



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αναζήτηση, επεξεργασία και αποθήκευση πειραματικών  
δεδομένων τριαξονικών δοκιμών πετρωμάτων

---

Του Σερεμετάκη Θεόδωρου

### Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Γ. Εξαδάκτυλος, Καθηγητής

Ε. Στειακάκης, Επ. Καθηγητής

Π. Λιόλιος, ΕΔΠ

ΧΑΝΙΑ

Ιούνιος, 2017

.....

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή την εργασία εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Εξαδάκτυλο Γεώργιο για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ και να εξοικειωθώ στο σύγχρονο περιβάλλον του Εργαστηρίου Σχεδιασμού Εκμεταλλεύσεων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η εμπειρία αυτή, μαζί με την καθοδήγησή του και τη συνεισφορά του κατά τη διάρκεια της παρούσας εργασίας υπήρξαν πολύ σημαντικές.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κύριους Στειακάκη Εμμανουήλ και Λίολιο Παντελή για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της διπλωματικής μου εργασίας.

Ιδιαίτερα θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου Πάνο, Ευγενία, Αλέξανδρο, Εύα ,Άκη, Ναταλί , Σοφία για τα υπέροχα φοιτητικά χρόνια που μου χάρισαν.

Τέλος, την εργασία αυτή αφιερώνω στους γονείς μου ως ένα ελάχιστο δείγμα ευγνωμοσύνης για όσα μου πρόσφεραν και συνεχίζουν να μου προσφέρουν όλα αυτά τα χρόνια με τη στήριξή τους.

## Περίληψη

Ο πειραματικός χαρακτηρισμός των μηχανικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων είναι σημαντικό προαπαιτούμενο βήμα για το σχεδιασμό γεωτεχνικών έργων σε πετρώματα. Οι περισσότερες εργαστηριακές δοκιμές εκτελούνται σε άρρηκτα δοκίμια πετρωμάτων λόγω της δυσκολίας εκτέλεσης δοκιμών σε ασυνεχή πετρώματα. Η υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων των ασυνεχών πετρωμάτων μπορεί να γίνει στη συνέχεια από τις ιδιότητες του συνόλου της βραχομάζας με βάσει διάφορες θεωρίες και μοντέλα. Όσον αφορά τα άρρηκτα πετρώματα εκτός από τα δεδομένα που υπάρχουν σε κάθε εργαστήριο, επιπρόσθετα πολύ περισσότερα δεδομένα υπάρχουν διεσπαρμένα στην διεθνή βιβλιογραφία και αρθρογραφία. Καθίσταται φανερό ότι η εύρεση, επεξεργασία και αποθήκευση αυτών των δεδομένων είναι εξίσου σημαντική με τα εργαστηριακά δεδομένα ενός εργαστηρίου. Ένα εργαλείο για την επεξεργασία και αποθήκευση αυτών των δεδομένων είναι η σχεσιακή βάση δεδομένων Μηχανικής Πετρωμάτων που έχει αναπτυχθεί από το εργαστήριο Μελέτης και Σχεδιασμού Εκμεταλλεύσεων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση της δυνατότητας αυτής με την εύρεση, επεξεργασία και αποθήκευση νέων πειραματικών δεδομένων από την διεθνή βιβλιογραφία και κατόπιν η σύγκρισή τους με ήδη υπάρχοντα δεδομένα της βάσης που αφορούν τον ίδιο τύπο πετρώματος. Για την επεξεργασία των δεδομένων χρειάστηκε να αναπτυχθούν αλγόριθμοι ψηφιοποίησης και γραμμικής παρεμβολής δεδομένων.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>2.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ .....</b> | <b>10</b> |
| 2.1 Εισαγωγή.....   | 10        |
| 2.2 Μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων .....  | 10        |
| 2.3 Πείραμα μονοαξονικής ανεμπόδιστης θλίψης (UCS) .....  | 11        |
| 2.4 Πείραμα τριαξονικής θλίψης.....   | 18        |
| 2.4.1 Γενικά περί τριαξονικής θλίψης .....  | 18        |
| 2.4.2 Τριαξονική συμβατική δοκιμή θλίψης .....  | 19        |
| 2.4.3 Εργαστηριακή διαδικασία .....   | 21        |
| 2.4.5 Εργαστηριακός εξοπλισμός των δοκιμών τριαξονικής θλίψης .....                             | 22        |
| 2.4.6 Προετοιμασία του δοκιμίου κατά ISRM(1983) .....   | 22        |
| <b>3.ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ RMDB(Rock Mechanics Database).....</b>           | <b>23</b> |
| 3.1 Εισαγωγή.....   | 23        |
| 3.2 Βάσεις δεδομένων .....  | 23        |
| 3.3 Συστήματα βάσεων δεδομένων MySQL.....   | 25        |
| 3.4 Πίνακες και Πρωτεύοντα κλειδιά .....  | 26        |
| 3.5 Βασικοί τύποι δεδομένων MySQL.....  | 28        |
| 3.6 Περιγραφή της βάσης δεδομένων RMDB (Rock Mechanics DataBase) .....                          | 29        |
| 3.6.1 Τομέας Πετρωμάτων .....   | 30        |
| 3.6.2 Τομέας πειραμάτων.....  | 32        |
| 3.6.3 Τομέας εργαστηρίων .....  | 34        |
| <b>4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΥΡΕΣΗΣ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗ ΒΑΣΗ RMDB .....</b>       | <b>35</b> |
| 4.1 Εύρεση πειραματικών δεδομένων .....   | 35        |
| 4.2 Επεξεργασία πειραματικών δεδομένων .....  | 36        |
| 4.2.1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για διαφορετικές πλευρικές τάσεις και συσχετίσεις .....        | 42        |
| 4.2.2 Επεξεργασία πειραματικών καμπυλών σε Γρανίτη από τη Νορβηγία.....                         | 43        |
| 4.2.3 Επεξεργασία πειραματικών καμπυλών γρανίτη BLANCO MERA .....                               | 45        |
| 4.2.4 Συσχετίσεις από τη βάση RMDB.....   | 49        |

|  |    |
|--|----|
| <b>4.3 Αποθήκευση δεδομένων στην <i>RMDB</i></b> ..... | 54 |
| <b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b> .....             | 56 |
| <b>5.1 Συμπεράσματα</b> .....                          | 56 |
| <b>5.2 Προτάσεις</b> .....                             | 57 |
| <b>6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....                           | 58 |

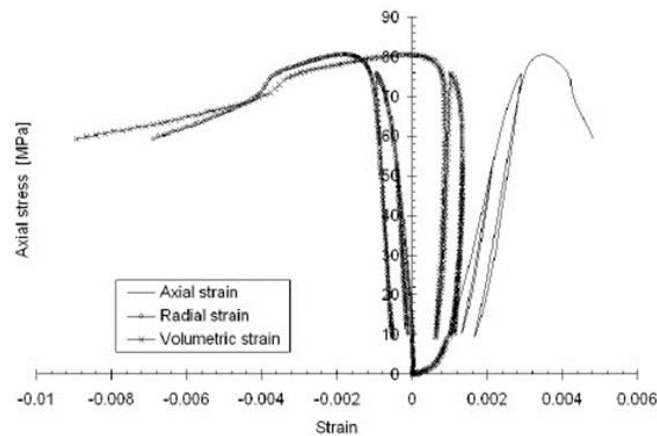
## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην σημερινή εποχή η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου των δεδομένων που παράγονται καθημερινά και είναι διαθέσιμα μέσω του world wide web (www) λ.χ. από δημοσιευμένα άρθρα, τεχνικές εκθέσεις, προώθηση νέων προϊόντων κ.λπ.. Επικεντρώνοντας την προσοχή μας σε φυσικά υλικά που συναντώνται ή χρησιμοποιούνται στα γεωτεχνικά έργα και ειδικότερα στα πετρώματα μπορούμε να πούμε ότι τα δεδομένα αυτά κρύβουν πολύτιμη γνώση, καθώς η ανάλυση τους αλλά και σε σύγκριση αυτών με νέα πειραματικά δεδομένα που αποκτάμε εμείς οι ίδιοι από εργαστηριακές δοκιμές Μηχανικής των Πετρωμάτων, μπορεί να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα.

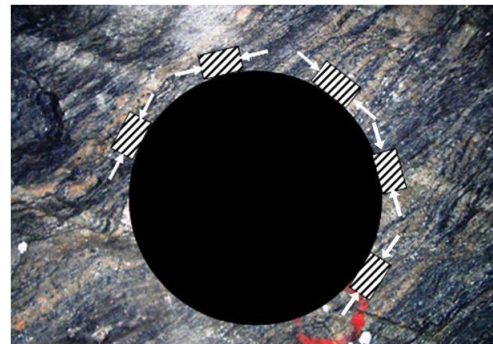
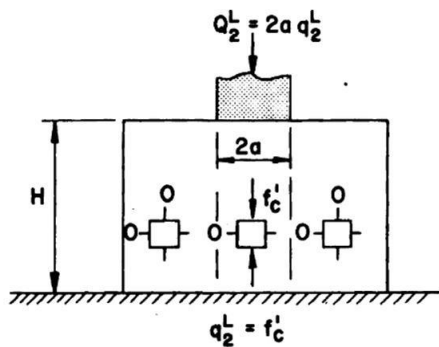
Ένα άλλο επίσης σημαντικό ζήτημα είναι η αποθήκευση και η διαχείριση των δεδομένων που μπορούν να έχουν τη μορφή διαγραμμάτων από δοκιμές, διαγραμμάτων συσχέτισης, ιστογραμμάτων, αρχείων κ.λπ., καθώς οι υπάρχουσες ή διαθέσιμες εμπορικές βάσεις δεδομένων ικανοποιούν πολλές φορές τον σκοπό για την μελλοντική αξιοποίηση και χρήση αυτών των δεδομένων.

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η εύρεση, η ανάλυση, η επαλήθευση και η αποθήκευση δεδομένων που προκύπτουν από εργαστηριακές δοκιμές της Μηχανικής Πετρωμάτων σε πετρώματα, πιο συγκεκριμένα από πειράματα μονοαξονικής και τριαξονικής θλίψης π.χ Σχήμα 1.1. Το Σχήμα 1.1 παριστά την εξάρτηση της αξονικής τάσης από την αξονική, πλευρική και ογκική παραμόρφωση ενός δοκιμίου πετρώματος που υποβάλλεται σε δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης. Το σχήμα αυτό έχει πολύτιμα δεδομένα με τη μορφή διαγράμματος. Η συμπεριφορά του πετρώματος φαίνεται ότι είναι μη-γραμμική, πλαστική και με κάποια υστέρηση. Στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται μέσες τιμές του μέτρου ελαστικότητας και του λόγου Poisson ή πλευρικής παραμόρφωσης και η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη αγνοώντας την προαναφερθείσα μη-γραμμικότητα που μπορεί να είναι σημαντική στο σχεδιασμό ενός τεχνικού έργου με το υπό μελέτη πέτρωμα. Λ.χ. η φέρουσα ικανότητα του πετρώματος με ελεύθερες πλευρικές επιφάνειες υπό την επίδραση κατακόρυφου φορτίου στην πάνω

οριζόντια έδρα του προσδιορίζεται από την αντοχή του σε ανεμπόδιστη θλίψη (Σχήμα 1.2), και η αντοχή του πετρώματος κοντά στο σύνορο γεώτρησης ή σήραγγας προσδιορίζεται επίσης από την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (Σχήμα 1.2). Δεν πρέπει επίσης να ξεχνάμε τις παραμορφώσεις και τις τάσεις που αναπτύσσονται πριν την τελική θραύση της κατασκευής που πρέπει να υπακούουν σε κάποιους νόμους όπως της ισορροπίας τάσεων, συμβατού των παραμορφώσεων, καταστατικούς νόμους τάσεων-παραμορφώσεων στην ελαστική και την πλαστική περιοχή φόρτισης του πετρώματος.



**Σχήμα 1.1:** Τυπικό διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης από συμβατικές δοκιμές τριαξονικής θλίψης. (Εξαδάκτυλος, 2017).



**Σχήμα 1.2:** Φόρτιση ογκοτεμαχίου πετρώματος με μη-αιχμηρό σώμα που μπορεί να είναι θεμέλιο ή κοπτικό εργαλείο ανάλογα την κλίμακα (αριστερά), και φόρτιση τοιχώματος σήραγγας ή γεώτρησης λόγω της αναδιανομής των τάσεων (δεξιά) (Εξαδάκτυλος, 2017).



Ο επιπλέον σκοπός της εργασίας είναι η ανάπτυξη μεθοδολογίας για την επεξεργασία και αποθήκευση όλων των δεδομένων μιας δοκιμής καθώς και μία πρώτη επαφή με την εισαγωγή τους σε μία βάση δεδομένων η οποία έχει αναπτυχθεί από το Εργαστήριο Μελέτης και Σχεδιασμού Εκμεταλλεύσεων του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει 5 ΚΕΦΑΛΑΙΑ το περιεχόμενο των οποίων παρουσιάζεται περιληπτικά παρακάτω:

- Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ2 παρουσιάζονται και περιγράφονται τα πειράματα μονοαξονικής και τριαξονικής θλίψης.
- Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 υπάρχει σύντομη περιγραφή των βασικών εννοιών της θεωρίας περί βάσεων δεδομένων, επίσης γίνεται αναλυτική παρουσίαση της βάσης RMDB η οποία χρησιμοποιήθηκε για την αποθήκευση των πειραματικών δεδομένων.
- Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 περιγράφεται η μέθοδος κατά την οποία έγινε η εύρεση των δεδομένων και παρατίθεται η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για την ανάλυση των εργαστηριακών δεδομένων καθώς και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση αυτή .
- Στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα των υπολογισμών και διατυπώνονται προτάσεις για την πληρέστερη διεξαγωγή ανάλογης εργασίας και για την επέκτασή της.

## **2.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ**

### **2.1 Εισαγωγή**

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναλυτική περιγραφή των πειραμάτων μονοαξονικής ανεμπόδιστης θλίψης (αγγλ. όρος: Uniaxial Compressive Strength, UCS), καθώς και της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθείται σε πειράματα τριαξονικής θλίψης. Τέλος θα γίνει η παρουσίαση των ελαστικών παραμέτρων οι οποίες υπολογίζονται βάση αυτών των πειραμάτων.

### **2.2 Μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων**

Η σημαντικότερη κατηγορία μηχανικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τα πετρώματα, είναι αυτή η οποία αναφέρεται στην αντοχή τους. Η αντοχή ενός πετρώματος είναι η ικανότητα του να αντιστέκεται στις εξωτερικές δυνάμεις (τάσεις) που του ασκούνται και εκφράζεται σε μονάδες τάσης (MPa).

Γενικά όταν ένα υλικό αστοχεί, δεν μπορεί πια να φέρει το φορτίο για το οποίο σχεδιάστηκε, ενώ η αστοχία δεν ταυτίζεται πάντα με την θραύση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι κολώνες οπλισμένου σκυροδέματος ( το σκυρόδεμα θεωρείται τεχνητό δομικό ψαθυρό υλικό ή τεχνητό πέτρωμα), μετά από ένα σεισμό, όπου παρατηρούνται ρωγμές. Η κολώνα δεν έχει θραυσθεί , η παραμένουσα όμως φέρουσα ικανότητά της όμως έχει μειωθεί και αποτελεί αντικείμενο μελέτης το ερώτημα εάν μπορεί πλέον να υποστηρίξει ικανοποιητικά την υπερκείμενη οροφή ή τους πάνω ορόφους, ή θα θραυσθεί τελικά μετά από κάποιο χρονικό διάστημα . Τα ίδια μπορούν να ειπωθούν και για ένα στύλο πετρώματος σε υπόγεια εκμετάλλευση.

Η αντοχή των πετρωμάτων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά που διέπουν το ίδιο το πέτρωμα, καθώς και από τον τύπο της καταπόνησης, οπότε ορίζεται και το αντίστοιχο είδος της αντοχής του:

- Αντοχή σε θλίψη
- Αντοχή σε εφελκυσμό

- Αντοχή σε διάτμηση
- Αντοχή σε κάμψη
- Αντοχή σε στρέψη, κ.λπ.

Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε μόνο με πειράματα προσδιορισμού της αντοχής σε θλίψη.

### **2.3 Πείραμα μονοαξονικής ανεμπόδιστης θλίψης (UCS)**

Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (UCS) ενός πετρώματος θεωρείται η απαιτούμενη τάση για την αστοχία ενός κυλινδρικού ή πρισματικού δοκιμίου, στο οποίο η τάση θεωρείται ότι ασκείται επί των 2 παράλληλων εδρών του ενώ πλευρικά είναι ελεύθερο. Στην ανάλυση των αποτελεσμάτων γίνεται η παραδοχή ότι η τάση και η παραμόρφωση κατανέμεται ομοιόμορφα εντός του δοκιμίου. Η δοκιμή σε μία σερβο-υδραυλική πρέσα με ηλεκτρονικό έλεγχο της δοκιμής μπορεί να γίνει είτε με έλεγχο της τάσης είτε με έλεγχο της παραμόρφωσης.

Η εργαστηριακή δοκιμή μονοαξονικής ανεμπόδιστης θλίψης είναι η πιο διαδεδομένη εργαστηριακή μέθοδος μελέτης των μηχανικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων. Είναι εύκολη, γρήγορη στην εκτέλεση της και τις περισσότερες φορές χαμηλού κόστους. Από την άλλη πλευρά επειδή θεωρείται «απλή» πολλοί θεωρούν ότι μια ακριβή σερβο-υδραυλική πρέσα ταιριάζει με όλες τις δοκιμές που έχουν σκοπό να κάνουν ακόμα και τις πιο απλές,, ενώ θα έπρεπε κανονικά να χρησιμοποιήσουν μια φθηνή πρέσα.

Αυτή η πειραματική μέθοδος έχει ως στόχο την μέτρηση της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, την ελαστικότητα, την πλαστικότητα και την σταδιακή φθορά των πετρωμάτων λόγω διάδοσης μικρό-ρωγμών, σε μορφή δοκιμίων δεδομένης γεωμετρίας (λ.χ. πρισματικά ή κυλινδρικά). Ο τύπος αυτής της δοκιμής προορίζεται για τον χαρακτηρισμό του αρρήκτου πετρώματος και ονομάζεται «element test (στοιχειώδης δοκιμή)» γιατί (θεωρητικά) επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή τάσεων & παραμορφώσεων.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης πετρωμάτων επηρεάζονται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

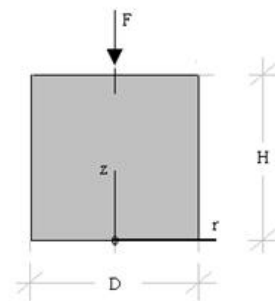
- Ύπαρξη τυχόν ρωγμών ή μικρό-ρωγμών & ετερογένεια

- Ανοχές παραλληλίας εδρών βάσεων και εκκεντρότητα (καθετότητα άξονα στις βάσεις έδρασης)
- Ανισοτροπία του πετρώματος
- Ρυθμός φόρτισης
- Λίπανση των πλακών εδράσεως
- Μέγεθος του δοκιμίου
- Την «λεπτότητα» του δοκιμίου (λόγος ύψους :διάμετρο)

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ISRM<sup>1</sup> (1980) πραγματοποιείται σε κυλινδρικά δοκίμια (βλ. Σχ. 2.1) που κατασκευάζονται από το άρρηκτο πέτρωμα, στα οποία ασκείται φόρτιση με κατάλληλη μηχανή φόρτισης και συνήθως τα δεδομένα καταγράφονται στην μνήμη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή.



Πλάκες έδρασης  
Υδραυλική μηχανή θλίψης με δοκίμιο  
μαρμάρου

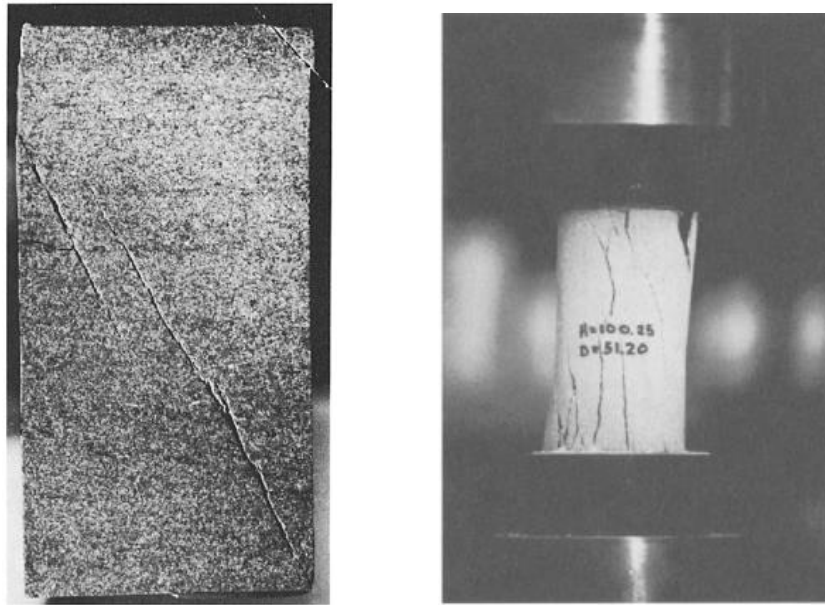


Σύστημα  
κυλινδρικών  
συντεταγμένων  $Ozr$   
(αξονοσυμμετρικών)  
δοκιμίων

<sup>1</sup> International Society of Rock Mechanics

**Σχήμα 2.1:** Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης. Οι προδιαγραφές της υπόψιν δοκιμής που έχουν προταθεί από την ISRM (International Society of Rock Mechanics), (Εξαδάκτυλος, 2017).

Τα δοκίμια μπορεί να παραμορφωθούν και μετά να θραυσθούν λίγο πριν την μέγιστη τάση που μπορούν να φέρουν, είτε με τη μορφή διάτμησης είτε αξονικής κατάτμησης όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2.

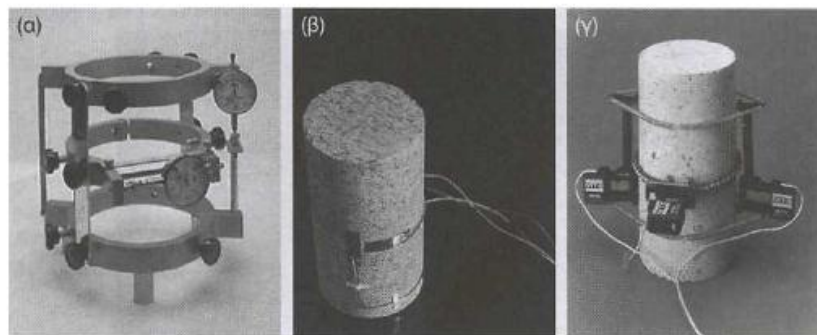


**Σχήμα 2.2:** Θραύση πρισματικού δοκιμίου σε διάτμηση (αριστερά) και σε αξονική κατάτμηση (δεξιά) (Vardoulakis and Sulem, 2001).

Αξίζει να σημειωθεί πως ο τρόπος θραύσης ενός δοκιμίου δεν εξαρτάται μόνο από τα μηχανικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του πετρώματος, αλλά και από την κατασκευή και την προετοιμασία του δοκιμίου σύμφωνα με της προδιαγραφές της δοκιμής. Η κατασκευή των δοκιμίων είναι μία πολύ σημαντική εργασία για την σωστή διεξαγωγή τέτοιου τύπου πειραμάτων.

Οι αξονικές και οι πλευρικές παραμορφώσεις του δοκιμίου μετρούνται με τη βοήθεια κατάλληλα τοποθετημένων μηχανισιόμετρων (Σχήμα 2.3). Διακρίνονται τρία είδη μηχανισιόμετρων (Νιμέρτης και Κορδούλης, 2005):

- Μηχανικά μηχανοσκόπια τα οποία προσδένονται κατάλληλα πάνω στο δοκίμιο (με ειδικό δακτύλιο). Η τοποθέτηση τους γίνεται στο κεντρικό τμήμα του δοκιμίου και σε απόσταση όχι μικρότερη του  $D/2$  από τα άκρα του (όπου  $D$  η διάμετρος του δοκιμίου).
- Ηλεκτρονικά μηχανοσκόπια προσαρμοσμένα σε κατάλληλο παραμορφωτικό δακτύλιο που προσδένεται πάνω στο δοκίμιο. Η τοποθέτηση διάφορων συστημάτων για τη λήψη έμμεσων μετρήσεων εκτός δοκιμίου (π.χ. μέτρηση μετακινήσεων στις πλάκες της πρέσας ή στο έμβολο αυτής) δεν είναι αποδεκτές για την εκτέλεση της δοκιμής
- Ηλεκτρικά μηχανοσκόπια (strain gauges) τα οποία επικολλούνται στο δοκίμιο παράλληλα και κάθετα στον άξονα φόρτισης για τη μέτρηση αξονικών και διαμετρικών παραμορφώσεων αντίστοιχα. Η επικόλληση γίνεται με ειδική κόλλα και ακολουθεί επίστρωση με προστατευτικό υλικό (π.χ. σιλικόνη). Το μήκος τους πρέπει να είναι μεγαλύτερο του δεκαπλάσιου του μέσου μεγέθους των κόκκων του βράχου και η επικόλληση γίνεται στο κεντρικό τμήμα του δοκιμίου και σε απόσταση όχι μικρότερη του  $D/2$  από τα άκρα του.



**Σχήμα 2.3:** Όργανα μέτρησης παραμορφώσεων: (α) Δακτύλιος με μηχανοσκόπια, (β) Ηλεκτρικά μηχανοσκόπια (strain gauges), (γ) Παραμορφωτικός δακτύλιος με ηλεκτρονικά μηχανοσκόπια (Νιμέρτης και Κορδούλης 2005).

Στη δοκιμή UCS η sig-c ( sig-r) ή πλευρική τάση είναι μηδέν,

$$\sigma_r = \sigma_\theta = -\sigma_c = 0$$

Από τα δεδομένα τους υπολογίζονται (βλ. επίσης Σχήμα 2.3 ανωτέρω)

sig-a(sig-z): αξονική τάση σε MPa

$$\sigma_a = \frac{F}{\pi D^2 / 4} \quad [2.1]$$

eps-l(): τεχνική πλευρική (lateral) παραμόρφωση

$$\varepsilon_\ell = -\Delta\varepsilon_r = -\frac{\Delta D}{D_0}, \quad \Delta D = D - D_0 > 0 \quad [2.2]$$

eps-a(): τεχνική αξονική (axial) παραμόρφωση

$$\varepsilon_a = -\Delta\varepsilon_z = -\frac{\Delta H}{H_0}, \quad \Delta H = H - H_0 < 0 \quad [2.3]$$

Για να εκφραστεί μια κατάσταση τάσης – παραμόρφωσης χρησιμοποιούνται οι ελαστικές παράμετροι. Για ένα γραμμικά ελαστικό υλικό, αυτές είναι το μέτρο ελαστικότητας του Young (E), ο λόγος του Poisson (ν).

Τα E και τα ν ορίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$E = \frac{\sigma_{xx}}{\varepsilon_{yy}} \quad [2.4]$$

και

$$\nu = -\frac{\varepsilon_{yy}}{\varepsilon_{xx}} = -\frac{\varepsilon_{zz}}{\varepsilon_{xx}} \quad [2.5]$$

όπου το αρνητικό πρόσημο χρησιμοποιείτε ώστε να προκύψει θετική τιμή του ν.

Για να οριστεί το μέτρο συμπίεσης K (αγγλ. όρος: bulk modulus), θεωρείται ένα μέσο στο οποίο εφαρμόζεται μόνο υδροστατική τάση P, ως εξής:

$$\sigma_{xx}=\sigma_{yy}=\sigma_{zz}= - P \quad [2.6]$$

και

$$\sigma_{xy}=\sigma_{yz}=\sigma_{zx}=0 \quad [2.7]$$

Η τάση P προκαλεί μια ελάττωση στον όγκο ΔV και μια συστολή Δ = ΔV/V.

Αντικαθιστώντας τις προηγούμενες τιμές στον νόμο του Hooke προκύπτουν οι ακόλουθες σχέσεις μεταξύ των E, ν και των σταθερών του Lamé, λ και μ:

$$E = \frac{\mu \cdot (3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu} \quad [2.8]$$

$$\nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)} \quad [2.9]$$

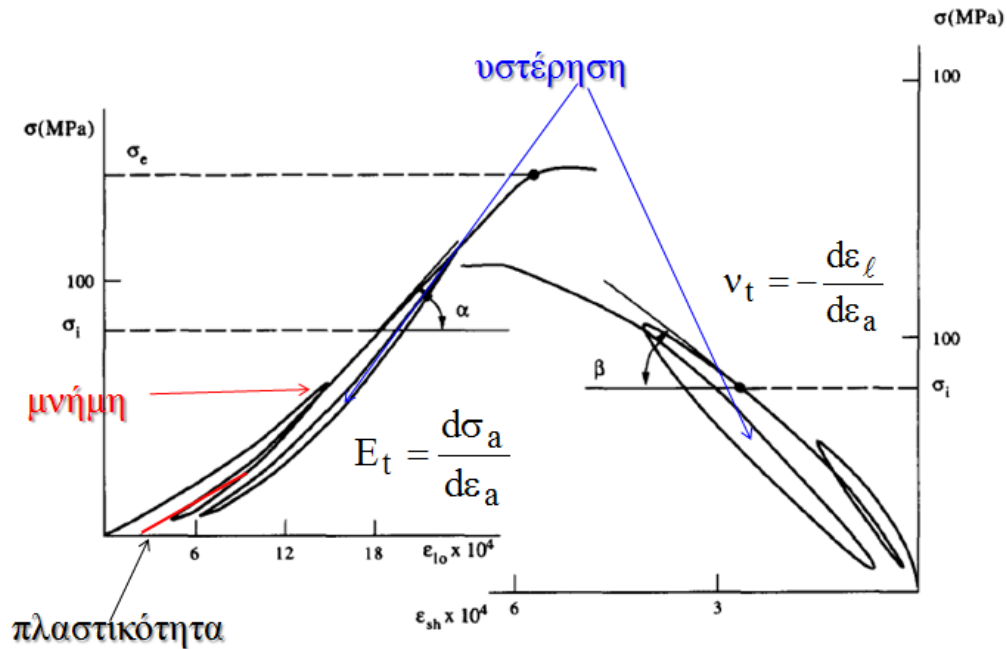
Το μέσο μέτρο ελαστικότητας υπολογίζεται εύκολα στα πετρώματα τα οποία έχουν γραμμική σχέση τάσης – παραμόρφωσης όπως παρουσιάστηκε ανωτέρω. Για τα πετρώματα που έχουν μη γραμμική σχέση τάσης - παραμόρφωσης χρησιμοποιείται το τέμνον, ή το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας σε δεδομένο σημείο της καμπύλης . Το εφαπτομενικό μέτρο παραμόρφωσης βρίσκεται με παραγωγή των δεδομένων (βλ. Σχήμα 2.4)

$$E_t = \frac{d\sigma_a}{d\varepsilon_a} \quad [2.10]$$

Και ο λόγος πλευρικών προς αξονικές παραμορφώσεις βρίσκεται με παραγωγή ως εξής (βλ. Σχήμα 2.4)

$$\nu_t = - \frac{d\varepsilon_\ell}{d\varepsilon_a} \quad [2.11]$$





Μη-γραμμικότητα δηλ. η ελαστικότητα του πετρώματος εξαρτάται από την παραμόρφωση ( $\varepsilon$ ) ή την τάση ( $\sigma$ )

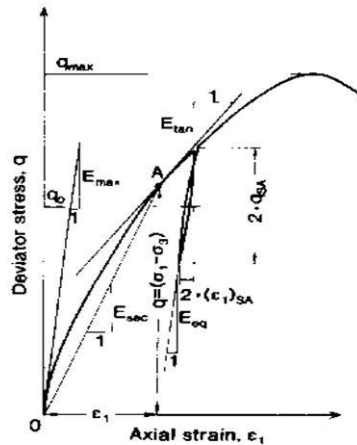
Σχήμα 2.4: Ορισμοί του εφαπτομενικών μέτρων παραμόρφωσης (Εξαδάκτυλος, 2017).

Τα τέμνοντα μέτρα παραμόρφωσης δίνονται από τους τύπους με αναφορά στο Σχήμα 2.5.

$$E_{\text{sec}} = \frac{\sigma}{\varepsilon_a} \quad [2.12]$$

$$\nu_{\text{sec}} = -\frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_a} \quad [2.13]$$

Το τέμνον μέτρο ελαστικότητας χρησιμοποιείται π.χ. για τον υπολογισμό της στιγμιαίας παραμόρφωσης στύλου πετρώματος όταν είναι γνωστή η τάση που εξασκείται στο στύλο. Το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας χρησιμοποιείται στην υπολογιστική ανάλυση ενός προβλήματος βραχομηχανικής.



**Σχήμα 2.5:** Ορισμός του εφαπτομενικού και τέμνοντος μέτρου παραμόρφωσης  $E$  στο διάγραμμα διατμητικής τάσης – αξονικής παραμόρφωσης (Εξαδάκτυλος, 2017).

Τέλος με βάση κατάλληλες παραδοχές είναι δυνατόν από τα δεδομένα της ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης (UCS) να υπολογιστεί έμμεσα η διατμητική τάση  $\tau$ , στην οποία αστοχεί το δοκίμιο, η γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi$  και η συνοχή  $c$ .

## 2.4 Πείραμα τριαξονικής θλίψης

### 2.4.1 Γενικά περί τριαξονικής θλίψης

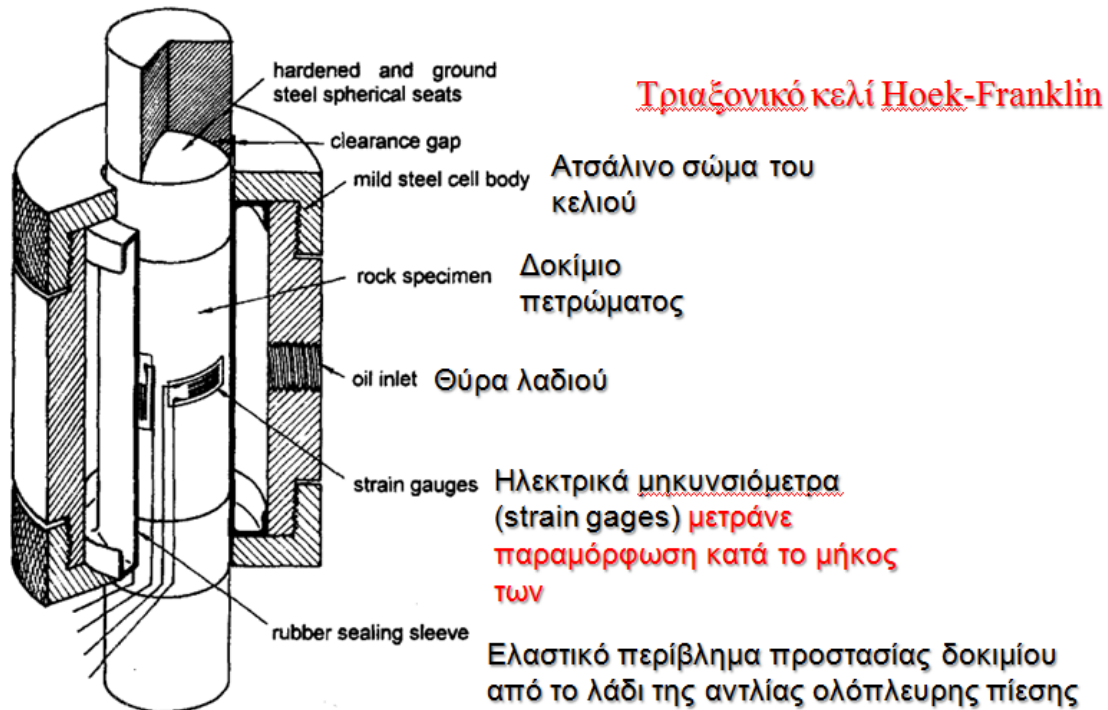
Οι δοκιμές χαρακτηρίζονται ως συμβατικές τριαξονικές δοκιμές στην περίπτωση όπου η ενδιαμέσχη κύρια τάση είναι πάντα ίση με μία εκ των ακραίων κυρίων τάσεων (π.χ. την ελάχιστη κύρια τάση).

Ωστόσο, η φόρτιση ενδέχεται να πραγματοποιείται με ανεξάρτητη διαφοροποίηση μεταξύ και των τριών κύριων τάσεων, δηλαδή η ενδιάμεση κύρια τάση να μεταβάλλεται ανεξάρτητα από τη μέγιστη και την ελάχιστη κύρια τάση, οπότε η δοκιμή χαρακτηρίζεται ως πραγματική τριαξονική δοκιμή (αγγλ. όρος: true triaxial strength).

Αξιοποιώντας τα αποτελέσματα των τριαξονικών δοκιμών, ερευνητές έχουν καταλήξει στο ότι αυξάνοντας την ενδιάμεση κύρια τάση, αυξάνεται και η θλιπτική αντοχή των πετρωμάτων. Ωστόσο, η επίπτωση δεν είναι της ίδιας τάξης μεγέθους συγκριτικά με εκείνη που οφείλεται σε ισοδύναμη αύξηση της ελάχιστης κύριας τάσης (Vutukuri, 1989).

#### ***2.4.2 Τριαξονική συμβατική δοκιμή θλίψης***

Στην τριαξονική δοκιμή, κυλινδρικά δοκίμια υποβάλλονται σε καθεστώς τριαξονικής θλίψης όπου μονοαξονικά θλιπτικά φορτία συνδυάζονται με την άσκηση πλευρικού περιορισμού από την υδροστατική πίεση που περιβάλλει το δοκίμιο. Το δοκίμιο βρίσκεται εντός υδραυλικού κελιού σύμφωνα με τις λεπτομέρειες του Σχήματος 2.6.



*Σχήμα 2.6 : Κυλινδρικό δοκίμιο πετρώματος εντός τριαξονικού κελιού τύπου Franklin (Εξαδάκτυλος, 2017).*

Το καθεστώς φόρτισης σε οποιοδήποτε σημείο εντός του δοκιμίου, αποτελείται από μία κύρια τάση προσανατολισμένη παράλληλα στον άξονα του δοκιμίου και δύο ισοδύναμες πλευρικές τάσεις προσανατολισμένα κάθετα προς τον άξονα αυτό. Οι δύο πλευρικές κύριες τάσεις είναι ίσες με την ασκούμενη πλευρική υδραυλική πίεση, ενώ η τρίτη κύρια τάση αποκλίνει από την τιμή αυτή. Η πίεση που ασκεί το υδραυλικό περιβάλλον καλείται πίεση πλευρικού περιορισμού ή πλευρική πίεση. Η πίεση φορτίου που εφαρμόζεται στα άκρα του δοκιμίου (επίπεδες βάσεις) αναφέρεται ως αξονική τάση. Το μέγεθος κατά το οποίο, το αξονικό φορτίο αποκλίνει από την πλευρική πίεση αναφέρεται ως διαφορική ή αποκλίνουσα (deviatoric stress) τάση και υπολογίζεται ως η διαφορά της αξονικής τάσης με την πλευρική πίεση σύμφωνα με τον τύπο:  $(\sigma_1 - \sigma_3)$ .

Η ακόλουθη σύμβαση χρησιμοποιείται κοινώς στη διεθνή βιβλιογραφία της Μηχανικής των Πετρωμάτων:

- Οι πλευρικές τάσεις θεωρούνται θετικές
- Η μέγιστη κύρια τάση (παράλληλα στον άξονα του δοκιμίου) εφαρμόζει το μεγαλύτερο θλιπτικό φορτίο
- Η μέγιστη, ενδιάμεση και ελάχιστη κύρια τάση συμβολίζονται ως  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  και  $\sigma_3$  αντίστοιχα

Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως στην πράξη, οι κύριες τάσεις ενδέχεται να μη ταυτίζονται με τους άξονες του δοκιμίου λόγω των ανομοιογενειών εντός του δοκιμίου ή άλλων παραμέτρων όπως η επίδραση των συνοριακών συνθηκών.

#### **2.4.3 Εργαστηριακή διαδικασία**

Η εργαστηριακή διαδικασία απαιτεί σταθερές τιμές θερμοκρασίας και πλευρικής πίεσης, διαφοροποιώντας το αξονικό φορτίο για τη διατήρηση ενός σταθερού ρυθμού μετατόπισης.

Μετρήσεις πλευρικής πίεσης, θερμοκρασίας, αξονικού φορτίου, μετατοπίσεων ,καταγράφονται κατά τη διάρκεια της δοκιμής στη μνήμη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Διαφοροποιήσεις της δοκιμής περιλαμβάνουν: (i) τη ταυτόχρονη μεταβολή της πλευρικής πίεσης και του αξονικού φορτίου, εξετάζοντας παράλληλα τις επιδράσεις των διαδρομών των τάσεων, (ii) τη διατήρηση σταθερού αξονικού φορτίου με ταυτόχρονη μείωση της πλευρικής πίεσης, (iii) τη διατήρηση σταθερής πλευρικής πίεσης και εφαρμογή δυνάμεων εφελκυσμού στις βάσεις του δοκιμίου, κάτι που απαιτεί δοκίμια κατάλληλου σχήματος .

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των πετρωμάτων σε τριαξονική θλίψη είναι ο ρυθμός φόρτισης ή ρυθμός παραμόρφωσης, το μέγεθος και το σχήμα των δοκιμίων, η υγρασία και η επίδραση των συνοριακών συνθηκών. Η επίδραση των παραγόντων αυτών εκτιμάται αρχικά με δοκιμές μονοαξονικής θλίψης καθώς τυγχάνουν εφαρμογής και στις δοκιμές τριαξονικής θλίψης.

#### **2.4.5 Εργαστηριακός εξοπλισμός των δοκιμών τριαξονικής θλίψης**

Ο εργαστηριακός εξοπλισμός των δοκιμών είναι με ορισμένες εξαιρέσεις ο ίδιος για όλους τους τύπους δοκιμών και αποτελείται από τα ακόλουθα επιμέρους τμήματα:

- Τριαξονικό κελί
- Συσκευή φόρτισης για την επιβολή του αξονικού φορτίου (L) με δυνατότητα ελέγχου του ρυθμού φόρτισης
- Συσκευή εφαρμογής πλευρικής πίεσης
- Εξοπλισμός μέτρησης και καταγραφής φορτίων, πιέσεων και μετατοπίσεων

#### **2.4.6 Προετοιμασία του δοκιμίου κατά ISRM(1983)**

- Τα δοκίμια πρέπει να είναι κυλινδρικά με λόγο ύψους προς διάμετρο της τάξεως 2:1 και διάμετρο NX (περίπου 54 mm). Η διάμετρος του δοκιμίου πρέπει να είναι δεκαπλάσια του μεγέθους του μεγαλύτερου κόκκου των ορυκτών που συμμετέχουν στη δομή του πετρώματος
- Οι βάσεις του κυλινδρικού δοκιμίου πρέπει να είναι επίπεδες, παράλληλες μεταξύ τους και κάθετες προς τον άξονα του δοκιμίου
- Οι βάσεις το δοκιμίου πρέπει να έχουν ανοχή επιπεδότητας  $\pm 0.01$  mm και δε θα πρέπει να αποκλίνουν από την κάθετο προς το διαμήκη άξονα του δοκιμίου παραπάνω από 0.001 ακτίνια, ή 0.05 mm σε απόσταση 50 mm.
- Οι πλευρές του δοκιμίου πρέπει να είναι ομαλές και λείες με ανοχή 0.03 mm
- Η χρήση υλικών επικαλύψεων ή η κατεργασία των επιφανειών δεν επιτρέπεται
- Η διάμετρος του δοκιμίου προκύπτει από το μέσο όρο των τιμών διαμέτρου σε τρία σημεία κατά μήκος του δοκιμίου, τα οποία είναι κοντά στις δύο βάσεις και στη μέση του δοκιμίου. Η τιμή της διαμέτρου που προκύπτει από το μέσο όρο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της κυκλικής διατομής του δοκιμίου για την ανάλυση των ακτινικών μετατοπίσεων. Η μέτρηση του ύψους του δοκιμίου καθορίζεται με ακρίβεια 1 mm.
- Τα δοκίμια δε πρέπει να αποθηκεύονται για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 30 ημερών, για τη διατήρηση της φυσικής υγρασίας του δοκιμίου. Η περιεκτικότητα σε υγρασία των δοκιμίων τη στιγμή της δοκιμής ενδέχεται να έχει μεγάλη

επίδραση στην αντοχή του δοκιμίου του πετρώματος. Για το λόγο αυτό πρέπει οι συνθήκες των δοκιμών να αντιπροσωπεύουν τη φυσική κατάσταση των πετρωμάτων στην ύπαιθρο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διατήρηση της φυσικής υγρασίας των δοκιμών μέχρι τη στιγμή της δοκιμής. Στην αναφορά, πρέπει να περιλαμβάνονται τόσο η περιεκτικότητα σε υγρασία όσο και ο βαθμός κορεσμού κατά τη στιγμή της δοκιμής

- Ο αριθμός των δοκιμών πρέπει να είναι επαρκής, και σύμφωνος με τον απαιτούμενο ανά τύπο δοκιμής, για τον ακριβή προσδιορισμό της περιβάλλουσας αστοχίας υπό το εύρος τιμών της πλευρικής πίεσης.

### **3.ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ RMDB(Rock Mechanics Database)**

#### **3.1 Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά γίνεται μια σύντομη περιγραφή των βασικών εννοιών της θεωρίας περί βάσεων δεδομένων. Στη συνέχεια περιγράφονται τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος MySQL.

Τέλος θα γίνει μια αναλυτική παρουσίαση της βάσης δεδομένων RMDB (Rock Mechanics Database), η οποία αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Μελέτης και Σχεδιασμού Εκμεταλλεύσεων της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

#### **3.2 Βάσεις δεδομένων**

Ο όρος βάση δεδομένων είναι εξαιρετικά γενικός. Μια βάση δεδομένων μπορεί να είναι ένας απλός κατάλογος ονομάτων - διευθύνσεων σε κάποιο λογιστικό φύλλο του ευρύτατα γνωστού προγράμματος Microsoft Excel ή μπορεί να είναι τα αρχεία μιας

εταιρείας τηλεπικοινωνιών στα οποία καταχωρούνται καθημερινά εκατομμύρια κλήσεις και επιπλέον υπολογίζονται με ακρίβεια οι αντίστοιχες χρεώσεις.

Μια βάση δεδομένων μπορεί να αποτελεί μια αυτόνομη λειτουργία (σε κάποιον προσωπικό υπολογιστή ενός χρήστη), αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιείται από χιλιάδες χρήστες ταυτόχρονα με τα δεδομένα να μοιράζονται σε πολλούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Το μέγεθος μιας βάσης δεδομένων σε χώρο υπολογιστικής μνήμης, μπορεί να κυμανθεί από το μέγεθος μιας απλής φωτογραφίας μέχρι το μέγεθος πολλών σκληρών δίσκων τελευταίας τεχνολογίας (από μερικά kilobyte μέχρι και αρκετά terabyte) (Kofler, 2004). Από τα παραπάνω προκύπτει ότι σαν βάση δεδομένων μπορεί να χαρακτηριστεί μια ολοκληρωμένη συλλογή δεδομένων. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές στρατηγικές για την οργάνωση των δεδομένων σε βάσεις δεδομένων καθώς και για τη διευκόλυνση της εύκολης πρόσβασης και τον χειρισμό των δεδομένων.

Ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (data base management system – DBMS) παρέχει μηχανισμούς για την αποθήκευση και την οργάνωση των δεδομένων με τρόπο που είναι σύμφωνος με τη μορφή της βάσης δεδομένων.

Τα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων δίνουν τη δυνατότητα στους προγραμματιστές να προσπελούν και να αποθηκεύουν δεδομένα, χωρίς να ενδιαφέρονται για την εσωτερική αναπαράσταση των βάσεων δεδομένων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή (Deitel, 2002).

Τα σημερινά δημοφιλέστερα συστήματα βάσεων δεδομένων είναι σχεσιακές βάσεις δεδομένων (relational databases). Σχεδόν καθολικά, οι σχεσιακές βάσεις δεδομένων χρησιμοποιούν μία γλώσσα που ονομάζεται Δομημένη Γλώσσα Ερωτημάτων (Structured Query Language – SQL) για να εκτελούν ερωτήματα (queries), να αναζητούν δηλαδή δεδομένα και πληροφορίες που ικανοποιούν προκαθορισμένα κριτήρια.

Ορισμένα από τα δημοφιλέστερα, σε επίπεδο επιχειρήσεων, σχεσιακά συστήματα βάσεων δεδομένων είναι τα Microsoft SQL Server, Oracle, DB2, Sybase, Informix και MySQL (Deitel, 2002).



### 3.3 Συστήματα βάσεων δεδομένων MySQL

Το MySQL είναι ένα από τα δημοφιλέστερα σχεσιακά συστήματα βάσεων δεδομένων. Κατασκευάστηκε από την εταιρεία MySQLAB η οποία αρχικά δημιουργήθηκε στη Σουηδία από τους David Axmark, Allan Larsson και Michael Widenius.

Η πρώτη του έκδοση (MySQL 3.23.n) δημοσιεύτηκε τον Απρίλιο του 1999. Η πιο σύγχρονη έκδοση του συστήματος δημοσιεύτηκε στα τέλη του 2016 και πρόκειται για την MySQL 8.0.

Το σύστημα MySQL είναι μια εφαρμογή «ανοιχτού κώδικα» (open source), γεγονός το οποίο σημαίνει ότι οποιοσδήποτε χρήστης μπορεί να το χρησιμοποιήσει δωρεάν αλλά και να το τροποποιήσει είτε για να το βελτιώσει είτε για να το προσαρμόσει στις διάφορες υπάρχουσες ανάγκες.

Το σύστημα MySQL, όπως υποδηλώνεται από το όνομα του, υποστηρίζει τη Δομημένη Γλώσσα Ερωτημάτων (SQL) από την οποία διακρίνονται αρκετές διαφορετικές διάλεκτοι. Το σύστημα MySQL ακολουθεί το πρότυπο ANSI-SQL/92. Επιπρόσθετα, το MySQL έχει αρχιτεκτονική τύπου πελάτη/διακομιστή (client/server).

Ο διακομιστής (server) είναι το ίδιο το σύστημα MySQL και είναι υπεύθυνος για τον ορισμό, την ασφάλεια, το χειρισμό και την ακεραιότητα των δεδομένων. Οι πελάτες είναι οι διάφορες εφαρμογές που εκτελούνται πάνω από το σύστημα MySQL και είναι εφαρμογές είτε γραμμένες από το χρήστη είτε ενσωματωμένες από τον κατασκευαστή του συστήματος.

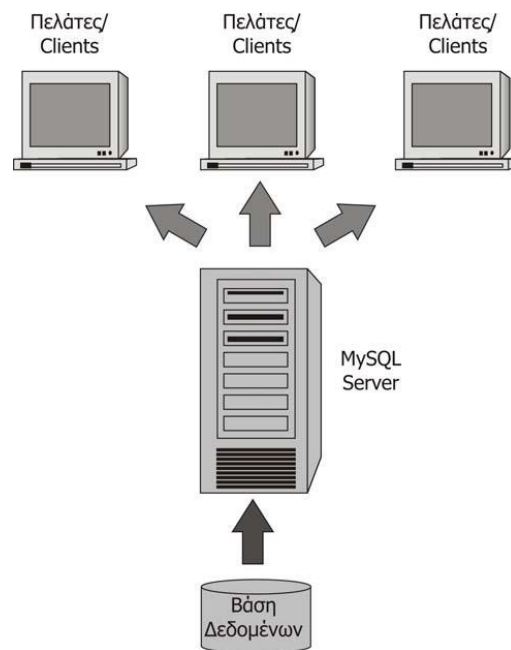
Υπάρχουν πολλές εμπορικές εφαρμογές client για την απλούστερη διαχείριση του MySQL Server, όπως για παράδειγμα το πρόγραμμα MySQL-Front.

Τέτοια προγράμματα μπορούν να βρίσκονται είτε στον ίδιο υπολογιστή με τον MySQL Server είτε σε διαφορετικό υπολογιστή και να επικοινωνούν με αυτόν μέσω διαδικτύου. Στο Σχήμα 3.1 εμφανίζεται σχηματικά η αρχιτεκτονική πελάτη/ διακομιστή που ακολουθεί το σύστημα MySQL.

Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά που καθιστούν το σύστημα MySQL ως ένα από τα δημοφιλέστερα του είδους, είναι η ταχύτητα του, η αξιοπιστία του και η ευκολία που παρέχει στη χρήση του.

Εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό του αποτελεί η ανεξαρτησία του από το είδος του λειτουργικού συστήματος του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Το σύστημα MySQL μπορεί να συνεργαστεί με ένα μεγάλο αριθμό λειτουργικών συστημάτων μερικά από τα οποία είναι τα Apple Macintosh OS X, Linux και Microsoft Windows.

Το σύστημα MySQL συνεργάζεται επίσης άριστα με ένα πλήθος γλωσσών προγραμματισμού όπως οι C++, PHP, Java και Visual Basic .NET μέσω διαφόρων προγραμμάτων διασύνδεσης που έχουν αναπτυχθεί (Kofler, 2004).



**Σχήμα 3.1 :** Αρχιτεκτονική πελάτη/διακομιστή (Deitel, 2002).

### 3.4 Πίνακες και Πρωτεύοντα κλειδιά

Μια σχεσιακή βάση δεδομένων συντίθεται από πίνακες. Μια συγκεκριμένη σειρά του πίνακα ονομάζεται εγγραφή (record) ενώ μια συγκεκριμένη στήλη του πίνακα ονομάζεται πεδίο (field).

Το πρωτεύον κλειδί (primary key) είναι το πεδίο εκείνο του πίνακα που περιέχει μοναδικά δεδομένα ή δεδομένα που δεν εμφανίζονται σε άλλες εγγραφές αυτού του πίνακα. Η ύπαρξη του πρωτεύοντος κλειδιού σ' έναν πίνακα εγγυάται ότι κάθε εγγραφή μπορεί να προσδιοριστεί από μία τουλάχιστον μοναδική τιμή.

Ο σκοπός του πρωτεύοντος κλειδιού είναι να εντοπίζει όσο το δυνατόν ταχύτερα μία συγκεκριμένη εγγραφή σε έναν πίνακα (παραδείγματος χάριν, για να εντοπίσει την εγγραφή με id=314159 από έναν πίνακα εκατομμύριο εγγραφών).

Με τα περισσότερα συστήματα βάσεων δεδομένων, συμπεριλαμβανομένου του MySQL, επιτρέπεται το πρωτεύον κλειδί ενός πίνακα να δημιουργείται από περισσότερα από ένα πεδία του πίνακα. Το πρωτεύον κλειδί ενός πίνακα θα πρέπει να πληρεί της παρακάτω προϋποθέσεις (Kofler, 2004):

- Το πρωτεύον κλειδί θα πρέπει να είναι μοναδικό και κατά συνέπεια δεν επιτρέπεται δύο εγγραφές να έχουν το ίδιο περιεχόμενο στο πεδίο που έχει χαρακτηριστεί ως πρωτεύον κλειδί.
- Το πρωτεύον κλειδί πρέπει να είναι συμπαγές διότι είναι απαραίτητο να διατηρηθεί ένας δείκτης γι' αυτό (ο αρχικός δείκτης) για να μεγιστοποιήσει την ταχύτητα της αναζήτησης (π.χ., για id=314159). Όσο συμπαγέστερο είναι το αρχικό κλειδί, τόσο αποδοτικότερη είναι η διαχείριση αυτού του δείκτη. Επομένως, ένας ακέραιος αριθμός είναι καταλληλότερος από μια ακολουθία χαρακτήρων μεταβλητού μήκους, για χρήση ως πρωτεύον κλειδί.

Στα περισσότερα συστήματα βάσεων δεδομένων, συμπεριλαμβανομένου και του MySQL συνηθίζεται να χρησιμοποιείται ένας ακέραιος αριθμός ως πρωτεύον κλειδί, που παράγεται αυτόματα σε σειρά (1 ..2 ..3 ...) από το σύστημα βάσεων δεδομένων.

Κατά συνέπεια ούτε ο προγραμματιστής ούτε ο χρήστης δεν χρειάζεται να ενδιαφερθεί για τον τρόπο που κάθε νέα εγγραφή θα πρέπει να αντιστοιχίζεται σε μία μοναδική τιμή (Kofler, 2004)

### 3.5 Βασικοί τύποι δεδομένων MySQL

Κατά τη σχεδίαση ενός πίνακα είναι απαραίτητο να οριστεί ο τύπος του κάθε πεδίου. Κάποιο πεδίο μπορεί να δέχεται τιμές ακολουθίας χαρακτήρων (string) όπως για ενώ κάποιο άλλο πεδίο μπορεί να δέχεται ακέραιες τιμές.

Η MySQL διαθέτει ένα μεγάλο αριθμό τύπων δεδομένων, οι βασικότεροι από του οποίους εμφανίζονται και επεξηγούνται στον Πίνακα 3.1.

**Πίνακας 3.1:** Βασικοί τύποι δεδομένων MySQL

| Ονομασία  | Περιοχή Τιμών   | Μέγεθος (bytes) |
|-----------|---|-----------------|
| TINYIT    | Ακέραιος από -128 έως +127                                    | 1 byte          |
| SMALLINT  | Ακέραιος από -32.769 έως +32.767                              | 2 bytes         |
| MEDIUMINT | Ακέραιος από -8.388.608 έως +8.388.607                        | 3 bytes         |
| INT       | Ακέραιος από -2.147.483.648 έως +2.147.483.647                | 4 bytes         |
| BRIGINT   | Ακέραιος $\pm 9.22 \cdot 10^{18}$                             | 8 bytes         |
| FLOAT     | Δεκαδικοί με ακρίβεια 8 θέσεων υποδιαστολής                   | 4 bytes         |
| DOUBLE    | Δεκαδικοί με ακρίβεια 16 θέσεων υποδιαστολής                  | 8 bytes         |
| DATE      | Ημερομηνία με μορφή '2003-12-31' από 1000-01-01 to 9999-12-31 | 3 bytes         |
| TIME      | Ωρα με μορφή '23:59:59' $\pm 838:59:59$                       | 3 bytes         |

|         |   |                      |
|---------|---|----------------------|
| CHAR    | Ακολουθία χαρακτήρων (string) με σταθερό μήκος                | Μέγιστο 255 bytes    |
| VARCHAR | Ακολουθία χαρακτήρων (string) με μεταβλητό μήκος              | Μέγιστο 255 bytes    |
| TEXT    | Ακολουθία χαρακτήρων (string) με μεταβλητό μήκος              | Μέγιστο 65.535 bytes |
| ENUM    | Διαλέγει μία από τις προκαθορισμένες τιμές string (ως 65.535) | 1 ή 2 bytes          |

### 3.6 Περιγραφή της βάσης δεδομένων RMDB (Rock Mechanics DataBase)

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει παρουσίαση της βάσης δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την αποθήκευση των πειραματικών δεδομένων, μετά από την ανάλυση που έχει γίνει σε αυτά.

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την αποθήκευση των πειραματικών δεδομένων στην παρούσα διπλωματική εργασία, RMDB είναι σχεσιακή και γραμμένη στη γλώσσα MySQL. Στην βάση δεδομένων RMDB αποθηκεύονται δεδομένα από τα εξής πειράματα:

- Μονοαξονικής καί τριαξονικής θλίψης (UCTC)
- Έμμεσου εφελκυσμού (Brazilian Test)
- Μικροδιάτρησης (DT)
- Διάτμησης (ST)
- Άμεσου εφελκυσμού (UT)

Στην παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφεται η δομή μόνο για τα πειράματα μονοαξονικής-τριαξονικής θλίψης.

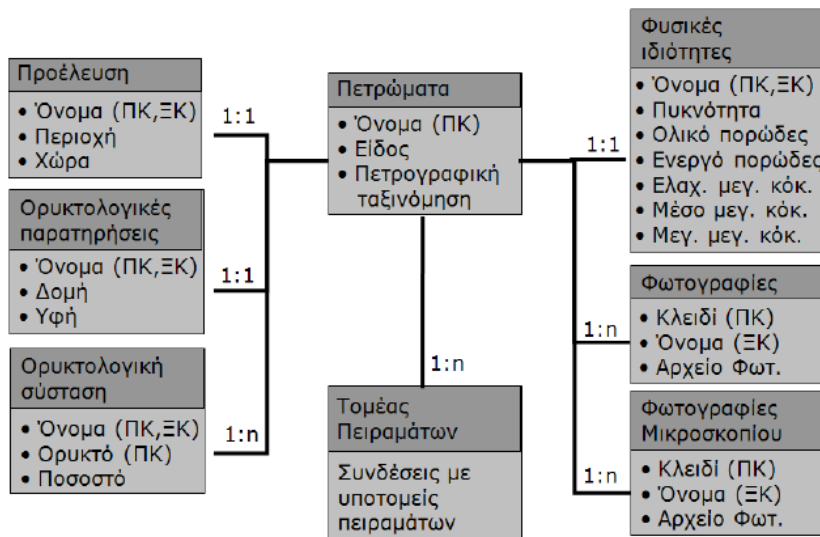
Στην βάση δεδομένων εκτός από τα πειράματα αποθηκεύονται και αναλυτικές πληροφορίες που αφορούν τα πετρώματα τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμές καθώς επίσης και πληροφορίες για τα εργαστήρια που διεξήγαγαν τις πειραματικές δοκιμές.

Έτσι δίδεται η δυνατότητα να συνδυαστούν οι πληροφορίες με αποτέλεσμα την εξαγωγή σύνθετων συμπερασμάτων. Αποτελείται από τρία τμήματα ή τομείς τα οποία

αντιστοιχούν στα δεδομένα για τα πετρώματα, τα πειράματα και τα εργαστήρια (Λιόλιος & Εξαδάκτυλος 2007).

### 3.6.1 Τομέας Πετρωμάτων

Το τμήμα του σχεσιακού διαγράμματος που αφορά στον τομέα των πετρωμάτων φαίνεται στο Σχήμα 3.2. Κάθε πλαίσιο στο Σχήμα 3.2 αντιπροσωπεύει και ένα πίνακα στην βάση. Το όνομα του κάθε πίνακα φαίνεται στην επικεφαλίδα του πλαισίου (σκουρόχρωμη γκρι περιοχή) ενώ κάτω από το κάθε όνομα φαίνεται η λίστα με τις παραμέτρους που αποθηκεύονται στον πίνακα (ανοιχτόχρωμη γκρι περιοχή).



Σχήμα 3.2: Τομέας πετρωμάτων (Λιόλιος,2013)

Ο τομέας των πετρωμάτων αποτελείται από επτά πίνακες. Ο πίνακας Πετρώματα περιέχει απαραίτητες πληροφορίες για τα πετρώματα που αποθηκεύονται στην βάση και θεωρείται ως ο πρωτεύων πίνακας του τομέα.

Οι απαραίτητες πληροφορίες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2, είναι το όνομα του πετρώματος, το είδος του και η πετρογραφική του ταξινόμηση τα οποία δεν μπορούν να είναι κενά όταν εισάγεται ένα νέο πέτρωμα στην βάση.

Το σύμβολο (ΠΚ) δίπλα στο όνομα του πετρώματος δηλώνει ότι η παράμετρος αυτή είναι το Πρωτεύον Κλειδί του πίνακα και προσδιορίζει την κάθε εγγραφή. Το πρωτεύον κλειδί είναι μοναδικό και εξασφαλίζει την μοναδικότητα της εγγραφής που περιέχουν προαιρετικές πληροφορίες σχετικά με το κάθε πέτρωμα.

Οι κατηγοριοποιημένες πληροφορίες που αποθηκεύονται σε κάθε πίνακα φαίνονται στο Σχήμα 3.2. Ο πίνακας Προέλευση αποθηκεύει πληροφορίες για την προέλευση του πετρώματος δηλαδή την περιοχή και την χώρα από την οποία συλλέχθηκε.

Στον πίνακα Ορυκτολογικές παρατηρήσεις αποθηκεύονται με λεπτομερείς περιγραφές σχετικά με την δομή και την υφή του πετρώματος. Επιπλέον, μια λίστα με τα κύρια ορυκτά που απαρτίζουν το πέτρωμα καθώς και τις περιεκτικότητές τους αποθηκεύονται στον πίνακα Ορυκτολογική σύσταση.

Άλλες σημαντικές πληροφορίες αφορούν στις μετρήσεις των φυσικών ιδιοτήτων του πετρώματος που αποθηκεύονται στον αντίστοιχο πίνακα. Η πυκνότητα καθώς και το ολικό και το ενεργό πορώδες αποθηκεύονται σε αυτόν τον πίνακα. Επιπλέον, το ελάχιστο, το μέγιστο και το μέσο μέγεθος κόκκου που αποθηκεύονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της κατανομής των κόκκων υποθέτοντας μια κατάλληλη συνάρτηση πυκνότητας.

Τέλος, στους πίνακες Φωτογραφίες και Φωτογραφίες μικροσκοπίου αποθηκεύονται οι αντίστοιχες φωτογραφίες του πετρώματος.

Μια σημαντική ιδιότητα στον σχεδιασμό της βάσης είναι ότι όταν υπάρχουν διαθέσιμες δευτερεύουσες πληροφορίες για ένα συγκεκριμένο πίνακα (π.χ. πληροφορίες σχετικά με την προέλευση του πετρώματος) τότε θα πρέπει να εισαχθούν όλες οι ιδιότητες στον συγκεκριμένο πίνακα (π.χ. στον πίνακα Προέλευση και η περιοχή και η χώρα προέλευσης πρέπει να εισαχθούν).

Ένα άλλο σημαντικό σύμβολο στο Σχήμα 3.2 είναι το σύμβολο του Ξένου Κλειδιού (ΞΚ) που φαίνεται δίπλα στο όνομα του πετρώματος στους δευτερεύοντες πίνακες. Τα ξένα κλειδιά διασφαλίζουν ότι το όνομα του πετρώματος που εισάγεται σε ένα δευτερεύοντα πίνακα υπάρχει και στον πρωτεύοντα πίνακα.

Αυτό οδηγεί σε μια συσχέτιση μεταξύ του πρωτεύοντα και των δευτερευόντων πινάκων η τάξη της οποίας φαίνεται στην γραμμή σύνδεσης δίπλα σε κάθε δευτερεύοντα πίνακα. Μια σχέση 1 : 1 ή ένα-προς-ένα υποδηλώνει ότι μία εγγραφή στον πρωτεύοντα πίνακα συσχετίζεται με μόνο μία εγγραφή στον δευτερεύοντα πίνακα (π.χ. ένα συγκεκριμένο πέτρωμα έχει μια συγκεκριμένη προέλευση).

Οι σχέσεις 1 : n ή ένα-προς-πολλά επιτρέπουν μια εγγραφή στον πρωτεύοντα πίνακα να συσχετίζεται με πολλές εγγραφές στον δευτερεύοντα πίνακα (π.χ. ένα πέτρωμα μπορεί να περιέχει πολλά ορυκτά). Σε περιπτώσεις σαν την τελευταία μπορεί να παρατηρηθεί ότι υπάρχουν δύο πρωτεύοντα κλειδιά (π.χ. πίνακας Ορυκτολογική σύσταση) τα οποία απαρτίζουν ένα σύνθετο πρωτεύον κλειδί. Αυτό εξασφαλίζει ότι μόνο ο συνδυασμός αυτών των δύο παραμέτρων πρέπει να είναι μοναδικός στον πίνακα (π.χ. στον πίνακα Ορυκτολογική σύσταση ένα συγκεκριμένο ορυκτό σε ένα συγκεκριμένο πέτρωμα μπορεί να καταχωρηθεί μόνο μια φορά).

Επιπλέον, υπάρχουν περιπτώσεις όπως ο πίνακας Φωτογραφίες όπου το πρωτεύον κλειδί επιλέγεται να δημιουργείται αυτόματα από το σύστημα.

Ο τομέας των πετρωμάτων συνδέεται με την υπόλοιπη βάση μέσω του τομέα των πειραμάτων με σχέση ένα-προς-πολλά. Στο Σχήμα 3.2 φαίνεται ότι υπάρχει μόνο μια γραμμή συσχέτισης με τον τομέα των πειραμάτων όμως στην πραγματικότητα υπάρχουν πέντε γραμμές συσχέτισης όσα είναι δηλαδή και τα είδη των πειραμάτων που αποθηκεύονται(Λιόλιος,2013).

### **3.6.2 Τομέας πειραμάτων**

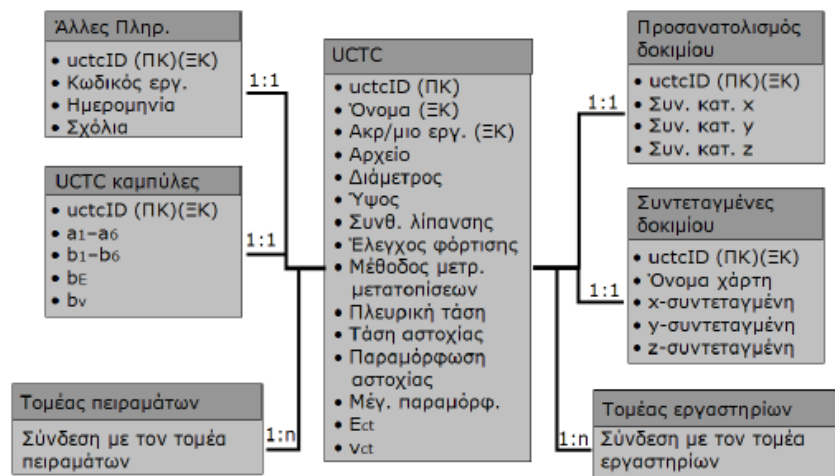
Ο τομέας των πειραμάτων χωρίζεται σε πέντε υποτομείς όσα δηλαδή και τα πειράματα που αποθηκεύονται στην βάση. Εδώ θα παρουσιασθεί μόνο ο τομέας που αφορά στα πειράματα μονοαξονικής-τριαξονικής θλίψης και σημειώνεται ότι οι υπόλοιποι τομείς έχουν ανάλογη μορφή.

Στα πειράματα μονοαξονικής-τριαξονικής θλίψης τα δεδομένα αποθηκεύονται σε πέντε πίνακες όπως φαίνεται στο τμήμα του σχεσιακού διαγράμματος του Σχήμα 3.3. Η λογική που ακολουθείται είναι παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε και για τον τομέα των πετρωμάτων.



Ο πρωτεύον πίνακας αποθηκεύει απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με το πείραμα ενώ υπάρχει και ένας αριθμός από συσχετισμένους δευτερεύοντες πίνακες που αποθηκεύουν προαιρετικές πληροφορίες με έλεγχο της τάσης ή της μετατόπισης. Ακόμη αποθηκεύεται η μέθοδος με την οποία έγινε η μέτρηση των μετατοπίσεων.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα του πειράματος, αποθηκεύονται η τάση αστοχίας, η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην τάση αστοχίας, η μέγιστη παραμόρφωση που επιτεύχθηκε, η πλευρική ή ακτινική τάση και οι ασυμπτωτικές τιμές του μέτρου ελαστικότητας και του λόγου του Poisson.



**Σχήμα 3.3:** Υποτομέας πειραμάτων μονοαξονικής-τριαξονικής θλίψης ( Πηγή:Λίολιος, 2012)

Η σχέση του πρωτεύοντα πίνακα με τους δευτερεύοντες πίνακες σε όλες τις περιπτώσεις είναι ένα-προς-ένα, ενώ η σχέση του με τον τομέα των πετρωμάτων και των εργαστηρίων είναι πολλά-προς-ένα καθώς ένα πέτρωμα ή ένα εργαστήριο μπορεί να σχετίζεται με πολλά πειράματα του ίδιου τύπου.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω του διαχωρισμού του τομέα των πειραμάτων σε υποτομείς, είναι σχετικά εύκολο να εισαχθούν και νέοι τύπου πειραμάτων στην βάση. Ένας νέος υποτομέας για κάποιο πείραμα (π.χ. δοκιμή κάμψης τριών σημείων) θα είναι

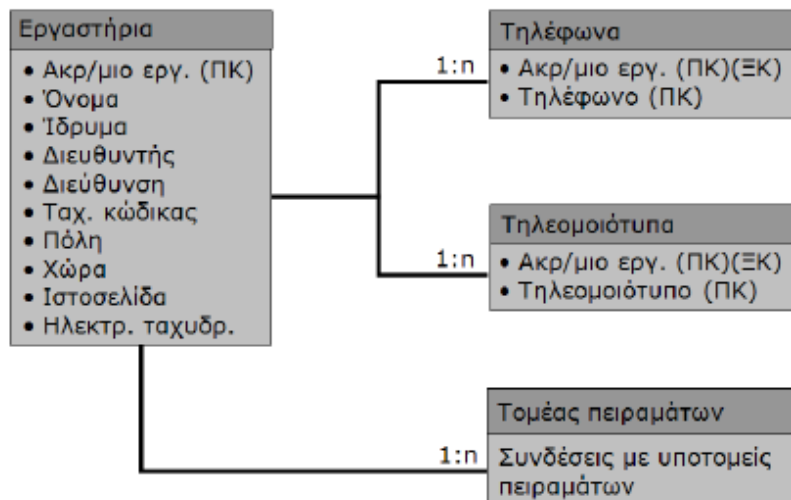
μία ομάδα πινάκων παρόμοια με αυτήν που περιγράφηκε η οποία θα προσαρτηθεί στο σύστημα πινάκων της βάσης (Λίολιος,2013).

### 3.6.3 Τομέας εργαστηρίων

Ο τομέας των εργαστηρίων είναι πολύ πιο απλός σε σχέση με τους άλλους τομείς. Το τμήμα του σχεσιακού διαγράμματος που αντιστοιχεί στον τομέα αυτόν φαίνεται στο Σχήμα 3.4. Ο τομέας αποτελείται από τον πρωτεύοντα πίνακα Εργαστήρια που περιέχει πληροφορίες σχετικά με τα εργαστήρια και από δύο δευτερεύοντες πίνακες που αποθηκεύουν τα τηλέφωνα και τα τηλεομοιότυπα (fax) των εργαστηρίων.

Στον πίνακα Εργαστήρια αποθηκεύεται το ακρωνύμιο του εργαστηρίου που αποτελεί το πρωτεύον κλειδί και χρησιμοποιείται ως ξένο κλειδί στους υποτομείς των πειραμάτων. Εν συνεχεία αποθηκεύονται το πλήρες όνομα του εργαστηρίου, το ίδρυμα που ανήκει, την διεύθυνση κλπ.

Η σχέση του πρωτεύοντα πίνακα με τους δευτερεύοντες είναι ένα-προς-πολλά με σκοπό να μπορούν να αποθηκεύουν περισσότερα του ενός τηλέφωνα ή τηλεομοιότυπα ανά εργαστήριο (Λίολιος,2013).



Σχήμα 3.4: Τομέας εργαστηρίων (Πηγή: Λίολιος, 2013).

## **4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΥΡΕΣΗΣ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗ ΒΑΣΗ RMDB**

Για την εύρεση, επεξεργασία και αποθήκευση των πειραματικών δεδομένων αναπτύχθηκε μεθοδολογία η οποία αποτελείται από διακριτά επίπεδα επεξεργασίας. Στην RMDB αποθηκεύονται μόνο τα δύο πρώτα επίπεδα ανάλυσης τα οποία αποτελούν και την βασική ανάλυση που γίνεται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Το πρώτο επίπεδο επεξεργασίας περιλαμβάνει τα μη επεξεργασμένα δεδομένα, την γεωμετρία του δοκιμίου, την πειραματική διάταξη και την πειραματική διαδικασία. Στο αμέσως επόμενο επίπεδο γίνεται επεξεργασία των πειραματικών καμπυλών, οι οποίες έχουν προκύψει από την ψηφιακή επεξεργασία διαγραμμάτων ερευνητικών δημοσιεύσεων για πειράματα μονοαξονικής -τριαξονικής θλίψης, και εξάγονται οι βασικές μηχανικές ιδιότητες των δοκιμίων όπως το μέτρο ελαστικότητας(E) και ο λόγος Poisson ( $\nu$ ). Λόγω της ομοιότητας των πειραμάτων ανεμπόδιστης θλίψης και συμβατικής τριαξονικής θλίψης, οι δύο κατηγορίες πειραμάτων επεξεργάζονται και αποθηκεύονται στη βάση με ακριβώς τον ίδιο τρόπο.

### **4.1 Εύρεση πειραματικών δεδομένων**

Έπειτα από εκτενή αναζήτηση ερευνητικών μελετών (δημοσιεύσεις) της Βραχομηχανικής που διεξήχθησαν τα τελευταία χρόνια, επιλέχθηκαν οι παρακάτω τρεις δημοσιεύσεις.

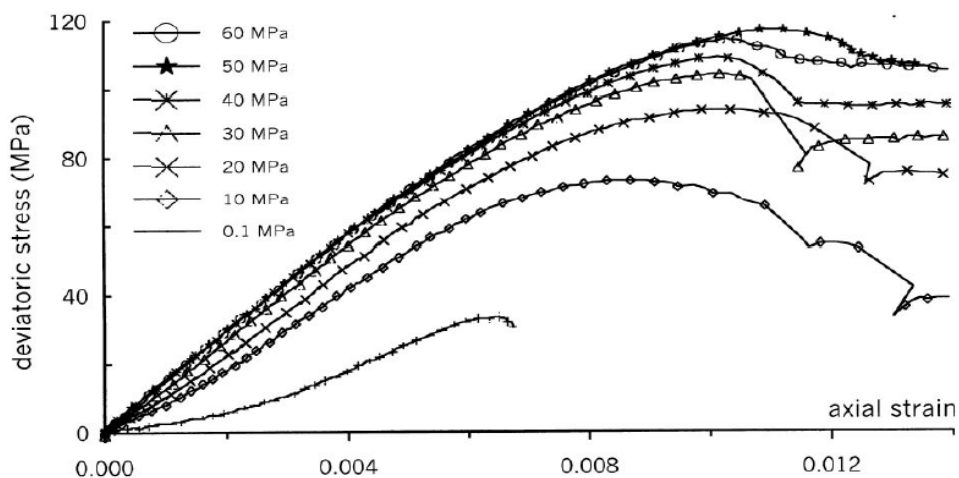
- Diyuan Li., Charlie C.,(2009), «Influence of Sample Height-to-Width Ratios on Failure Mode for Rectangular Prism Samples of Hard Rock Loaded In Uniaxial Compression »
- P. Be  suelle,J. Desrues,S. Raynaud,(2000), « Experimental characterisation of the localisation phenomenon inside a Vosges sandstone in a triaxial cell »
- Javier Arzua., LeandroR.Alejano., (2013), «Dilation in granite during servo-controlled triaxial strength tests »

Οι δημοσιεύσεις που επιλέχθηκαν στην παρούσα εργασία αφορούν πειράματα μονοαξονικής και τριαξονικής θλίψης. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την πειραματική μελέτη από τους εκάστοτε ερευνητές επεξεργάστηκαν όπως θα αναλυθεί παρακάτω με σκοπό να εισαχθούν στην βάση δεδομένων RMDB εξυπηρετώντας στον περαιτέρω εμπλουτισμό της.

Σκοπός αυτής της διαδικασίας, πέραν του εμπλουτισμού των δεδομένων της βάσης RMDB, η άμεση και γρήγορη εύρεσή τους από οποιονδήποτε επιθυμεί να χρησιμοποιήσει τις πληροφορίες που σχετίζονται με τις μηχανικές ιδιότητες διαφόρων τύπων πετρωμάτων.

#### 4.2 Επεξεργασία πειραματικών δεδομένων

Βάσει των πειραμάτων τριαξονικής θλίψης σε ψαμμίτη από τα Βόσγια όρη της Γαλλίας που διεξήγαγαν οι ερευνητές Beasuelle και Desrues το 2000 προέκυψε η καμπύλη διαφορικής τάσης παραμόρφωσης που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.1.



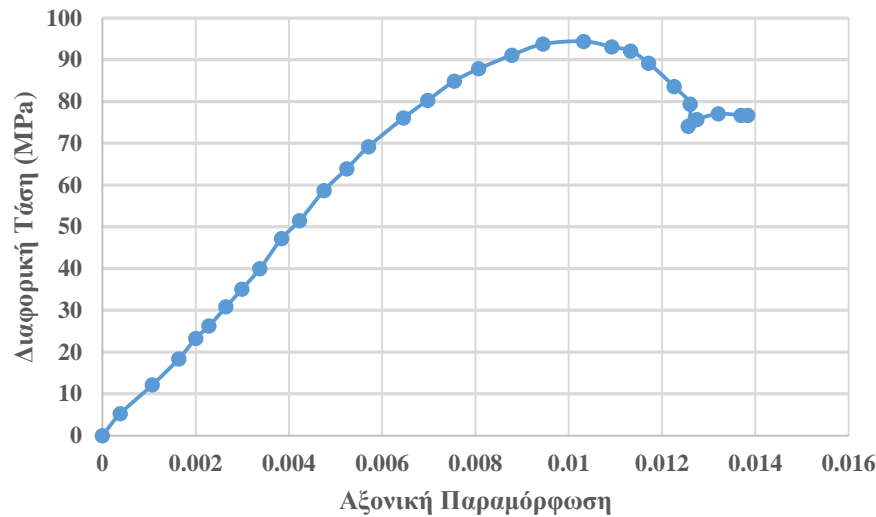
**Σχήμα 4.1:** Καμπύλη διαφορικής τάσης- παραμόρφωσης (Beasuelle & Desrues, 2000)

Το πρώτο στάδιο της επεξεργασίας είναι η ψηφιοποίηση του διαγράμματος διαφορικής τάσης- παραμόρφωσης που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.1. Το διάγραμμα ψηφιοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab, με τη χρήση κατάλληλου κώδικα που δημιουργήθηκε, οποίος χρησιμοποιείται για την εξαγωγή δεδομένων.

Για κάθε μία από τις πλευρικές τάσεις το διάγραμμα ψηφιοποιήθηκε ξεχωριστά, προκειμένου να βρεθούν με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια τα σημεία από τα οποία προέκυψε η συγκεκριμένη καμπύλη.

Ο συγκεκριμένος κώδικας που χρησιμοποιείτε στο Matlab, δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να προβάλει τα δεδομένα (x,y) στο Microsoft Excel με σκοπό να αναπαράγει τα διαγράμματα. Ενδεικτικά στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται το ψηφιοποιημένο διάγραμμα για πλευρική τάση 20MPa.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για κάθε μία από τις πλευρικές τάσεις που ασκήθηκαν κατά την διεξαγωγή του πειράματος (0.1-60 MPa).



**Σχήμα 4.2:** Διάγραμμα διαφορικής τάσης-αξονικής παραμόρφωσης για πλευρική τάση 20MPa.

Το μέγεθος κατά το οποίο, το αξονικό φορτίο αποκλίνει από την πλευρική πίεση αναφέρεται ως διαφορική ή αποκλίνουσα (deviatoric stress) τάση και υπολογίζεται ως η διαφορά της αξονικής τάσης με την πλευρική πίεση σύμφωνα με τον τύπο:

$$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3 \quad [4.1]$$

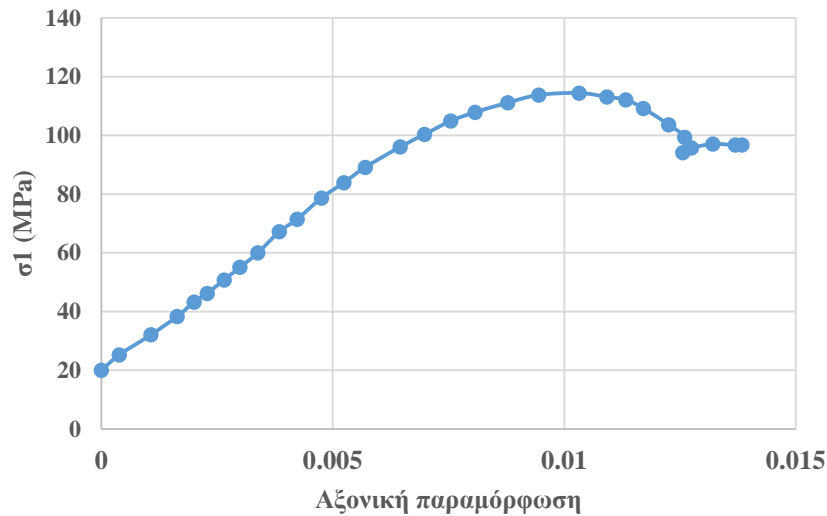
Όπου

$\sigma_1$ : αξονική τάση (MPa)

$\sigma_3$ : πλευρική τάση (MPa)

$\sigma_d$  : διαφορική τάση (MPa)

Βάσει της σχέσης 4.1 υπολογίζεται η αξονική τάση  $\sigma_1$  και κατασκευάζεται το διάγραμμα τάσης- παραμόρφωσης που προκύπτει από τα δεδομένα του διαγράμματος που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.3.



**Σχήμα 4.3:** Διάγραμμα αξονικής τάσης- αξονικής παραμόρφωσης για πλευρική τάση 20MPa

Το δεύτερο στάδιο επεξεργασίας είναι η ψηφιοποίηση του διαγράμματος ογκομετρικής παραμόρφωσης – αξονικής παραμόρφωσης από την έρευνα των Beasuelle & Desrues που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.4.

Το συγκεκριμένο διάγραμμα κατασκευάστηκε από τους ερευνητές για να είναι εύκολες προς υπολογισμό οι ακτινικές παραμορφώσεις. Επειδή τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο πείραμα είναι κυλινδρικά βάσει της Σχέσης 4.2

$$\varepsilon_v = \varepsilon_a - 2\varepsilon_r \quad [4.2]$$

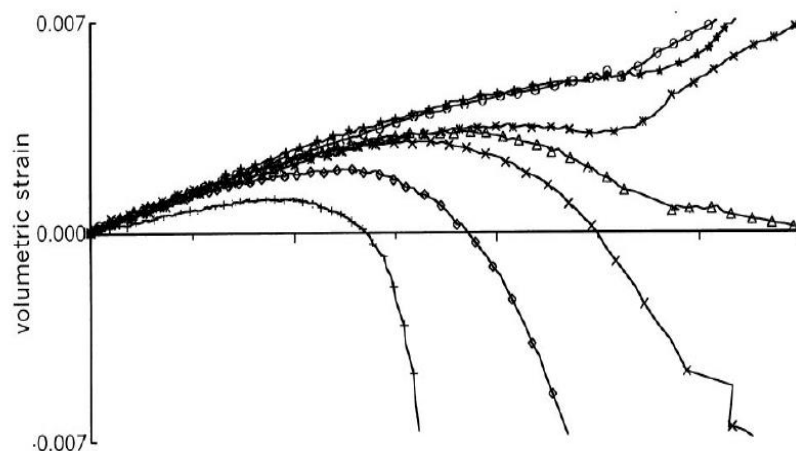
Όπου

$\varepsilon_v$ : ογκομετρική παραμόρφωση

$\varepsilon_a$ : αξονική παραμόρφωση

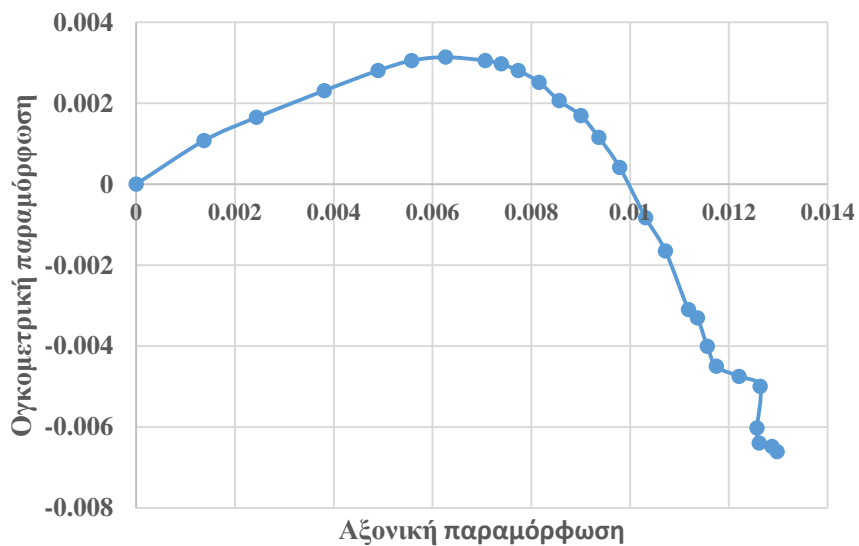
$\varepsilon_r$ : ακτινική παραμόρφωση

Όπως και στο πρώτο στάδιο η ψηφιοποίηση και η εξαγωγή των δεδομένων έγινε με τη χρήση κατάλληλου κώδικα σε περιβάλλον Matlab.



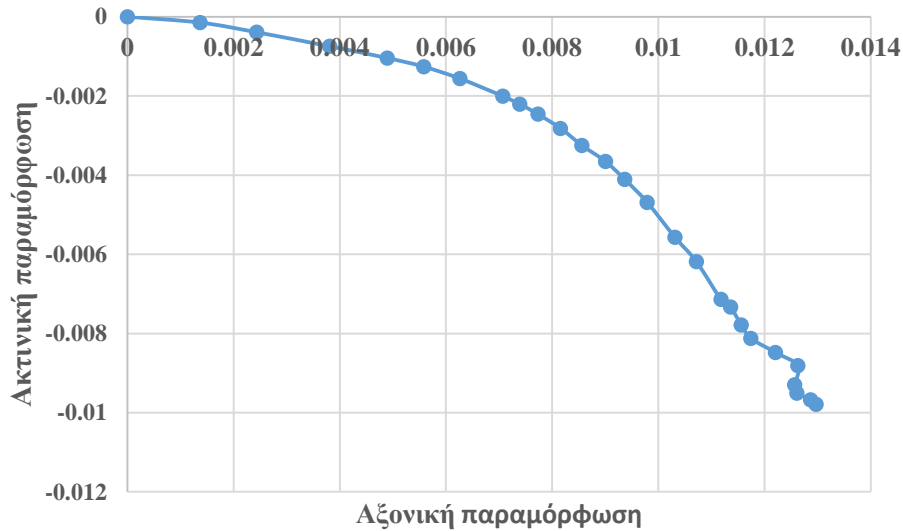
**Σχήμα 4.4:** Διάγραμμα ογκομετρικής παραμόρφωσης-αξονικής παραμόρφωσης  
(Beasuelle & Desrues, 2000)

Με την χρήση του Microsoft Excel και από τα δεδομένα που προέκυψαν από την ψηφιοποίηση, κατασκευάστηκε η καμπύλη ογκομετρικής παραμόρφωσης-αξονικής παραμόρφωσης όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5.



**Σχήμα 4.5:** Διάγραμμα ογκομετρικής παραμόρφωσης- αξονικής παραμόρφωσης για  
πλευρική τάση 20 MPa

Από την Σχέση 4.2 υπολογίστηκαν οι ακτινικές παραμορφώσεις και στην συνέχεια κατασκευάστηκε το διάγραμμα ακτινικής παραμόρφωσης-αξονικής παραμόρφωσης.



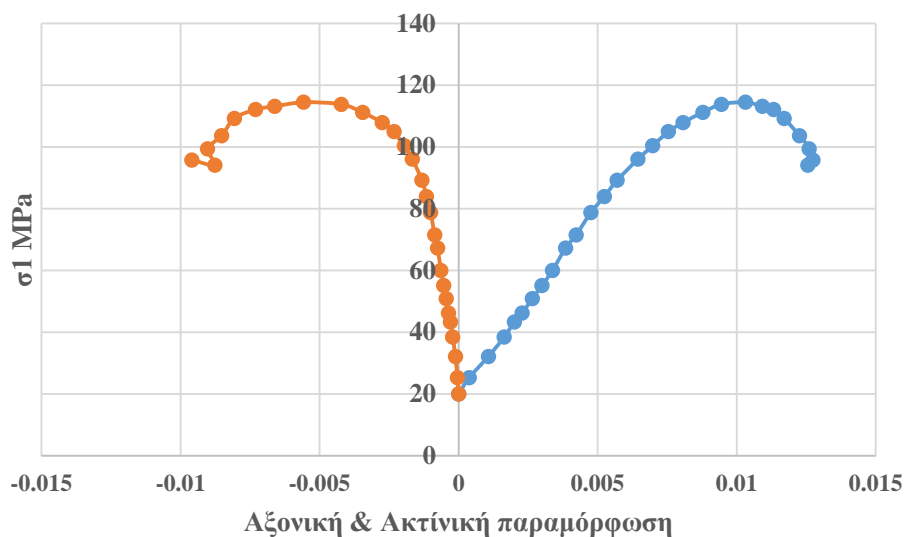
**Σχήμα 4.6:** Διάγραμμα ακτινικής παραμόρφωσης – αξονικής παραμόρφωσης για πλευρική τάση 20MPa

Στην συνέχεια θα κάνουμε χρήση της γραμμικής παρεμβολής για να υπολογίσουμε τις τιμές της ακτινικής παραμόρφωσης που αντιστοιχούν στις τιμές της αξονικής παραμόρφωσης του σχήματος 4.3. Αυτό συμβαίνει διότι τα δύο διαγράμματα δεν ψηφιοποιήθηκαν ταυτόχρονα με αποτέλεσμα να μην έχουν ακριβή αντιστοιχία στις τιμές. Ο τύπος της γραμμικής παρεμβολής δίδεται παρακάτω:

$$y(x) = f(x_1) + \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} (x - x_1) \quad [4.3]$$

Ύστερα και από την εφαρμογή της Σχέσης 4.3 πλέον με τα δεδομένα που έχουμε μπορούμε να κατασκευάσουμε τα διαγράμματα τάσης – παραμόρφωσης και να υπολογίσουμε το συντελεστή παραμορφωσιμότητας ( $E'$ ) και το λόγο Poisson ( $\nu$ ) (βλέπε Κεφάλαιο 2).





**Σχήμα 4.7:** Διάγραμμα τάσης- παραμόρφωσης σε τριαξονικές συνθήκες και ύστερα από την χρήση της γραμμικής παρεμβολής.

Από το Σχήμα 4.6 γίνεται αντιληπτό πως εκτελέστηκε σωστά η διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής καθώς όσα σημεία έχουμε στις θετικές τιμές του άξονα των  $x$ , τόσα σημεία έχουμε και στις αρνητικές τιμές του άξονα των  $x$ . Οι τιμές στον άξονα των  $Ox$  αντιστοιχούν στις παραμορφώσεις (αξονική, ακτινική). Στο Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι ελαστικές σταθερές για τον ψαμμίτη, με την επιβολή πλευρικής τάσης 20 MPa. Οι υπολογισμοί έγιναν με τις σχέσεις που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2.

**Πίνακας 4.1:** Τιμές του μέτρου ελαστικότητας ( $E$ ), του λόγου Poisson ( $\nu$ ), της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ( $\sigma_c$ ), της πλευρικής τάσης ( $\sigma_3$ ).

| Συντελεστής<br>Παραμορφωσιμότητας,<br>$E'$ (GPa) | Λόγος<br>Poisson, $\nu$ | Αντοχή σε θλίψη,<br>$\sigma_c$ (MPa) | Πλευρική<br>τάση,<br>$\sigma_3$ (MPa) |
|--|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 12.3   | 0.24                    | 114.4                                | 20                                    |

#### 4.2.1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για διαφορετικές πλευρικές τάσεις και συσχετίσεις

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται συγκεντρωμένα όλα τα δεδομένα που προέκυψαν μετά από την ψηφιοποίηση των διαγραμμάτων τάσης – παραμόρφωσης και ογκομετρικής παραμόρφωσης – αξονικής παραμόρφωσης από την έρευνα των Beasuelle και Desrues (2000).

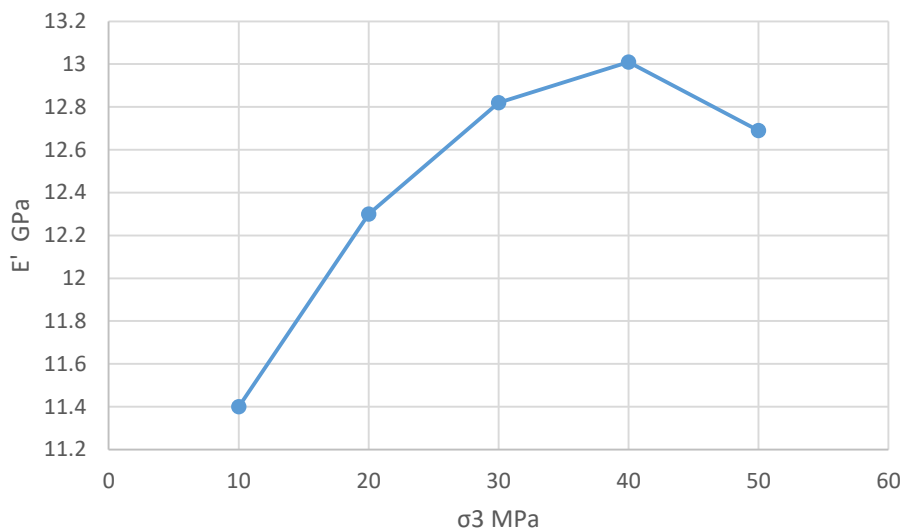
Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.2 έχουμε την δυνατότητα να εξάγουμε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα για την συμπεριφορά του υλικού.

Ένα από αυτά είναι πως το μέτρο παραμορφωσιμότητας ( $E'$ ) και ο λόγος Poisson ( $\nu$ ) του υλικού δεν εξαρτώνται από τις τάσεις που του ασκούνται αλλά μόνο από τις φυσικές ιδιότητες του ίδιου.

Ένα αναμενόμενο συμπέρασμα είναι πως με την επιβολή πλευρικών τάσεων αυξάνεται η αντοχή του σε μονοαξονική θλίψη.

**Πίνακας 4.2:** Αποτελέσματα μετά από την ψηφιοποίηση της μελέτης των Beasuelle & Desrues

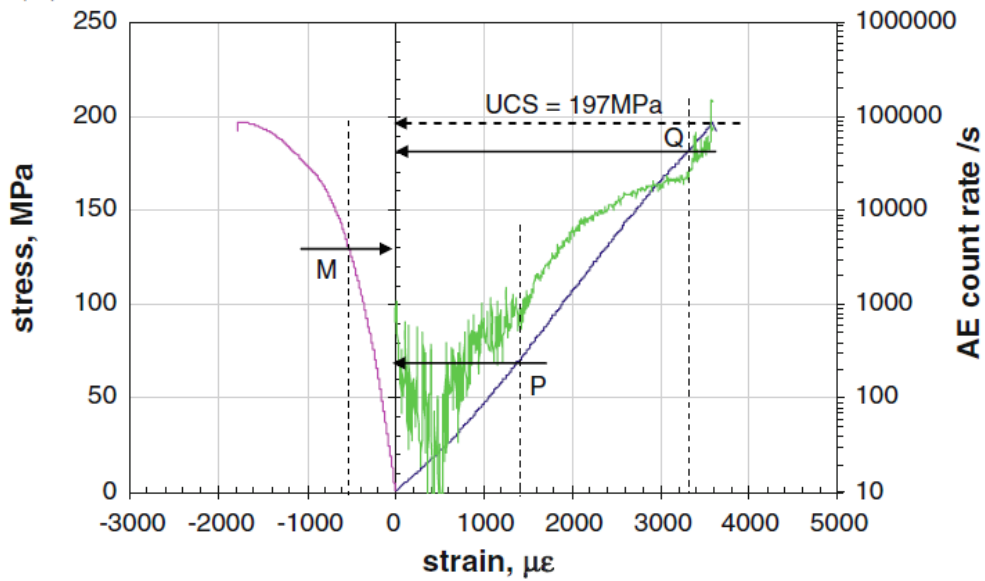
| Συντελεστής<br>Παραμορφωσιμότητας,<br>$E'$ (GPa) | Λόγος<br>Poisson, $\nu$ | Αντοχή σε<br>θλίψη, $\sigma_c$ (MPa) | Πλευρική<br>τάση,<br>$\sigma_3$ (MPa) |
|--|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 11.40  | 0.31                    | 84.5                                 | 10                                    |
| 12.82  | 0.27                    | 116.7                                | 30                                    |
| 13.01  | 0.26                    | 136.3                                | 40                                    |
| 12.69  | 0.22                    | 167.7                                | 50                                    |



**Σχήμα 4.8:** Εξάρτηση του συντελεστή παραμορφωσιμότητας ( $E'$ ) από τη πλευρική τάση  $\sigma_3$  (MPa).

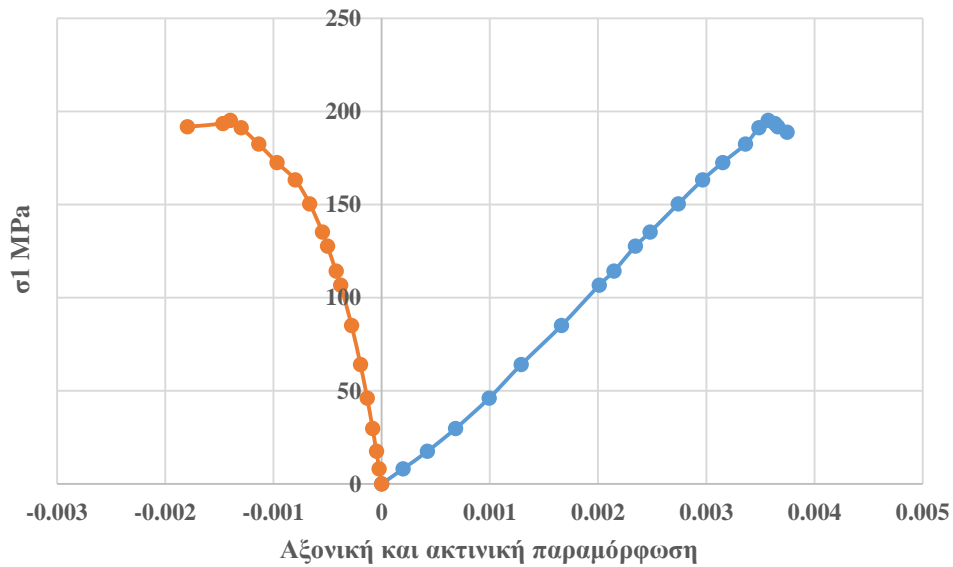
#### **4.2.2 Επεξεργασία πειραματικών καμπυλών σε Γρανίτη από τη Νορβηγία**

Όπως φαίνεται παραπάνω έχει αναπτυχθεί κατάλληλη μεθοδολογία για την ψηφιοποίηση και την εξαγωγή δεδομένων, για πειράματα μονοαξονικής και τριαξονικής θλίψης από υπάρχουσες επιστημονικές έρευνες. Σε αυτήν την υποενότητα θα ακολουθηθεί η ίδια μεθοδολογία για την εξαγωγή δεδομένων από τα πειράματα μονοαξονικής θλίψης των Diyuang και Charlie το 2009 σε γρανίτη προερχόμενο από τη Νορβηγία. Στο σχήμα 4.8 φαίνεται το διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης όπως παρουσιάζεται στην επιστημονική έρευνα.



**Σχήμα 4.9:** Διάγραμμα τάσης- παραμόρφωσης (Diyuan & Charlie, 2009).

Ακολουθώντας τα βήματα της μεθοδολογίας προκύπτει το ψηφιοποιημένο διάγραμμα όπως φαίνεται παρακάτω, στο Σχήμα 4.8.



**Σχήμα 4.10:** Ψηφιοποιημένο διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης

Σε αυτό το στάδιο και εφόσον έχει γίνει ψηφιοποίηση του διαγράμματος με την χρήση των σχέσεων ( βλέπε Κεφάλαιο 2), μπορεί να γίνει υπολογισμός των ελαστικών

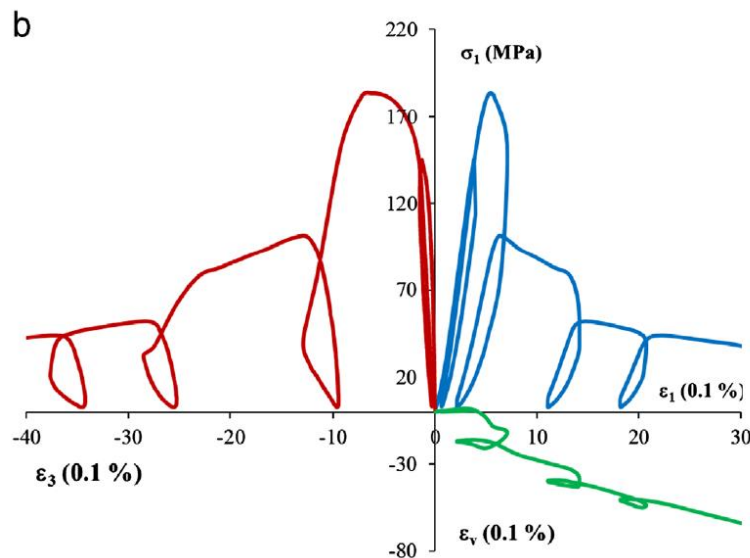
σταθερών για το συγκεκριμένο δείγμα γρανίτη. Παρακάτω στον Πίνακα 4.3 θα παρατεθούν συγκεντρωτικά αποτελέσματα.

**Πίνακας 4.3:** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα γρανίτη από Νορβηγία

| Αντοχή σε<br>μονοαξονική θλίψη<br>$\sigma_c$ (MPa) | Συντελεστής<br>Παραμορφωσιμότητας,<br>$E'$ (GPa) | Λόγος Poisson, $\nu$ |
|--|--|----------------------|
| 197  | 56.8   | 0.29                 |

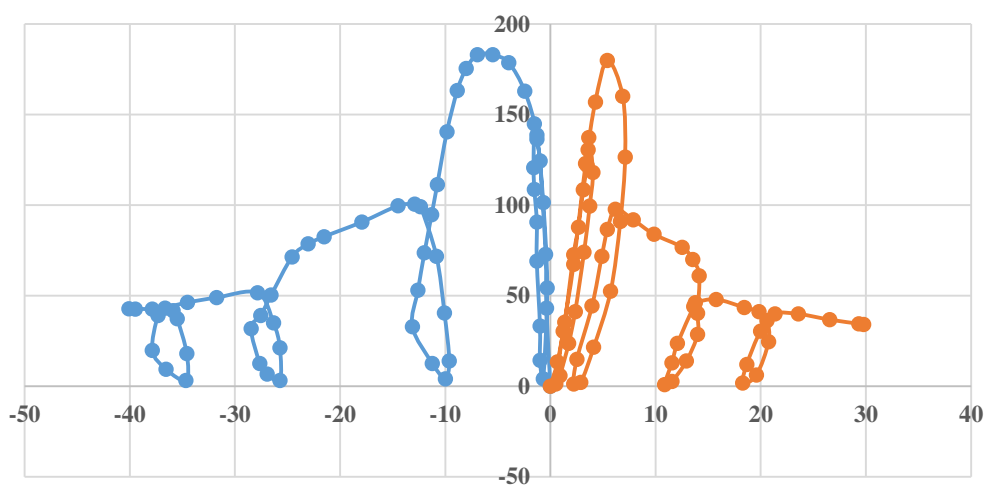
#### 4.2.3 Επεξεργασία πειραματικών καμπυλών γρανίτη *BLANCO MERA*

Σε αυτή την υποενότητα θα ακολουθηθεί η μεθοδολογία η οποία έχει αναπτυχθεί για τη ψηφιοποίηση της πειραματικής καμπύλης τριαξονικής φόρτισης και αποφόρτισης από την έρευνα των Javier Arzua και LeandroR.Alejano το 2013 σε γρανίτη από την Ισπανία. Στο σχήμα παρακάτω φαίνεται η πειραματική καμπύλη όπως δημοσιεύθηκε.



**Σχήμα 4.11:** Διάγραμμα κύκλων φόρτισης- αποφόρτισης σε πείραμα τριαξονικής θλίψης ( Javier Arzua & LeandroR.Alejano)

Ακολουθώντας τα βήματα της μεθοδολογία παρατείνεται παρακάτω το ψηφιοποιημένο διάγραμμα στο Σχήμα 4.12.



*Σχήμα 4.12: Ψηφιοποιημένο διάγραμμα τριαξονικής φόρτισης και αποφόρτισης.*

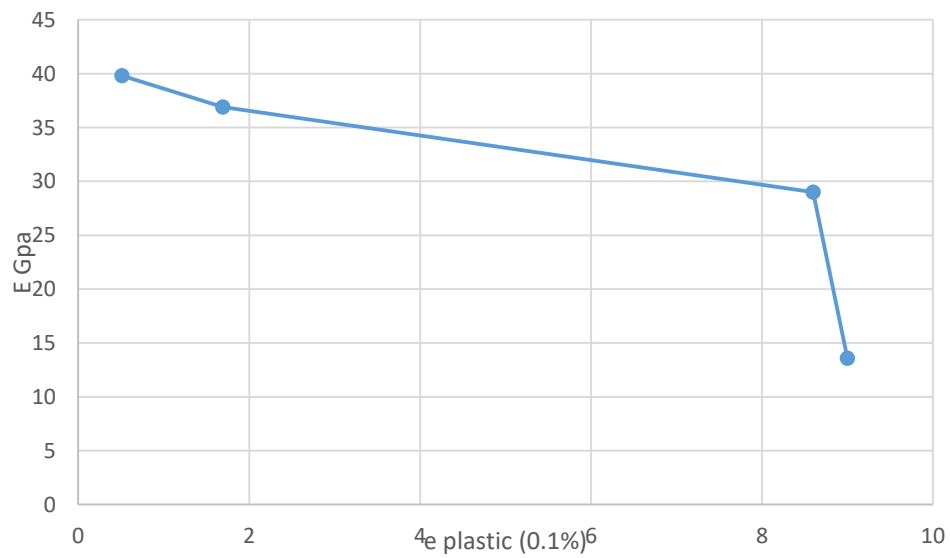
Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ογκική παραμόρφωση συναρτήσει της τάσης σύμφωνα με την κάτωθι σχέση :

$$\varepsilon_v = (2\varepsilon_r + \varepsilon_a) \quad [4.4]$$

Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση των δεδομένων με σκοπό να ευρεθούν τα μέτρα ελαστικότητας ( $E$ ) για κάθε κύκλο φόρτισης και να δημιουργηθεί ένα διάγραμμα που θα απεικονίζει το μέτρο ελαστικότητας σε σχέση με την πλαστική παραμόρφωση που έχει υποστεί το δοκίμιο. Αυτή η διαδικασία θα οδηγήσει σε σημαντικά συμπεράσματα για την συμπεριφορά του υλικού σε συνθήκες τριαξονικής φόρτισης και αποφόρτισης.

**Πίνακας 4.3: Εξάρτηση του εφαπτομενικού μέτρου ελαστικότητας από την αξονική πλαστική παραμόρφωση.**

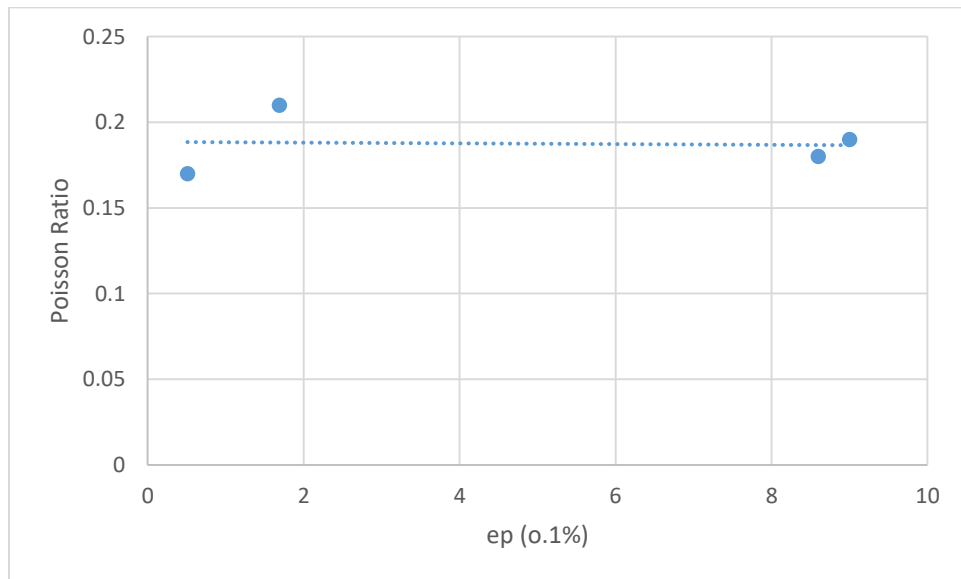
| Κύκλος         | Αξονική πλαστική παραμόρφωση | $E_t$ (GPa) |
|----------------|------------------------------|-------------|
| 1 <sup>η</sup> | 0.51 (0.1%)                  | 39          |
| 2 <sup>η</sup> | 1.69 (0.1%)                  | 37          |
| 3 <sup>η</sup> | 8.6 (0.1%)                   | 29          |
| 4 <sup>η</sup> | 9 (0.1%)                     | 15          |



**Σχήμα 4.13: Διάγραμμα μέτρου ελαστικότητας- πλαστική παραμόρφωση.**

Το παραπάνω διάγραμμα εξάρτησης του  $E$  από την αξονική πλαστική παραμόρφωση δείχνει ότι το πέτρωμα παρουσιάζει φθορά με τη μορφή μικρό-ρωγμών που υποβαθμίζουν το μέτρο ελαστικότητας. Σύμφωνα με τη θεωρία Φθοράς το μέτρο ελαστικότητας υποβαθμίζεται με μια σχέση της μορφής όπου  $D$  συμβολίζει τη φθορά που είναι καθαρός αριθμός και κυμαίνεται από 0 (καθόλου φθορά) έως 1 (καμία συνοχή του πετρώματος)

$$E_m = E (1 - D) \quad [4.5]$$



**Σχήμα 4.14 :** Διάγραμμα λόγου Poisson-πλαστική παραμόρφωση.

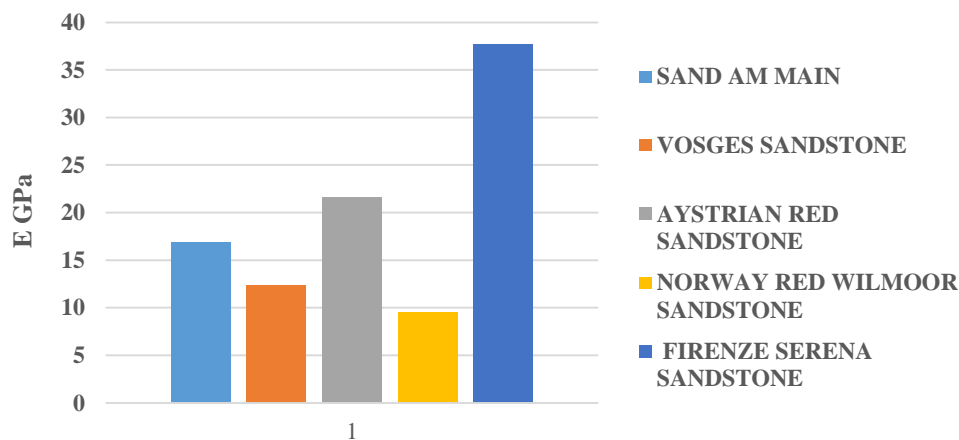
Από το παραπάνω διάγραμμα (Σχήμα 4.14) συμπεραίνουμε πως ο λόγος Poisson δεν εξαρτάται από τη φθορά που έχει υποστεί το πέτρωμα, καθώς έχουμε πολύ κοντινές τιμές σε κάθε κύκλο φόρτισης και αποφόρτισης.



#### 4.2.4 Συσχετίσεις από τη βάση RMDB

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία μας δίνει την δυνατότητα να εξάγουμε διάφορα δεδομένα για τα πειράματα της μονοαξονικής και της τριαξονικής θλίψης. Σε αυτό το στάδιο για επαλήθευση, θα ήταν σκόπιμο να συγκρίνουμε και να συσχετίσουμε τα αποτελέσματα με υπάρχοντα αποθηκευμένα αποτελέσματα τα οποία υπάρχουν ήδη στη βάση RMDB. Επίσης με αυτόν τον τρόπο θα γίνει κατανοητό το πόσο χρήσιμη μπορεί να είναι μια βάση δεδομένων.

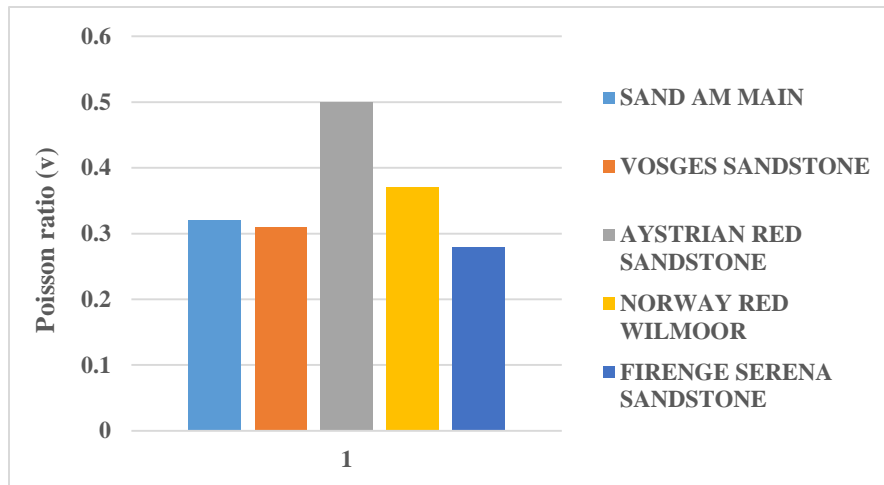
Αρχικά κατασκευάστηκε ένα ραβδόγραμμα, Σχήμα 4.13 το οποίο απεικονίζει το μέτρο ελαστικότητας (E) ,ψαμμιτών από διάφορες περιοχές με πλευρική τάση 20 MPa.Το ραβδόγραμμα περιέχει και το ψαμμίτη από τα Βόσγια για να διαπιστωθεί εάν το μέτρο ελαστικότητας που υπολογίστηκε κατόπιν της ψηφιοποίησης, έτσι ώστε να γίνει κατανοητό αν οι υπολογισμοί συνάδουν με την συμπεριφορά του συγκεκριμένου υλικού.



**Σχήμα 4.15:** Ραβδόγραμμα που απεικονίζει το μέτρο ελαστικότητας για ψαμμίτες από διάφορες περιοχές του πλανήτη.

Τα δεδομένα για τους ψαμμίτες από τις διάφορες περιοχές λήφθηκαν από τη βάση RMDB. Με πορτοκαλί χρώμα απεικονίζεται ο ψαμμίτης από τα Βόσγια Όρη και είναι ευδιάκριτο πως η τιμή του μέτρου ελαστικότητας δεν έχει μεγάλες διαφοροποιήσεις από παρόμοιους ψαμμίτες οι οποίοι υπήρχαν στην βάση δεδομένων. Αυτό είναι μία πρώτη ένδειξη πως η μεθοδολογία αλλά και η ψηφιακή επεξεργασία είναι σωστές.

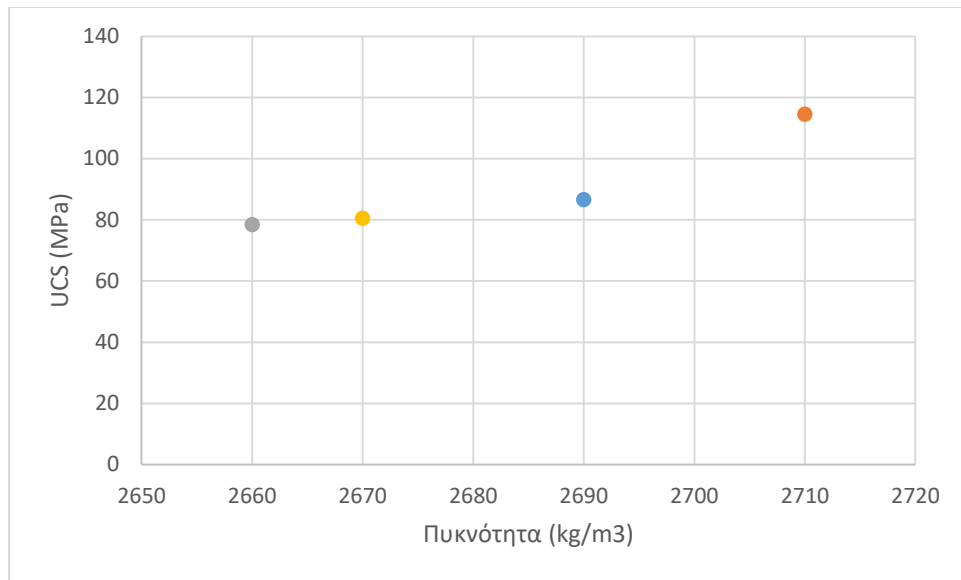
Στην συνέχεια κατασκευάστηκε ραβδόγραμμα που απεικονίζει τον λόγο Poisson ( $\nu$ ) για ψαμμίτες από διάφορες περιοχές με πλευρική πίεση 20 MPa, τραβώντας δεδομένα από την βάση RMDB καθώς και από την ψηφιοποιημένη εργασία των Beasuelle & Desrues.



**Σχήμα 4.16:** Ραβδόγραμμα που απεικονίζει των λόγο Poisson.

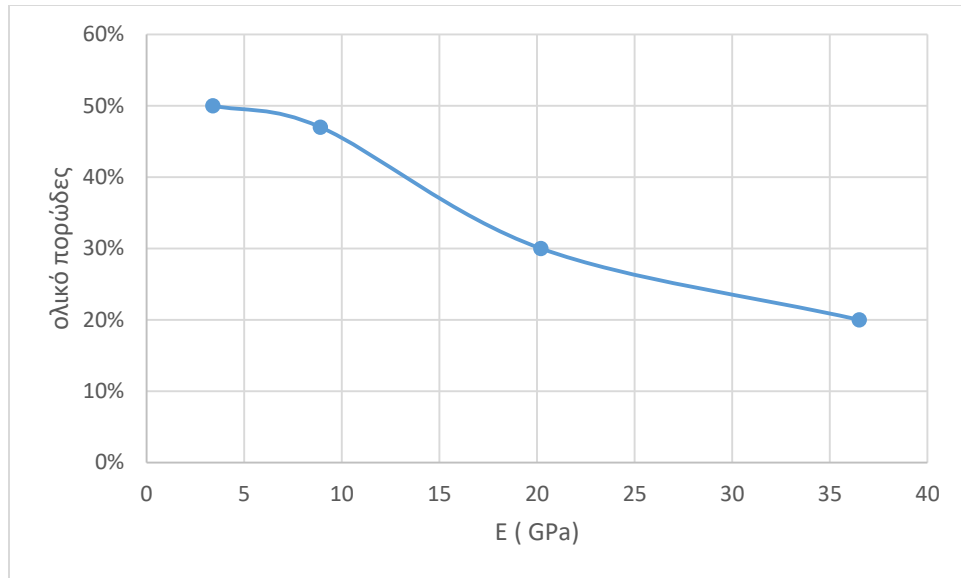
Όπως διακρίνεται στο Σχήμα 4.14 ο λόγος Poisson ( $\nu$ ) για το ψηφιοποιημένο δείγμα συνάδει με τα υπόλοιπα δείγματα. Είναι ακόμα μία ένδειξη ότι η διαδικασία και η μεθοδολογία είναι σωστές.

Μία ακόμα πολύ σημαντική χρήση της βάσης δεδομένων είναι η ομαδοποίηση δεδομένων από την οποία είναι δυνατό να αντλήσουμε πολλές χρήσιμες πληροφορίες για τη μηχανική συμπεριφορά ενός πετρώματος. Παρακάτω ( Σχήμα 4.) παρατίθεται τέτοια παραδείγματα.



**Σχήμα 4.17:** Διάγραμμα αντοχής σε μονοαξονική θλίψη- πυκνότητα για μάρμαρα από διάφορες περιοχές του πλανήτη.

Στο παραπάνω διάγραμμα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τη πυκνότητα και για την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (UCS) μαρμάρων από κάποιες περιοχές του κόσμου και έγινε προσπάθεια συσχέτισης αυτών των δεδομένων και εξαγωγής συμπερασμάτων. Το χρησιμότερο συμπέρασμα είναι πως από ότι φαίνεται και στο διάγραμμα όσο μεγαλύτερη πυκνότητα έχει ένα πέτρωμα, τόσο αυξάνεται και η αντοχή του σε μονοαξονική φόρτιση. Χωρίς τη βάση δεδομένων RMDB θα ήταν εξαιρετικά δύσκολο να βρεθούν σημαντικές πληροφορίες για την φύση ενός πετρώματος από διαφορετικές περιοχές του κόσμου σε ένα πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και με το ελάχιστο κόστος. Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται με την γκρι κουκίδα ένα δοκίμιο μαρμάρου από την περιοχή του Διονύσου στην Αττική, με κίτρινο χρώμα ένα δοκίμιο μαρμάρου από την περιοχή Carrara στην Ιταλία, με μπλέ χρώμα δείγμα μαρμάρου από την περιοχή Cervairole στην Ιταλία και με το πορτοκαλί χρώμα δείγμα μαρμάρου από την περιοχή Canalone επίσης από την Ιταλία.



**Σχήμα 4.18:** Διάγραμμα εξάρτησης ολικού πορώδους με μέτρο ελαστικότητας σε ασβεστόλιθο από διαφορετικές περιοχές σε τριαξονική δοκιμή, με πλευρική τάση 15 MPa.

Στο Σχήμα 4.18 δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα το οποίο δείχνει την εξάρτηση του ολικού πορώδους με το μέτρο ελαστικότητας για ασβεστολιθικά πετρώματα σε συνθήκες σταθερής πλευρικής φόρτισης της τάξης των 15 MPa. Από αυτό το διάγραμμα συμπεραίνεται πως όσο μεγαλύτερο είναι το ολικό πορώδες τόσο μικρότερο είναι το μέτρο ελαστικότητας του πετρώματος. Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από την βάση δεδομένων RMDB και επιλέχθηκαν με κάποια συγκεκριμένα κριτήρια.

Σε προηγούμενο κεφάλαιο στο οποίο έχει γίνει αναλυτική περιγραφή της βάσης δεδομένων, έχει γίνει αναφορά στο ότι είναι σχεσιακή. Αυτό σημαίνει πως ο χρήστης μπορεί να κάνει αναζητήσεις και συγκρίσεις εντός της βάσης ανάλογα με τα κριτήρια που θέλει εκείνος. Παρακάτω θα δοθούν μερικά παραδείγματα για αυτή τη λειτουργία.

Πρώτο παράδειγμα ο χρήστης θέλει να κάνει αναζήτηση για το πόσα πετρώματα έχουν μέτρο ελαστικότητας πάνω από 50 GPa σε τριαξονικές συνθήκες .

Search the rock mechanics database

Record Type  
You must select an experiment type to display.

Search database for: Uniaxial/Triaxial Compression Tests

Constraints

Section: Uniaxial/Triaxial Compression Tests

Group of Parameters: Basic Information

Parameter: Modulus of Elasticity of Intact Rock E0

Relation: >

Compare with: 50

List of Constraints:

| Section                             | Group of Parameters | Parameter                               | Relation | Compare With |
|-------------------------------------|---------------------|---|----------|--------------|
| Uniaxial/Triaxial Compression Tests | Basic Information   | Modulus of Elasticity of Intact Rock E0 | >        | 50           |

**Σχήμα 4.19:** Αναζήτηση με κριτήριο το μέτρο ελαστικότητας.

Δεύτερο παράδειγμα είναι η αναζήτηση και η σύγκριση των υλικών που έχουν λόγο Poisson μεγαλύτερο του 0.40.

**Record Type**  
You must select an experiment type to display.

Search database for: Uniaxial/Triaxial Compression Tests

---

**Constraints**

Section: Uniaxial/Triaxial Compression Tests

Group of Parameters: Basic Information

Parameter: Poisson's Ratio of Intact Rock  $\nu_0$

Relation: >

Compare with:

**List of Constraints:**

| Section | Group of Parameters | Parameter | Relation | Compare With |
|---------|---------------------|-----------|----------|--------------|
|---------|---------------------|-----------|----------|--------------|

**Σχήμα 4.20:** Αναζήτηση βάση του λόγου Poisson.

Η RMDB δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να έχει πάρα πολλές επιλογές στα κριτήρια αναζήτησης και σύγκρισης τα οποία είναι αδύνατο να παρουσιαστούν στην παρούσα εργασία. Αυτές οι επιλογές σχετίζονται, με τις μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων, με φυσικές ιδιότητες καθώς και με διαφορετικούς τύπους πειραμάτων, κάνει αναζητήσεις τόσο με ποσοτικά όσο και με ποιοτικά κριτήρια.

### 4.3 Αποθήκευση δεδομένων στην RMDB

Ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων το επόμενο στάδιο είναι η αποθήκευσή τους στην βάση δεδομένων (RMDB).

Το πρώτο στάδιο της αποθήκευσης είναι η εισαγωγή πληροφοριών για τον τύπο του πετρώματος, την προέλευση και την ορυκτολογική του σύσταση όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.21, Σχήμα 4.22, Σχήμα 4.23.

**General Information**

|                         |             |
|-------------------------|-------------|
| Name (*)                | Vosges      |
| Lithotype (*)           | sandstone   |
| Rock Classification (*) | Sedimentary |

Next Cancel

**Σχήμα 4.21:** Εισαγωγή γενικών πληροφοριών του πετρώματος.

**Rock Origin**

☐ Insert Rock Origin

|             |        |
|-------------|--------|
| Region (*)  | Vosges |
| Country (*) | France |

Previous Next Cancel

**Σχήμα 4.22:** Εισαγωγή πληροφοριών αναφορικά με την προέλευση του πετρώματος.

**Mineral Composition (%)**

☐ Insert Mineral Composition

**Add new mineral**

|              |        |                 |     |     |
|--------------|--------|-----------------|-----|-----|
| Mineral (*): | quartz | Percentage (*): | 93% | Add |
|--------------|--------|-----------------|-----|-----|

Previous Next Cancel

**Σχήμα 4.23:** Εισαγωγή πληροφοριών αναφορικά με την ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος.

Στο τελικό στάδιο γίνεται αποθήκευση πληροφοριών αναφορικά με το πείραμα που διεξήχθει όπως το είδος του πειράματος, την αντοχή του πετρώματος, τις πλευρικές τάσεις που του ασκήθηκαν αλλά και για το μέτρο ελαστικότητας (E) και τον λόγο Poisson ( $\nu$ ) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.10.

|   |   |
|---|---|
| Basic Information                                 |   |
| Rock Name (*)                                     | Vosges  |
| Lab Acronym (*)                                   | MineDesignLab   |
| Data File (*)                                     | Current Data File:<br>Επιλογή αρχείου vosges deviatoric 20 mpa.xlsx <input type="button" value="Replace Current File"/> |
| Diameter [mm] (*)                                 | 400   |
| Height [mm] (*)                                   | 800   |
| Boundary Condition (*)                            | Non Lubricated  |
| Load Control (*)                                  | Displacement  |
| Strain Measuring Method (*)                       | Strain Gage   |
| Lateral Stress [MPa] (*)                          | 20  |
| Max Axial Stress [MPa] (*)                        | 114.26  |
| Axial Strain at Max Axial Stress [x1e3] (*)       | 10.925  |
| Max Axial Strain [x1e3] (*)                       | 12.75   |
| Modulus of Elasticity of Intact Rock E0 [GPa] (*) | 12.32   |
| Poisson Ratio of Intact Rock $\nu_0$ (*)          | 0.24  |

*Σχήμα 4.24: Εισαγωγή πληροφοριών σχετικά με την εκτέλεση του πειράματος καθώς και των ελαστικών σταθερών.*

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 5.1 Συμπεράσματα

- Το μέτρο ελαστικότητας (E) και ο λόγος Poisson ( $\nu$ ) δεν εξαρτώνται από τις τάσεις που ασκούνται στο υλικό, αλλά από τις φυσικές ιδιότητες του ίδιου του υλικού.
- Η επιβολή πλευρικών τάσεων αυξάνει την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη.
- Με την ανάπτυξη της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι φανερό πως μπορούμε να αντλήσουμε δεδομένα για ένα πείραμα χωρίς να χρειαστεί να ξανακάνουμε ολόκληρη την πειραματική διαδικασία, κάτι το οποίο είναι χρονοβόρο και κοστοβόρο.



- Η ψηφιακή αποθήκευση των πειραματικών δεδομένων είναι μία πολύ χρήσιμη διαδικασία διότι μειώνει τον χρόνο που χρειάζεται να δαπανηθεί για την εύρεση της οποιαδήποτε πληροφορίας σχετικά με τα πειράματα.

## 5.2 Προτάσεις

- Προτείνεται η περαιτέρω διερεύνηση και ανάπτυξη μεθοδολογίας και για άλλους τύπους πειραμάτων εκτός μονοαξονικής και τριαξονικής θλίψης.
- Προτείνεται η εισαγωγή αλγορίθμων στον πηγαίο κώδικα της βάσης δεδομένων για την εξαγωγή σύνθετων στατιστικών στοιχείων.
- Προτείνεται η ανάπτυξη και κατασκευή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (machine learning) προκειμένου να κάνουν προβλέψεις που βασίζονται στα δεδομένα και να εξάγουν αποφάσεις που εκφράζονται ως αποτέλεσμα.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Λίολιος Π.,(2013), « Υπερβολικό μοντέλο αστοχίας με συνοχή και εσωτερική τριβή», διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείου Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

G. Exadaktylos, P. Liolios& G. Barakos, (2007),«Some new developments on the representation and standardization of rock mechanics data: From the laboratory to the full scale project», 11 th ISRM Congress,Lisbon.

Αγιουτάντης Ζ.,(2002),«Στοιχεία Γεωμηχανικής Μηχανικής Πετρωμάτων», Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

Sheriff, R. E., Geldart, L. P., (1995), «Exploration Seismology», 2nd Edition, Cambridge University Press, ISBN 0-521-462882-7.

Jumikis , A.R., (1983),« Rock Mechanics», 2nd edition, Trans-Tech Publications, Germany.

Νιμέρτης και Κορδούλης, (2005), «Αποτίμηση Φυσικών και Μηχανικών Παραμέτρων Ασβεστόλιθου και Φλύσχη», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Ρόζος, Δ., (2007), «Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας Ι», Ηλεκτρονικές διαλέξεις, Ε.Μ.Π.

Σοφιανός, Α., Νομικός, Π., (2008), « Προχωρημένη Μηχανική Πετρωμάτων», Σημειώσεις μαθήματος, Ε.Μ.Π.

Τσιαμπάος, Γ., (2009), « Νεότερες απόψεις για τις παραμέτρους μηχανικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων », Σημειώσεις μαθήματος, Ε.Μ.Π.

Vutukuri V.S., Lama R.D., Saluja S.S., « Handbook on Mechanical Properties of Rocks Volume I », Trans Tech Publications

«Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression: Revised Version, ISRM Suggested Methods for Triaxial compression Testing », May 1983

Kofler, M. (2004). « The Definitive Guide to MySQL », Εκδόσεις Apress, Berkeley.

Date, C. (1995). « Εισαγωγή στα συστήματα βάσεων δεδομένων », Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.

Deitel, H., J. Deitel&T.Nieto (2002). «Visual Basic .NET Προγραμματισμός », Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, Αθήνα.

P. BeÂsuelle,J. Desrues,S. Raynaud,(2000), « Experimental characterisation of the localisation phenomenon inside a Vosges sandstone in a triaxial cell », International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 37 (2000) 1223-1237

Diyuan Li., Charlie C.,(2009), «Influence of Sample Height-to-Width Ratios on Failure Mode for Rectangular Prism Samples of Hard Rock Loaded In Uniaxial Compression », Department of Geology and Mineral Resources Engineering The Norwegian University of Science and Technology (NTNU) TrondheimNorway

Εξαδάκτυλος Γ., (2016), «Μηχανική Πετρωμάτων »,Ηλεκτρονικές σημειώσεις μαθήματος, minelab.tuc.gr

