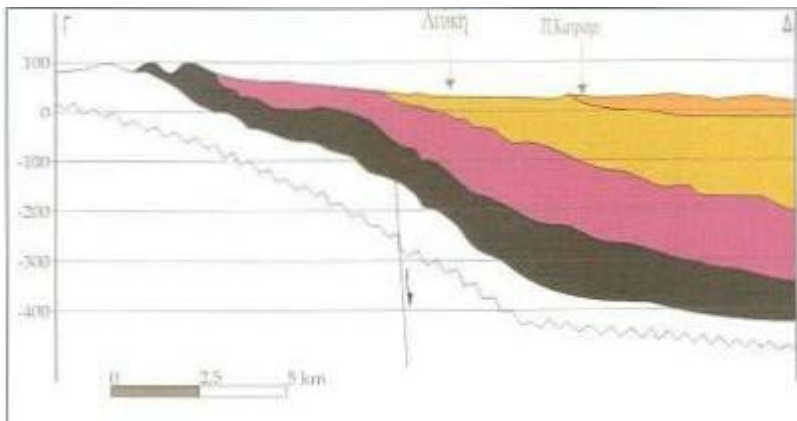
### **Γεωμετρία της ιζηματογενούς λεκάνης**

Το βύθισμα δημιουργήθηκε κατά το Τριτογενές με τον κατακερματισμό του κρυσταλλικού υποβάθρου της Ροδόπης. Παρόλα αυτά το σύνολο των

ιζημάτων της λεκάνης έχει προσβληθεί από ένα σύστημα ρηγμάτων - μεταπτώσεων που έχουν συμβάλει στην εξέλιξη του βυθίσματος και που έχουν κύριες διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ και τοπικά ΒΔ-ΝΑ. Τα ρήγματα αυτά επηρεάζουν τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής σε ότι αφορά στην εμφάνιση ανομοιογενούς υδροφορίας σε βάθος καθώς μεταβάλλουν τη γεωμετρία των επί μέρους οριζόντων. Τα τριτογενή ιζήματα (Ηώκαινο-Πλειόκαινο) εμφανίζουν μια ελαφρά πτύχωση με άξονες διευθύνσεων περίπου ΒΑ-ΝΔ (Αναστασιάδης, 2007).

Για την εξαγωγή της γεωμετρίας της ιζηματογενούς λεκάνης χρησιμοποιήθηκαν σχηματικές γεωλογικές τομές του γεωλόγου του Ι.Γ.Μ.Ε. Γιάννη Αναστασιάδη.

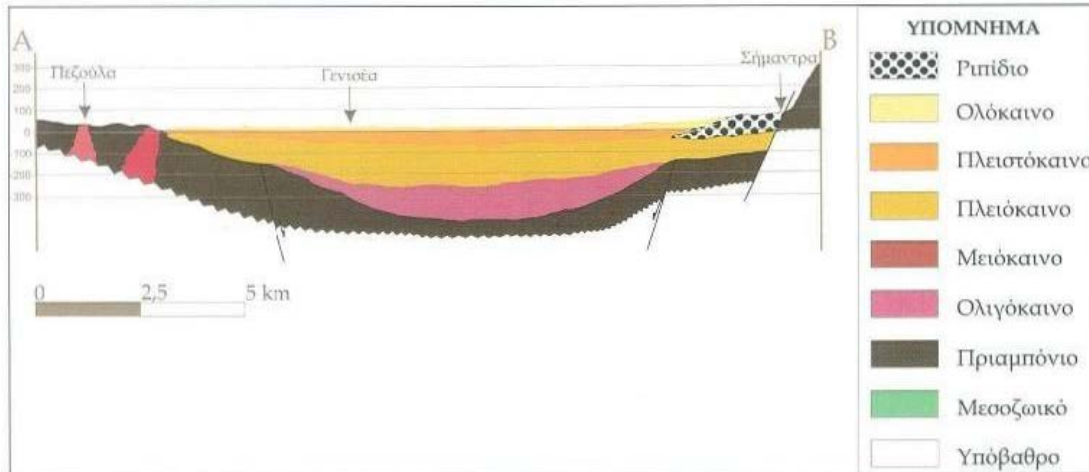
Αρχικά φαίνεται η γεωλογική τομή Γ-Δ με Πλειστοκαινικές και Ολοκαινικές αποθέσεις.(ΕΙΚΟΝΑ 2)



Εικόνα 2:Γεωλογική τομή Γ-Δ με Πλειστοκαινικές και Ολοκαινικές αποθέσεις στο δυτικό τμήμα της λεκάνης.

Όπως φαίνεται στη γεωλογική τομή Γ -Δ στην παραπάνω Εικόνα, οι Πλειστοκαινικές και Ολοκαινικές αποθέσεις στο δυτικό τμήμα της λεκάνης κυμαίνονται σε πάχος από λίγο μέτρο έως τα 230 m (το δάπεδο τους φθάνει το απόλυτο υψόμετρο των -200 m) στην περιοχή της Γενισέας. Το

Πλειόκαινο έχει μέσο πάχος περί τα 150 m ενώ το Ολόκαινο περί τα 20 m. Το πάχος του ριπιδίου σε επαφή με το Ολόκαινο φθάνει τα 70 m στη γεωλογική τομή A-B στην παρακάτω εικόνα, ενώ με το Πλειστόκαινο τα 40 m. (βλ. Αναστασιάδης, 2007)(βλ.ΕΙΚΟΝΑ 3)



Εικόνα 3:Τομή A-B που μας δείχνει το πάχος του ριπιδίου σε επαφή με το Ολόκαινο και το Πλειστόκαινο.

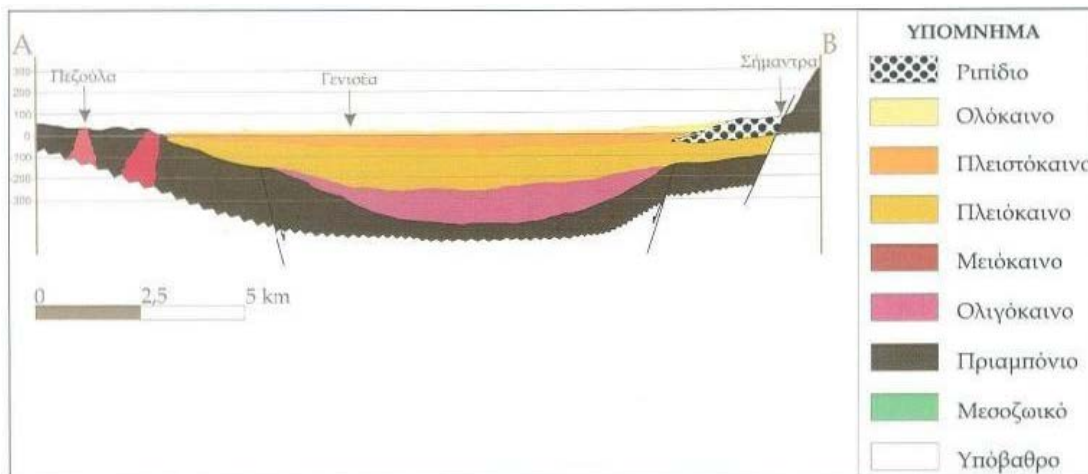
### Τα ιζήματα του τριτογενούς

#### ΗΩΚΑΙΝΟ – ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟ

Η ιζηματογένεση της Τριτογενούς λεκάνης ξεκινά κατά το Λουτήσιο (Ηώκαινο) ταυτόχρονα στο μεγαλύτερο μέρος της Θρακικής λεκάνης (Παπαδόπουλος ,2005). Οι πρώτες αποθέσεις είναι χερσαίοι σχηματισμοί μιας βασικής κλαστικής σειράς με κροκαλοπαγή, λατυποκροκαλοπαγή και ψαμμίτες που προς τα πάνω μεταπίπτει βαθμιαία σε θαλάσσιους μολασσικούς σχηματισμούς μιας αργιλοψαμμιτικής σειράς με λεπτόκοκκους σκοτεινόχρωμους ψαμμίτες σε εναλλαγές με γκριζάφαιες έως μπλε ψαμμιτικές μάργες, λεπτοστρωματώδεις μάργες καθώς και παρεμβολές κροκαλοπαγών.

Μετά το καθεστώς της ανοιχτής θάλασσας, ο ιζηματογενής κύκλος του Λουτησίου κλείνει με την ανάπτυξη δελταϊκών και τελικά ποταμιοτελματικών φάσεων. Το συνολικό πάχος της σειράς ξεπερνά τα 1.200 m. Το Ηώκαινο στην περιοχή μελέτης εμφανίζεται κατά μήκος των κρασπέδων της πεδιάδας Ξάνθης-Κομοτηνής (επιλεγμένες περιοχές εμφάνισης: κοινότητα Πεζούλας, εκτεταμένη εμφάνιση στο βόρειο της νοητής ευθείας μεταξύ των κοινοτήτων Λευκόπετρα-Αμαξιάδων ως και την ευρύτερη περιοχή κοινότητας Πολύαρνου, βορείως της Γρατινής στο ΒΑ όριο της περιοχής μελέτης και αλλού). Με το τέλος τον Λουτησίου ο χώρος της Θράκης φαίνεται να αναδιοργανώνεται στο πλαίσιο μιας ρηξιγενούς τεκτονικής η οποία προκαλεί μέσω στροφών και βύθισης τμημάτων των Λουτησίων πρωτολεκανών μια σταδιακή διεύρυνση του χώρου ιζηματογένεσης και τη δημιουργία δευτερογενών λεκανών του Πριαμπονίου. Το Πριαμπόνιο που ακολούθησε επικάθισε επικλυσίγενώς με μικρού πάχους κροκαλοπαγές στους σχηματισμούς του Μέσω Ηωκαίνου (Λουτησίου), της Περιοδοπικής Ζώνης και της Ροδοπικής μάζας. Αποτελεί μια θαλασσοκρατική περίοδο τον Τριτογενούς κατά την οποία η Θάλασσα κατέκλυσε τους νέους χώρους ιζηματογένεσης, ο οποίος δημιουργήθηκε κατά την εφελκυστική τεκτονική φάση προς το τέλος τον Λουτησίου. Αποτέλεσμα της διεύρυνσης του Θαλάσσιου χώρου ήταν η απόθεση βιογενών ιζημάτων αβαθούς θάλασσας όπως οι υφαλογενείς Νουμμουλιτικοί ασβεστόλιθοι. Οι Νουμμουλιτικοί ασβεστόλιθοι αποτελούν στρωματογραφικά τον πλέον αξιόπιστο καθοδηγητικό ορίζοντα της θρακικής λεκάνης. Η παρουσία τους παρατηρείται σε μικρές ή εκτεταμένες εμφανίσεις σε ολόκληρο το θρακικό χώρο. Οι υφαλογενείς έως βιοστρωματικοί λευκόχρωμοι Νουμμουλιτικοί ασβεστόλιθοι δημιουργούν στην ύπαιθρο αντίθεση με τα κατ' εξοχήν κλαστικά Τριτογενή ιζήματα.

Λόγω του χαμηλού βαθμού διάβρωσής τους καταλαμβάνουν συχνά το υψηλότερο σημείο των μορφολογικών εξάρσεων στους χώρους όπου εμφανίζονται. Το πάχος των κυμαίνεται μεταξύ 0-80 m και υπέρκεινται με φανερή στρωματογραφική ασυμφωνία τον Λουτησίου ή του κρυσταλλικού υποβάθρου με ένα περισσότερο ή λιγότερο ανεπτυγμένο βασικό αδροκλαστικό ίζημα επίκλησης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη συγκεκριμένη μελέτη παρουσιάζει η εμφάνιση του Ηωκαίνου βόρεια της νοητής ευθείας μεταξύ των κοινοτήτων Λευκόπετρα Αμαξιάδων, καθώς εκεί συνιστά το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης απορροής των ρεμάτων: Μακρύρεμμα, Καρυδέα, Ρέμα καθώς και των μικρότερων ρεμάτων που εκβάλουν στην πεδιάδα στο χώρο μεταξύ Σουνίου-Ιάσμου καθώς και η συνέχεια της στην περιοχή Πολυάρνου που συνιστά τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Κομψάτου (Ξηροποτάμου). Η εμφάνιση αυτή σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. συνίσταται από το σχηματισμό φλύσχη του Ιάσμου και Αισύμης, ενώ σύμφωνα με το Βεργή (1986) απαρτίζεται από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, μάργες, ψαμμίτες, αρκόζες, κροκαλοπαγή και λατυποπαγή του Αν. Ηωκαίνου-Κατ. Ολιγοκαίνου. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα οι σχηματισμοί του Ηωκαίνου έρχονται σε επαφή με το ριπίδιο σε ένα πάχος 80 m. (βλ.ΕΙΚΟΝΑ 4)





Εικόνα 4: Γεωλογική τομή A-B με την επαφή σχηματισμών Ηωκαίνου – ριπιδίου.

Το Παλαιογενές (Ολιγόκαινο) στην περιοχή της Κομοτηνής, στη βάση του εμφανίζει λατύπες και κροκάλες διαφόρων διαστάσεων με πάχος 50-70 m (εκτίμηση από εργασίες ΔΕΠ - Μαρίνος et al.). Πάνω του επικάθεται ένας ασυνεχής υφαλογενής ασβεστόλιθος, πάχους 0-100 m, και ακολουθεί η κύρια σειρά των παλαιογενών ιζημάτων η οποία εμφανίζει μεταβολές στη σύσταση και στις εναλλαγές της ανάλογα με τη θέση μέσα στη λεκάνη Ξάνθης-Κομοτηνής. Στην περιοχή ανατολικά της Κομοτηνής παρουσιάζονται εναλλαγές ψαμμιτών, ιλυολίθων, αργιλομαργαϊκών και ασβεστιτικών σχιστόλιθων και κροκαλοπαγών.

Γενικά υπερτερούν οι ψαμμίτες οι οποίοι παρουσιάζονται λεπτόκοκκοι στα ανώτερα στρώματα, καλά διαβαθμισμένο με χαμηλό γενικά πορώδες. Οι ιλυόλιθοι και αργιλικοί σχιστόλιθοι είναι αρκετά συμπαγείς και η παρουσία τους γίνεται εντονότερη στα ανώτερα τμήματα της σειράς. Το πάχος της είναι μεγάλο και τοπικά μπορεί να φθάνει και τα 2.000 m.

## ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

Οι σχηματισμοί του Πλειοκαίνου περιγράφονται από το Ρωμαΐδη (2004) ως αδιαίρετοι με αυτούς του Πλειστοκαίνου ως συνάγματα με άτυπες στρώσεις από χάλικες και άμμους μικρού πάχους (περί το 15 m), χερσαίας (ποταμοχειμάρριος) ή και λιμναίας προέλευσης, με τα λεπτομερέστερα υλικά να καταλαμβάνουν τους ανώτερους ορίζοντες. Προς τα ανατολικό της πεδιάδας ο σχηματισμός διευρύνεται, προσλαμβάνει λιμναίο χαρακτήρα περικλείοντας μαργαϊκές διαστρώσεις και φθάνει σε πάχος το 300 m (γεώτρηση ΔΕΠ στη Σάλπη). Σύμφωνα με το Βεργή (1986) το Πλειοπλειστόκαινο (επίσης αδιαίρετο) αποτελείται κυρίως από άμμους ΚΟΙ

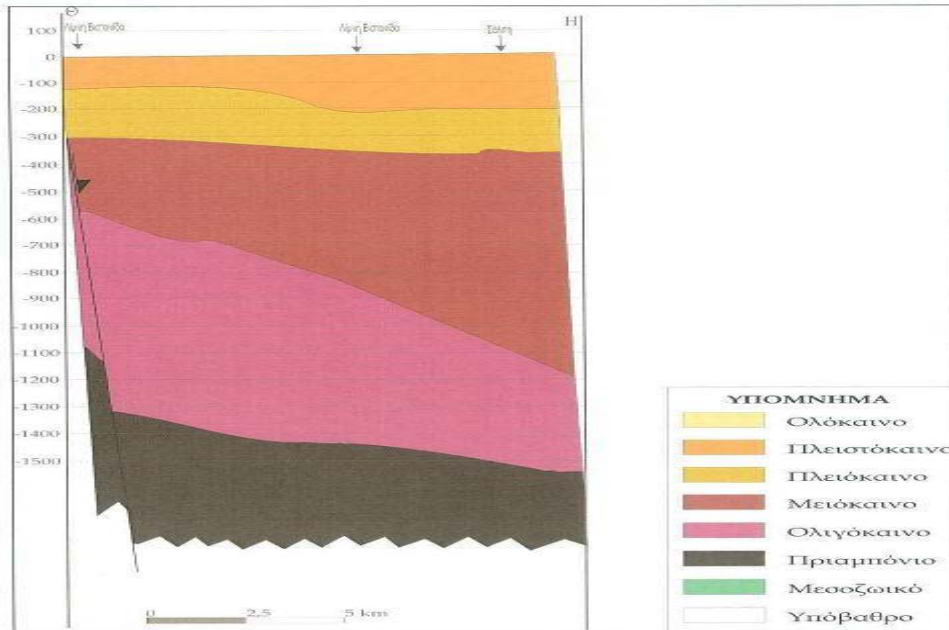
χαλίκια σε εναλλαγή με αργίλους καθώς και από ψαμμίτες και χαλαρά κροκαλοπαγή. Πρόκειται για ηπειρωτικά ιζήματα χερσαίας, παράκτιας, μερικές φορές και υφάλμυρης ιζηματογένεσης. Γενικά όπου εμφανίζεται το Πλειόκαινο έχει κλίση προς το κέντρο της λεκάνης. Στο δυτικό μέρος της λεκάνης εμφανίζεται επιφανειακό σε στενές επιμήκεις λωρίδες, ενώ στο ανατολικό μέρος στη γεώτρηση κ-ι της Σάλπης παρουσιάζεται με πάχος 368 m (αδιαίρετα με τα Πλειστόκαινο). Η εμφάνιση του Πλειοκαίνου ανατολικά της Σάλπης διακόπτεται από συνιζηματογενές του Πλειόκαινου ρήγμα, το οποίο έχει κατεβάσει το Πλειόκαινο κατά το Νεογενές στην περιοχή Κομοτηνής απαρτίζεται από χάλικες και άμμους, σε στρώματα ή φακούς, οι οποίοι εναλλάσσονται με στρώματα αργίλων και ψαμμιτών. Οι αποθέσεις αυτές είναι προϊόντα λιμναίας και ποτάμιας ιζηματογένεσης. Μικρές ασβεστολιθικές ενστρώσεις εμφανίζονται πολύ νοτιότερο της περιοχής Κομοτηνής. Από κοκκομετρική άποψη οι αποθέσεις είναι πλουσιότερες σε κροκάλες και αδρομερή υλικά στο βόρειο τμήμα της πεδινής έκτασης και σταδιακά προς το νότο γίνονται λεπτόκοκκες. Τα ιζήματα δεν αναπτύσσονται σε σαφείς ορίζοντες αλλά εμφανίζουν πρωτογενή ανομοιομορφία με μεταβάσεις και αποσφηνώσεις. Επιπλέον παράγοντας ανομοιομορφίας εισάγεται από τα ρήγματα μεταπτώσεων που έχουν προσβάλλει το σύνολο των ιζημάτων. Από τη γεώτρηση της Σάλπης (ΔΕΠ) προκύπτει ότι στα ανώτερα 300 m επικρατούν άμμοι και χάλικες μικρής διαμέτρου και χαλαροί ψαμμίτες ή μικροκροκαλοπαγή με αλληπάλληλες ενστρώσεις αργιλικές, ιλυοαργιλικές και αργιλοψαμμιτικές. Στη συνέχεια αναπτύσσονται συνεχείς εναλλαγές αργιλικών (συντά ψαμμιτικών) και ψαμμιτών. Οι γεωτρήσεις που έχουν ανορυχθεί σε βάθη ως τα 120 m περίπου επιβεβαιώνουν ης παραπάνω εναλλαγές άμμου και χαλίκων με αργίλους, σε πάχη που κυμαίνονται από 2-10 m και με μέγιστα πάνω από

50 m για τις αργιλικές ενστρώσεις. Στις σχηματικές γεωλογικές τομές που παρουσιάζονται στις εικόνες που παρεμβάλλονται το Πλειόκαινο έχει μέσο πάχος περί τα 150 m, ενώ στα κεντρικά τμήματα της ιζηματογενούς λεκάνης φθάνει και τα 200 m. Η βάση του Πλειοκαίνου στις κεντρικές περιοχές της λεκάνης βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο 350m. {βλ.Αναστασιάδης, 2007}

## **ΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΟΥΣ**

Πρόκειται για τις νεότερες αποθέσεις των ρευμάτων, χειμάρρων και ποταμών, οι οποίες καλύπτουν τις τριτογενείς αποθέσεις στα πεδινά τμήματα της περιοχής στις ζώνες της ευρύτερης κοίτης. Στις περιοχές μακρύτερα από τους κύριους άξονες επιφανειακής απορροής και στα κατάντη τμήματα των αξόνων αυτών, η σύσταση των προσχώσεων είναι γενικά λεπτομερής, αμμώδης μέχρι ιλυοαργιλώδης με μικρό πάχος πάνω από τους υποκείμενους τριτογενείς σχηματισμούς. Στις εκβολές των χειμάρρων και ποταμών στην πεδιάδα, στη βάση των κρασπέδων της ορεινής μάζας της Ροδόπης, δημιουργούνται συνεχείς παράλληλοι κώνοι ριπιδίων που ενώνονται με αλληλοεπικάλυψη (δημιουργώντας μια συνεχή ζώνη), από αδρομερή υλικά που εκτείνονται στον κάμπο ανάλογα με το μέγεθος του κάθε χειμάρρου. Το πάχος των προσχώσεων είναι μικρό, της τάξεως των μερικών μέτρων παρόλα αυτό στις ζώνες γύρω από το Βοσβόζη, στον κάτω ρου του Τρελλοχειμάρρου και του Κομψάτου φθάνει τα μερικές δεκάδες μέτρα (Μαρίνος & Διαμαντής, 1985. ). Γενικά οι τεταρτογενείς αποθέσεις αποτελούνται από όλο το κοκκομετρικό φάσμα ταξινομημένο σε μη κανονικές επαλληλίες στρώσεων χωρίς πλευρική αλλά και κατά βάθος συνέχεια, δηλαδή είναι ανομοιογενείς και ανισότροπες. Το ίδιο ισχύει και στις βαθιές αποθέσεις του Πλειστοκαίνου, όπου το υλικό στα ανώτερα κυρίως στρώματα του έχει υδρογεωλογική συμπεριφορά και υδραυλική

συνέχεια με τους Ολοκαινικούς σχηματισμούς. Το μέγιστο βάθος της βάσης των Τεταρτογενών σχηματισμών για το μεγαλύτερο μέρος της ιζηματογενούς λεκάνης τοποθετείται στα -150 m (ο.υ.), ενώ κάτω από τη λίμνη Βιστωνίδα φθάνει στο -200 .(βλ.ΕΙΚΟΝΑ 5)



Εικόνα 5: Γεωλογική τομή Ολοκαινικών σχηματισμών.

Ο Διαμαντής (1985) διακρίνει τις τεταρτογενείς αποθέσεις σε παλαιότεταρτογενείς (Πλειστόκαινο) και νεότερες. Το χαρακτηριστικό τους παρουσιάζονται αναλυτικότερα παρακάτω.

#### Α} Πλειστόκαινο.

Οι αποθέσεις του Πλειστοκαίνου επιφανειακά καταλαμβάνουν μικρή έκταση κυρίως σε μια ζώνη εύρους περί τα 2 km κατά μήκος των κρασπέδων της ορεινής ζώνης ως πλευρικά κορήματα και υλικά αποθέσεως μικροχειμάρρων που εκβάλλουν ακριβώς στα κράσπεδα και αλληλοσυμπλέκονται. Ο σχηματισμός εμφανίζεται κατά μήκος του συνόλου των βορείων κρασπέδων της λεκάνης εκτός από τα σημεία εξόδου στον

κάμπο των ποταμών και των χειμάρρων, όπου καλύπτεται από τις σύγχρονες ποτάμιες αποθέσεις. Επίσης εμφανίζεται στο ΝΔ άκρο της λεκάνης στο άνοιγμα Κυψέλης Μέλισσας περιμετρικά των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του υποβάθρου σε ζώνη πλάτους μέχρι 200 m. Από λιθολογική άποψη ο σχηματισμός αποτελείται από αδρομερή υλικά διαφόρων μεγεθών δηλαδή, λατύπες, κροκάλες, χαλίκια σύστασης κυρίως γνευσιακής, αμφιβολιτικής, μαρμάρου κ.λπ. και από λεπτόκοκκα κυρίως αργιλοϊλυούχα ή και αμμώδη υλικά. Στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης της Βιστωνίδας ο σχηματισμός δε διακρίνεται σε σαφείς κοκκομετρικά διαβαθμισμένους ορίζοντες και δεν εκτείνεται προς τα πεδινά. Κατά τόπους είναι δυνατό να εμφανίζει διαγένεση ευνοούμενη από την παρουσία αργιλοϊλυώδους υλικού ανάμεσα στα αδρομερή στοιχεία. Το τέλος της εμφάνισης των παλαιοτεταρτογενών των κρασπέδων συμπίπτει με την εμφάνιση σύγχρονων αλλουβιακών αποθέσεων (κροκάλες, άμμοι, αργιλοϊλύες) για 2,14 km περίπου από την αρχή εμφάνισης των αλλουβιακών και προς το νότο, μέσου πάχους 9,4 m. Μετά τα 2,14 km το πάχος σταδιακά (μέσα σε 1 km) μεταπίπτει σε 54 m περίπου. Στα δυτικά άρια της περιοχής μελέτης ο σχηματισμός εντοπίζεται μόνο στις λοφοσειρές στα δυτικά της περιοχής μελέτης (Λεύκη, Μαγικό Διομήδεια όπου διαφέρει όμως από τους παλαιοτεταρτογενείς σχηματισμούς των κρασπέδων.

Απλώς πρόκειται για παλαιοτεταρτογενείς του κάμπου που απέφυγαν τη σύγχρονη διάβρωση και κάλυψη από τις νεότερες προσχώσεις του Κόσυνθου. Το πάχος του πρέπει να είναι μικρό και βρίσκονται πάνω από πιο συνεκτικούς Πλειοκαινικούς σχηματισμούς. Οι συγκεκριμένοι σχηματισμοί (με την επιφανειακή εμφάνιση) παρουσιάζονται υδρογεωλογικά εξασθενημένοι. Ο γενικός προσανατολισμός Β-Ν των παραπάνω

εμφανίσεων σε συνδυασμό με την εξάπλωση της ζώνης πλευρικών κορημάτων σε αυτή τη μεριά του κάμπου (δυτική) σε συνδυασμό με τον παρόμοιο προσανατολισμό του σύγχρονου υδρογραφικού δικτύου υποδεικνύει μια διάφορη του υπολοίπου κάμπου νεοτεκτονική εξέλιξη. Εκτός των ζωνών επιφανειακής εμφάνισης ο σχηματισμός απαντάται κάτω από τις νεότερες αποθέσεις του κόμπου. Οφείλει την προέλευση του στα υλικό απόθεσης των κυρίων ποταμών Κόσυνθος και Κομψάτος και των χειμάρρων του Προφήτη Ηλία και Ασπροποτάμου. Από λιθολογική άποψη αποτελείται από αδρομερή υλικό καλά στρογγυλεμένα, δηλαδή κροκάλες, χάλικες καθώς και από λεπτόκοκκα όπως άργιλοι, ιλύς και άμμοι. Διακρίνεται σε σαφείς κοκκομετρικά διαβαθμισμένους ορίζοντες με μέγεθος κόκκων ανάλογα με την κάθε φορά λειτουργίας του χειμάρρου, ανεξάρτητα από τη γενική κατανομή κατά την οποία ανάντη της περιοχής επικρατούν τα χονδρόκοκκα και κατάντη τα λεπτόκοκκα. Οι ορίζοντες αυτοί στο σύνολο τους αλληλοσυμπλέκονται προς όλες τις κατευθύνσεις και δημιουργούν ένα ετερογενές σύνολο. Γενικά τα αδρομερή μέρη του σχηματισμού των Πλειστοκαίνου του πεδινού τμήματος βρίσκονται κατά μήκος και κοντά σε παλαιοάξονες υδρογραφικού δικτύου. Εκεί οι φακοί των αδρομερών κλασμάτων απαντώνται συχνότερα εντός της μάζας των λεπτομερών σε σχέση με τα τμήματα της λεκάνης που βρίσκονται μακρύτερα από τους ποταμούς.

#### Β}Ενότητα ζωνωδών αλλουβιακών αποθέσεων ευρύτερης κοίτης χειμάρρων.

Διακρίνονται στις αποθέσεις της ευρύτερης κοίτης των αξόνων αποστράγγισης και σε αυτές μακριά από τους άξονες. Στην ευρύτερη ζώνη των αξόνων αποστράγγισης το αδρομερές υλικό στα ανάντη σταδιακά

μεταπίπτει σε λεπτομερέστερο έως ιλυοαργιλώδες στα κατάντη. Στους άξονες των ποταμών Κόσυνθος και Κομψάτος διακρίνεται μια ζωνώδης επιφανειακή κοκκομετρική διαβάθμιση. Το πάχος των προσχώσεων ποικίλει μεταξύ μερικών m ως μερικές δεκάδες m. Αμέσως μετά την έξοδο των παραπάνω ποταμών από την ορεινή ζώνη παρατηρείται σημαντικό πάχος αδρομερών που συνεχώς μειώνεται προς τα κατάντη με τις συχνές παρεμβολές πιο λεπτόκοκκων υλικών. Διακρίνεται μεγαλύτερο πάχος των υλικών αυτών στη ζώνη του Κομψάτου από εκείνη του Κόσυνθου λόγω της διαφοράς μεγέθους των ποταμών. Το πάχος των αποθέσεων δεν είναι εύκολο να εκτιμηθεί γιατί τα υποκείμενα πλειο - πλειστοκαινικά έχουν παρόμοια σύσταση (ως παλαιότεροι ποταμό-χειμάρροι σχηματισμοί). Οι προσχώσεις μακριά από τους άξονες επιφανειακής αποστράγγισης είναι περισσότερο λεπτομερείς, με μικρότερο ποσοστό παρεμβολής χονδρόκοκκων υλικών. Στην περιοχή μεταξύ της ζώνης του Κόσυνθου και της λίμνης Βιστωνίδας το ποσοστό χονδρόκοκκων είναι μικρότερο σε σύγκριση μ' εκείνο της ζώνης του Κόσυνθου. Μεταξύ της ζώνης του Κόσυνθου και των δυτικών κρασπέδων (παλαιογενή ιζήματα: Ηωκαίνου - Ολιγόκαινου) παρουσιάζεται κυρίως σε βάθος μεγάλο ποσοστό χονδρόκοκκων υλικών κατά ζώνες. Στην περιοχή μεταξύ της ζώνης Κομψάτου και λίμνης το ποσοστό χονδρόκοκκων είναι μεγαλύτερο σε σύγκριση με την αντίστοιχη περιοχή του Κόσυνθου. Αυτό οφείλεται στη δυναμική των χειμάρρων της περιοχής Ροδόπης (Κοπτερού, Προφ. Ηλία κ.α.). Ανάμεσα στη Λ. Ισμαρίδα και τη θάλασσα παρεμβάλλεται μια ζώνη εύρους 3 km υπό αμμώδη και αργιλοϊλυούχα υλικά. Η παρουσία τους είναι αποτέλεσμα των ιδιαίτερων διαδικασιών του δελταϊκού περιβάλλοντος.

### Γ}Κατανομή των λιθολογικών φάσεων Πλειο-Πλειστοκαίνου και Ολοκαίνου στην ιζηματογενή λεκάνη.

Η λιθολογική φάση είναι μια μονάδα πετρώματος η οποία διακρίνεται από συγκεκριμένα λιθολογικά χαρακτηριστικά όπως η σύσταση, η κοκκομετρία, η στρώση και οι συνθήκες ιζηματογένεσης (Miall 1984).

Από το αρχείο των δελτίων υδρογεώτρησης του Ι.Γ.Μ.Ε. Ξάνθης ελήφθησαν 66 λιθολογικές τομές για τις οποίες υπήρχαν προσδιορισμένες με σχετική ακρίβεια θέσεις. Κάθε λιθολογική τομή αναλύθηκε στις διαφορετικές λιθολογικές φάσεις που την απάρτιζαν με τη μορφή διακεκριμένων στρωμάτων μιας λιθολογικής φάσης ή στρωμάτων με εναλλαγές φάσεων, και αυτές ταξινομήθηκαν σε 6 λιθολογικές κατηγορίες ανάλογα με την υδραυλική τους συμπεριφορά. Όπου η λιθολογική τομή περιέγραφε ένα διακεκριμένο στρώμα ως συνδυασμό λεπτομερούς υλικού με αδρομερέστερο το στρώμα ταξινομούνταν στη λιθολογική φάση του λεπτομερούς εφόσον αυτό τελικά θα επικρατούσε στις υδραυλικές ιδιότητες του στρώματος, εκτός εάν η περιγραφή υποδείκνυε ότι η παρουσία του λεπτομερούς υλικού ήταν αμελητέα και δεν επιδρούσε στην υδραυλική αγωγιμότητα του στρώματος (π.χ. χαλίκια με λίγη άργιλο). Τα στρώματα με μεικτή περιγραφή όπως π.χ. μάργα με εναλλαγές άμμου ή άργιλος-άμμοι-χαλίκια χωρίστηκαν σε διακεκριμένα πάχη κάθε λιθολογικής φάσης που τα απάρτιζε, συνήθως ισομερώς εκτός εάν η περιγραφή υποδείκνυε διαφορετικά. Από τις ποικίλες λιθολογικές περιγραφές που απαντήθηκαν στις λιθολογικές τομές που εξετάστηκαν προέκυψαν οι εξής λιθολογικές κατηγορίες:



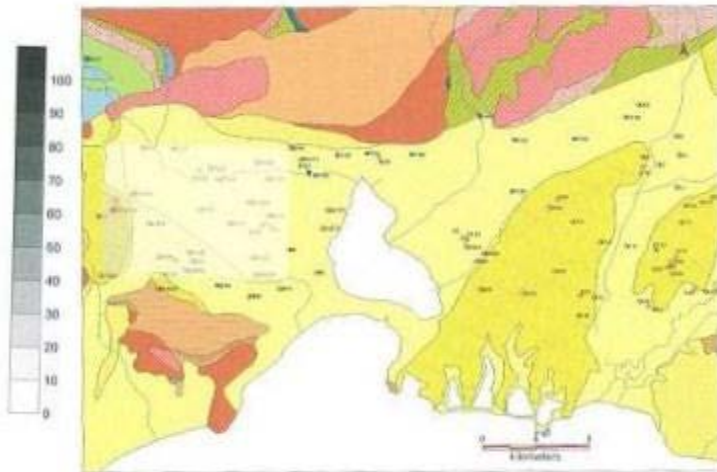
- Μάργα, τις λιθολογικές περιγραφές: μάργα, μάργα σκληρή, μάργα γκρι, μάργα γκριζοπράσινη, μάργα γκριζοπράσινη πλαστική, αργιλόμαργα, μάργα γκριζοπράσινη συνεκτική ως πολύ συνεκτική.
- Άργιλος, περιλαμβάνοντας τις λιθολογικές περιγραφές: άργιλος κίτρινη / πράσινη / καφέ / ερυθρό / φαιό / μπεζ σκούρο / κιτρινοπροσινόχρους / κιτρινόφαια / καστανόφαια / πλαστική / καφεκίτρινη / λευκόφαιη, άργιλος μετά χαλίκων, άργιλος μαργαϊκή, άργιλος γκρι με κοχύλια, άργιλος με ασβεστόπετρα και χαλίκια, άργιλος καφέ γκρίζα με χαλίκια, άργιλος λευκή με χαλίκια, αργιλούχο (λίγα χαλίκια), άργιλος με αργλικές ψηφίδες και λίγο χαλίκι, άργιλος μπεζ-χακί μαργαϊκή, άργιλος μπεζ-χακί με λίγο χαλίκι.
- Αμμούχος άργιλος/αργιλούχος άμμος, περιλαμβάνοντας τις λιθολογικές περιγραφές αμμοαργιλώδες, αμμοαργιλώδες με χάλικες, αργιλοαμμώδες, χάλικες άμμος μετά αργίλου, άργιλος καστανή με άμμο, άμμος μεσόκοκκη τοπικά αργιλούχος, άργιλος με λεπτόκοκκη άμμο, άργιλος με χονδρόκοκκη άμμο, άργιλος γκρίζα με χαλίκια και άμμο, άργιλος αμμούχος γκριζόλευκη, άμμος αργιλούχος με χαλίκια, άργιλος αμμούχος λευκόφαιη.
- Άμμος, περιλαμβάνοντας τις λιθολογικές περιγραφές: άμμος, άμμος χονδρόκοκκος, άμμος χονδρόκοκκος με χαλίκια, άμμος ρευστή, χάλικες άμμος μετά οργίλου, χαλικοψηφίδες με άμμο, χαλικοψηφίδες με στρώσεις αργίλων (το μισό του συνόλου), αμμοχάλικο με λίγη άργιλο, άμμος λεπτόκοκκη με άργιλο υδροφόρο, άμμος προς ψαμμιτικό, άμμος χονδρόκοκκη ψηφίδες, άμμος χονδρό-μεσόκοκκη.
- Χάλικες /κροκάλες, περιλαμβάνοντας τις λιθολογικές περιγραφές: χάλικες-κροκάλες, χαλίκια-λατύπες, χαλίκι, χαλίκι λεπτό, χαλικοψηφίδες, χάλικες, χάλικες με άργιλο, χαλίκια με άργιλο καφέ, χαλίκια με γκριζοπράσινη άργιλο, χαλίκια χονδρόκοκκα, κροκάλες χαλίκια (χαλαζιακά και μαργαϊκά

ψαμμιτικά), κροκάλες χαλίκια (χαλαζιακά μεταμορφωμένα ψαμμιτικά), χαλίκια κροκάλες (διάφορα χαλαζιακά) άργιλος λίγη πράσινη, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους με χαλίκια.

- Κροκαλοπαγές, περιλαμβάνοντας τις λιθολογικές περιγραφές: κροκαλοπαγές.
- Ψαμμίτης, περιλαμβάνοντας τις λιθολογικές περιγραφές: ψαμμίτης.
- Ασβεστόλιθος, περιλαμβάνοντας τις λιθολογικές περιγραφές μαργαϊκός ασβεστόλιθος.

Εκτός ταξινόμησης έμειναν οι λιθολογικές φάσεις κάρβουνα (ξυλίτης), σερπεντίνης και τοφίτης λόγω σπανιότητας.

Το αθροιστικό πάχος της κάθε λιθολογικής κατηγορίας σε κάθε γεώτρηση υπολογίστηκε σε επί τοις εκατό ποσοστό επί του συνολικού διατηρηθέντος βάθους. Έτσι σχεδιάστηκαν χάρτες ποσοστιαίος κατανομής κάθε λιθολογικής κατηγορίας για την υπό μελέτη ιζηματογενή λεκάνη, οι οποίοι παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες .



Εικόνα 6 :Η λιθολογική κατηγορία του κροκαλοπαγούς στο βοριοδυτικό άκρο της περιοχής μελέτης.(Γ.Αναστασιάδης)

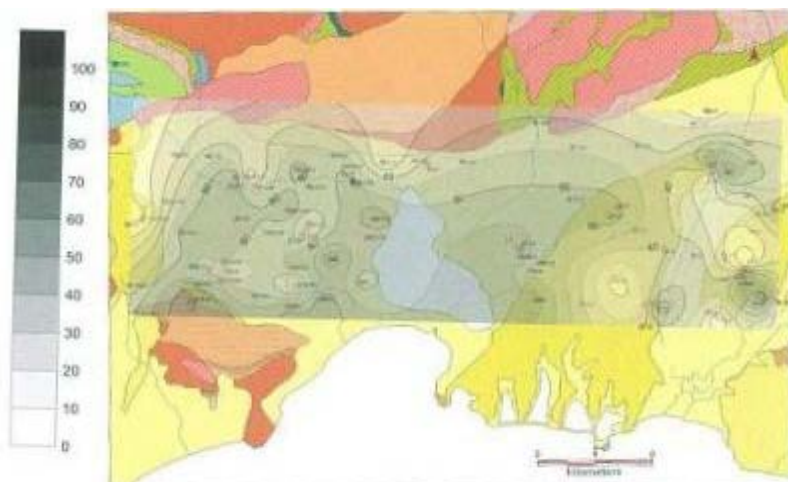
Στην εικόνα 6, παρατηρείται ότι η λιθολογική κατηγορία του Κροκαλοπαγούς απαντάται μόνο στο βορειοδυτικό άκρο της υπό μελέτης περιοχής και ουσιαστικά συμπίπτει με την εμφάνιση των Νεογενών νοτίως της πόλης της Ξάνθης, στις βορειοδυτικές παρυφές της ιζηματογενούς λεκάνης. Η ύπαρξη του αποδίδεται στη διαγένεση των Πλειοκαινικών σχηματισμών.

Η λιθολογική κατηγορία του Ψαμμίτη απαντάται περίξ της ανατολικότατης Εμφάνισης των Νεογενών, νοτίως της πόλης της Κομοτηνής καθώς επίσης και στα βόρεια και νότια άκρα του δυτικού τμήματος της υπό μελέτης περιοχής. Για το τελευταίο, η παρουσία στρωμάτων ψαμμίτη σε 4 διάσπαρτες γεωτρήσεις δεν υποδεικνύει χωρική συνέχεια αλλά περισσότερο τοπική διαγένεση άμμων σε ψαμμίτη, όσον αφορά τη βορειότερη γεώτρηση M700 και τις νοτιότερες M10099 και M8241. Στις νότιες γεωτρήσεις Ξ9826 (απαντάται μετά τα 90 m βάθος) και Ξ26 (απαντάται 57 m βάθος) πιθανότατα πρόκειται για ηφαιστειακής προέλευσης ψαμμίτη του γεωλογικού υποβάθρου, ενώ στη Ξ7245 που φθάνει τα 140 m βάθος δεν απαντάται. Η λιθολογική κατηγορία των Χαλίκων-Κροκάλων παρουσιάζει σημαντική εξάπλωση στο βορειοδυτικό τμήμα της υπό μελέτη περιοχής, όπου και καταλαμβάνει αθροιστικά έως και το μισό διατηρηθέν πάχος της ιζηματογενούς ακολουθίας του Τεταρτογενούς αλλά και του Νεογενούς. Στην περιοχή αυτή συνδέεται με τη διαχρονική λειτουργία των ποταμών Κόσυνθο και Κυδωνέα και των μικρότερων ρεμάτων. Οι συνεχείς παράλληλοι κώνοι ριπιδίων των αξόνων επιφανειακής απορροής ενώνονται με αλληλοεπικάλυψη (δημιουργώντας μια συνεχή ζώνη), από αδρομερή υλικά που εκτείνονται στον κάμπο ανάλογα με το μέγεθος του κάθε χειμάρρου. Λόγω της αδρομερούς φύσης

της η λιθολογική αυτή κατηγορία καταλαμβάνει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στις βόρειες παρυφές του πεδινού τμήματος, παρόλα αυτά παρατηρείται σε αξιοσημείωτες συγκεντρώσεις και νοτιότερα στο πεδινό τμήμα κατά μήκος της παλαιάς κοίτης του Κόσυνθου. Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης παρατηρείται σε μικρότερες συγκεντρώσεις (20-40%), κυρίως κατά μήκος του ποταμού Βοσβόζη αλλά και στις δυο εμφανίσεις του Νεογενούς (Πλειόκαινο), Κατά μήκος της ροής του ποταμού Κομψάτου δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία λιθολογικών τομών γεωτρήσεων ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα.

Η λιθολογική κατηγορία των Άμμων παρουσιάζει τη δεύτερη μεγαλύτερη εξάπλωση μεταξύ των λιθολογικών κατηγοριών καταλαμβάνοντας το μεγαλύτερο τμήμα του πεδινού τμήματος του κάμπου της Ξάνθης, όπου και αποτελείτο 20-50% του διατηρηθέντος ιζηματογενούς πάχους. Σε αντίθεση με την αδρομερέστερη κατηγορία των Χαλίκων-Κροκάλων η περιοχή κύριας εξάπλωσης είναι ο κάτω ρους της νέας και της παλιάς κοίτης του Κόσυνθου, αλλά και νοτιότερο της τελευταίας όπου και παρουσιάζει χωρική συνέχεια. Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης αξιοσημείωτες συγκεντρώσεις άμμων παρατηρούνται στις δυο Νεογενείς εμφανίσεις (20-35%) και στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Κομοτηνής. Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι περιορισμένες.

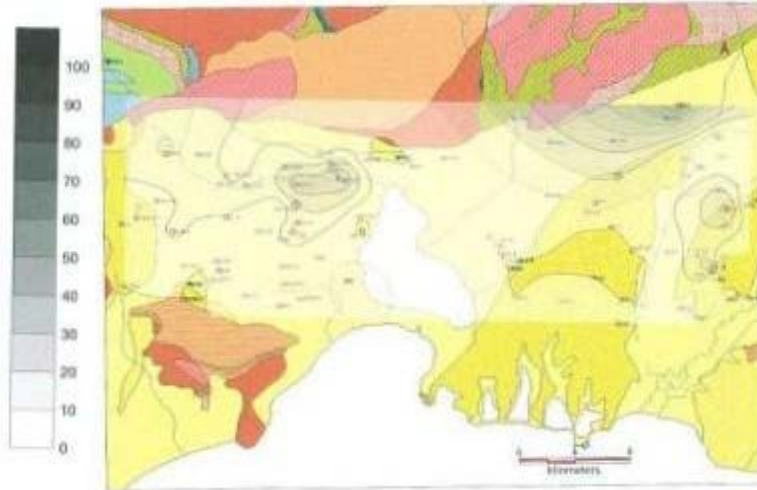
Η λιθολογική κατηγορία των Αργίλων που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα αποτελείται πάνω από το 60% (60%-90%) του διατηρηθέντος ιζηματογενούς πάχους σε ένα ευρύτατο μέρος της λεκάνης γύρω από τη Βιστωνίδα, όπου και εμφανίζει χωρική συνέχεια, καθώς επίσης και στην περιοχή που περιγράφεται από τους οικισμούς Γκιώνας-Γενισέας-Φελώνης-Αυξεντίου.(EIKONA 7)



Εικόνα 7:Λιθολογική κατηγορία αργίλων στην περιοχή γύρω από τη λίμνη Βιστωνίδα.(Γ.Αναστασιάδης)

Ανατολικά της Γενισέας και στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Κουτσότο το ποσοστό μειώνεται καθώς αυξάνεται αυτό των άμμων. Το ποσοστό συμμετοχής της λιθολογίας στο ιζηματογενές πάχος μειώνεται σημαντικά κοντά στα βόρεια κράσπεδα της λεκάνης σε λιγότερο από το 40%. Αντιθέτως στη γειτονία των νοτίων κρασπέδων της λεκάνης της Ξάνθης το ποσοστό των αργίλων διατηρείται υψηλό στο 70%-90%. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το τοπικά υψηλό ποσοστό αργίλων στα ιζήματα της περιοχής Υφαντών-Μεσοχωρίου- Κομοτηνής, 40%-75%, όπου σήμερα επιφανειακά συμβάλλουν ο Τρελλοχείμαρρος, το Ρεματάκι και το Ασπρόρεμα.

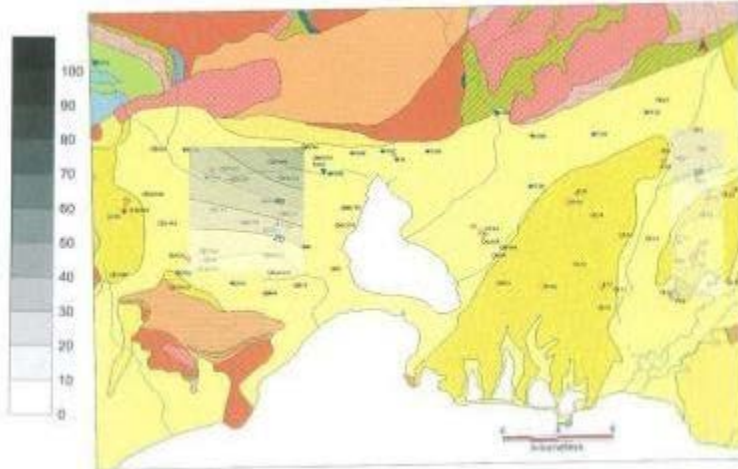
Η λιθολογική κατηγορία των Αμμούχων αργίλων/αργιλούχων άμμων παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.(ΕΙΚΟΝΑ 8)



Εικόνα 8: Εδώ παρατηρείται η λιθολογική κατηγορία των αμμούχων αργίλων /αργιλούχων άμμων στο δυτικό μέρος της λεκάνης κατά μήκος της σύγχρονης κοίτης του ποταμού Κόσυνθου.(Γ.Αναστασιάδης)

Παρατηρείται ότι στο δυτικό μέρος της λεκάνης η λιθολογία εντοπίζεται στο μήκος της σύγχρονης κοίτης του ποταμού Κόσυνθου και συμπίπτει με τα νότια όρια της ζώνης ριπιδίων που αναπτύσσεται στα βόρεια κράσπεδα της λεκάνης. Στην τομή της γεώτρησης M1221 τα πρώτα 28 m αναγνωρίστηκαν ως ριπίδιο, ακολουθούμενα από 100 m κυρίως αργίλων και άμμων . Οι πυκνές εναλλαγές αργίλων και άμμων στην παραπάνω περιοχή χαρακτηρίζουν το σύνολο της στρωματογραφικής στήλης της γεώτρησης δηλαδή πάχος 130-150 m. Στο ανατολικό μέρος της λεκάνης το ποσοστό των αμμούχων αργίλων/αργιλούχων άμμων είναι γενικά χαμηλό με εξαιρέσεις το ΒΑ άκρο της περιοχής μελέτης και την περιοχή συμβολής των ρεμάτων Τρελλοχείμαρρος-Ρεματάκι-Ασπρόρεμα.

Η λιθολογική κατηγορία των Μαργών παρουσιάζεται στην εικόνα που παρεμβάλλεται.(ΕΙΚΟΝΑ 9)



Εικόνα 9: Η λιθολογική κατηγορία των μαργών στο ανατολικό μέρος στους σχηματισμούς του Μειόκαινου.(Γ.Αναστασιάδης)

Παρατηρείται ότι η λιθολογία απαντάται μόνο στο ανατολικό μέρος της περιοχής μελέτης και μάλιστα εντός των σχηματισμών του Μειόκαινου. Συνήθως απαντώνται στην οροφή των σχηματισμών του Μειόκαινου κάτω από τις Παλαιοτεταρτογενείς αποθέσεις συχνά μαζί με στρώματα μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Η περιοχή συγκέντρωσης της λιθολογίας ταυτίζεται με την έναρξη των Μειοκαινικών σχηματισμών σε βάθος κάτω από 50-140 m περίπου κάτω από τη στήλη των Πλειοκαινικών.

## Συμπέρασμα

Κατά την διάρκεια της πτυχιακής μας εργασίας πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων εδαφικών στρωμάτων. Τα δοκίμια προέκυψαν από αδιατάρακτο έδαφος που πάρθηκε από την περιοχή στην βόρεια Ελλάδα από δειγματοληψία που έκανε η ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Α.Ε

Από τις εργαστηριακές δοκιμές προέκυψε ότι το έδαφος μας ανήκει στην κατηγορία ΜΗ Ανόργανη ιλύς ( συχνά μαρμαρυγιακη ) υψηλής πλαστικότητας σύμφωνα με την κατάταξη κατά ASTM.

Το ειδικό του βάρος είναι  $2.45 \text{ gr/cm}^3$  και η φυσική του υγρασία είναι 23%. Απο την δοκιμή Atterberg προκύπτει ότι είναι έδαφος μεγάλης πλαστικότητας. Οι δοκιμές αντοχής έδειξαν ότι η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη είναι  $q_u = 5.194198 \cdot 10^2 \text{ KN/m}^2$ , η συνοχή  $c = q_u/2 = 2.597 \cdot 10^2 \text{ KN/m}^2$  και από την δοκιμή της άμεσης διάτμησης είναι  $c = 0,4 \cdot 10^2 \text{ KN/m}^2$  και η γωνιά εσωτερικής τριβής  $\phi = 16$ . Από την περιεχομένη υγρασία συμπεραίνουμε ότι το έδαφος μας είναι πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής. Από την βιβλιογραφική μελέτη προκειπται ότι το έδαφος μας σύμφωνα με την κατάταξη των εδαφών και το διάγραμμα NEHRP, σύμφωνα με την ταχύτητα διάδοσης εγκαρσίων κυμάτων σε πάχος 30 m , το έδαφος μας ανήκει στην κατηγορία E με  $V_s < 180 \text{ m/sec}$

Δεν μπορούμε να υπολογίσουμε τις εξισώσεις απόσβεσης του σεισμικού κύματος για το έδαφος που έχουμε γιατί δεν ξέρουμε το ακριβές πάχος του ούτε στρωματογραφική κολώνα πάνω από το στερεό υπόβαθρο στην περιοχή της δειγματοληψίας. Πρόκειται για έδαφος προβληματικό για τεχνικά έργα και ειδικά απέναντι σε σεισμικό κίνδυνο. Η λιθολογία του και η φυσική του υγρασία μας δείχνουν ότι δεν υπάρχει κίνδυνος για



ρευστοποίησης η καθίζηση αφού είναι μεν λεπτόκοκκο αλλά δεν είναι κορεσμένο.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- John Farndon Ανακαλύπτω τη Γη, Εκδόσεις Ερευνητές
- Terzaghi K. (1969-1994), "Εφαρμοσμένη εδαφομηχανική", εκδ. Μ. Γκιούρδας, Αθήνα.
- Α.Κούρου & Μ.Πανουτσοπούλου & Α.Παύλου, (2006) Η Γη χορεύει, Εκδόσεις Πατάκης
- Ασημίνα Κούρου & Μ.Πανούτσοπούλου & Ο.Βαγγελάτου & Ι.Μπεργιαννάκη & Ν.Πετρόπουλος & Ι.Παρχαριδης & Β. Κουσκούνα – Τσιμπιδάρου ,Σεισμοί και άνθρωπος,, Εκδόσεις Πατάκης
- Βασιλική Κουσκούνα & Νίκος Πετρόπουλος & Θεόδωρος Τσουνάκος, (2006) Ζω με τους σεισμούς, Εκδόσεις Πατάκης
- Γ. Ζαφειρόπουλος (1998), Σεισμός και Επιβίωση, Εκδόσεις Χρ. Δαρδάνος
- Γαλανόπουλος, Δ. (2011). Χαρακτηριστικά σεισμικού κινδύνου στο: Χαρακτηριστικά Κινδύνων- Καταστροφών, Σημειώσεις, κεφ. 2, Ειδική Φάση Σπουδών, Τμήμα Πολιτικής Προστασίας, Εθνική Σχολή Τοπικής Αυτοδιοίκησης, ΕΚΑ Δανδουλάκη, Μ. (2007).
- Δ.Ι.Παπανικολάου, Χρ. Ι. Σιδερης (2007), Γεωλογία Η επιστήμη της Γης, Εκδόσεις Πατάκη

- Ε.Ν.Οικονόμου (2004), Η Φυσική Σήμερα Τόμος ΙΙ, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
- Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών ΙΤΣΑΚ (2008). Έκθεση: Ο Σεισμός Αχαΐας-Ηλείας 2008 Θεσσαλονίκη Έκδόσεις ΙΤΣΑΚ.
- Καρύδης Π.Γ , Ταφλαμπάς Ι.Μ Σημειώσεις Τεχνικής σεισμολογίας
- Κολέτσος Κ. (2004), "Γεωτεχνική Μηχανική", University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Λέκκας, Ε. (2000). Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές Αθήνα: Εκδόσεις Access Pre-Press.
- Νέαρχος Θαλάσσης, (2006) Σεισμοί, Εκδόσεις Καστανιώτη
- Παπαζάχος, Β. και Δρακόπουλος, Ι.Κ. (1992). Σεισμοί και μέτρα προστασίας Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Παπαζάχος, Β. και Παπαζάχου, Κ. (1999). Οι Σεισμοί της Ελλάδας Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Παπαζάχος, Β. και Παπαζάχου, Κ. (2003). Οι Σεισμοί της Ελλάδας, Γ΄ έκδοση (βελτιωμένη) Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Παπαζάχος, Β. (1989) Εισαγωγή στη Σεισμολογία Θεσσαλονίκη Εκδόσεις Ζήτη
- Παρασκευή Βασαλά (2005), Μαθαίνοντας τους Σεισμούς, Τυπωθήτω Γιώργος Δαρδάνος
- Πενέλης, Γ. (2008). Σεισμός της Θεσσαλονίκης: Καμπή στην αντισεισμική προστασία της χώρας στο :Μνήμες και προοπτική - 30

- χρόνια μετά το σεισμό της Θεσσαλονίκης - Επετειακό αφιέρωμα σελ. 7-18 Θεσσαλονίκη: Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ.
- Σαπουντζάκη, Κ. «Σεισμός-Σωσμός» και ως πότε; Το αύριο εν κινδύνω: φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές στην Ευρώπη και την Ελλάδα σελ. 161-173, Αθήνα: Εκδόσεις Gutenberg.
  - Το Ανοικτό Πανεπιστήμιο (1986) ,Σεισμικά κύματα και το ιστορικό της Γης,
  - Τριχόπουλος, Δ. (2002). Γενική και Κλινική Επιδημιολογία Αθήνα: Επιστημονικές Εκδόσεις Παρισιάνου Α.Ε.
  - Τσελέντης, (1997) Σύγχρονη Σεισμολογία Τόμοι Α,Β, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
  - Beanland, Sarah, and Clark, M.M., in press, The Owens Valley fault zone, eastern California, and surface rupture associated with the 1872 earthquake: U.S. Geological Survey Bulletin.
  - Bolt, B.A., 1968, The focus of the 1906 California earthquake: Seismological Society of America Bulletin, v. 58, no. 1, p. 457-471.
  - Budhu, M. (1999). Soil Mechanics and Foundations. John Wiley & Sons Inc. New York, 585 p
  - Bussinesq, V. J. (1885). Application des potentiels à l' étude de l' équilibre et du mouvements des solides élastiques. Gauthiers-Villars Ed.
  - D. and Lechat, M.F. (1986). Post-traumatic stress disorder and anxiety symptoms in children exposed to the 1999 Greek earthquake British Journal of Psychology, 95(3): 387–397 Guha-Sapir,

- Dunn, I. S., Anderson, L. R. & Kiefer, F. W. (1980). Fundamentals of geotechnical analysis. John Wiley & Sons, New York, 414 p.
- Greek Seismology (2011): Being an annotated sourcebook of earthquake theories and concepts in classical antiquity v 2.0 Oklahoma: Department of Geosciences, University of Tulsa
- Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR) .
- Gutenberg, Beno, and Richter, C.F., 1954, Seismicity of the earth and associated phenomena (2d ed.): Princeton, N.J., Princeton University Press, 310 p.
- Intern. Meeting on results of the May 13, 1995 earthquake of W. Macedonia: One Year After, Kozani, p.85-88.
- Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 127 (10), pp. 817-833.
- Kolaitis, G., Kotsopoulos, J., Tsiantis, J., Haritaki, S., Rigizou, F., Zacharaki, L., Riga, E., Augoustatou, A., Bimbou, A., Kanari, N., Liakopoulou, M., Katerelos, P. (2003). Posttraumatic stress reactions among children following the Athens earthquake of September 1999 Eur Child Adolesc Psychiatry 12(6):273-80.
- Kramer, S.L. (1996), Geotechnical Earthquake Engineering, Upper Saddle River, NJ.: Prentice Hall, 1996
- Lechat, M.F. (1979). Disasters and public health Bull World Health Organ 57(1):11-7.
- Mahue-Giangreco, M. (2000). The Salonica (Thessaloniki) Earthquake of June 20, 1978 Pasadena, California: California Institute of Technology, Earthquake Engineering Research Laboratory, EERL 78-03 Shoaf, K., Seligson, H., Peek-Asa, C.,

- Olson (2001), Φαινόμενα Ρευστοποίησης εδαφών στον Ελληνικό χώρο. Κεφάλαιο 2 ... φραγμάτων Sheffield και Lower San Fernando
- Soureti A. (2004). Post traumatic stress reactions of children and adolescents exposed to the Athens earthquake European Psychiatry 21: 160-166 .
- Standardized injury categorization schemes for earthquake related injuries California: National Science Foundation by the UCLA Center for Public Health and Disaster Relief.
- Tsytovich, N. (1986). Soil mechanics. Mir Publ. (in English), Moscow, 302 p
- Youd et al. (2001) “Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils”,