



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μετα-ανάλυση αποτελεσμάτων εργαστηριακών δοκιμών διάτμησης
ασυνεχειών – τριαξονικής θλίψης πετρωμάτων**



Στέφανος Γ. Καράμπαλης

**Επιβλέπων: Θεοδόσιος Παπαλιάγκας, MSc, PhD Διπλ. πολιτικός μηχανικός και μηχανολόγος
μηχανικός ΑΠΘ - καθηγητής τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ ΑΤΕΙΘ**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2017**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μετα-ανάλυση αποτελεσμάτων εργαστηριακών δοκιμών διάτμησης ασυνεχειών
– τριαξονικής θλίψης πετρωμάτων

Στέφανος Γ. Καράμπαλης

A.M. : 2012/0016

Επιβλέπων: **Θεοδόσιος Παπαλιάγκας**, MSc, PhD Διπλ. πολιτικός μηχανικός και μηχανολόγος μηχανικός ΑΠΘ - καθηγητής τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ ΑΤΕΙΘ

Επιτροπή αξιολόγησης: **Κωνσταντίνιδης Δημήτριος**, Dipl(Eng), MSc, PhD, DIC, EUR ING, πολιτικός μηχανικός ΑΠΘ – καθηγητής και πρόεδρος τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ ΑΤΕΙΘ

Αναγνωστόπουλος Κωνσταντίνος, αναπληρωτής καθηγητής τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ και συγγραφέας περίπου 100 εργασιών

Ημερομηνία παρουσίασης: Τρίτη 12 Δεκεμβρίου 2017

ΑΤΕΙΘ, Τμήμα πολιτικών μηχανικών Τ.Ε.,
[Στέφανος, Καραμπαλής]
© [2017] – Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος

*Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφιερώνεται
στον πατέρα μου*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνονται αναφορές σε διάφορα πετρώματα, τα οποία καταπονήθηκαν σε τριαξονικές δοκιμές θλίψης και διάτμησης ασυνεχειών από τους μελετητές *P.R.Sheorey* και *J.D.Byerlee*. Τα αποτελέσματα αυτών των εργαστηριακών δοκιμών καταγράφηκαν στο βιβλίο "*Empirical Rock Failure Criteria*" [1997] και στην επιστημονική διατριβή "*The Frictional Characteristics Of Westerly Granite*" [1966] των μελετητών αντίστοιχα. Στο βιβλίο του, ο Sheorey καταγράφει πληροφορίες σχετικά με τις κλειστού τύπου αμοιβαίες σχέσεις των παραμέτρων τριαξονικής αντοχής, τις μεθόδους για την εξαγωγή μιας εξίσωσης στο φάκελο αστοχίας του Mohr, την επίδραση της ανισοτροπίας των βράχων, ένα κριτήριο ανισοτροπικής αστοχίας βράχου και τρεις μελέτες εκσκαφής με πλήρη στοιχεία. Στη διατριβή του για το MIT, ο Byerlee επεξηγεί τη βασική διαφορά μεταξύ του στατικού συντελεστή τριβής (μ) του βράχου και του συντελεστή (μ) των ορυκτών, παραθέτοντας την ίσως εφαρμόσιμη θεωρία τριβής στα γεωλογικά υλικά. Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι να γίνει μια συνολική καταγραφή και ομαδοποίηση των δοκιμών αυτών, καθώς και η εκπόνηση συμπερασμάτων. Για τη δημιουργία της κοινής βάσης δεδομένων και της ανάπτυξης διαγραμμάτων διάτμησης - τάσης και κύκλων Mohr χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Microsoft Excel, τα δεδομένα του οποίου παρατίθενται στο συνοδευόμενο CD-ROM.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Ανάλυση αποτελεσμάτων με τη βοήθεια του Excel

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Κύκλοι Mohr, εργαστηριακές δοκιμές, θλίψη, πετρώματα, διάτμηση

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του ΑΤΕΙΘ, Θεοδόσιο Παπαλιάγκα, για τη συνεργασία και την πολύτιμη συμβολή του στην ολοκλήρωσή της.

Θα ήθελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου με διάφορους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωσή μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	8
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
2 ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	10
2.1 Κατηγορίες πετρωμάτων	10
2.1.1 Πυριγενή πετρώματα.....	10
2.1.2 Ιζηματογενή πετρώματα.....	11
2.1.3 Μεταμορφωμένα πετρώματα	12
2.2 Γεωλογικός κύκλος.....	14
2.3 Σχετικές επιστήμες.....	15
2.3.1 Πετρολογία	15
2.3.2 Κοιτασματολογία	15
2.3.3 Ορυκτολογία	15
2.3.4 Στρωματογραφία	16
2.4 Ιστορικά στοιχεία	16
3 ΜΕΘΟΔΟΙ	19
3.1 Τριαξονική δοκιμή	19
3.1.1 Είδη Τριαξονικών δοκιμών	19
3.2 Διάτμηση.....	21
3.3 Θλίψη	21
3.4 Εφελκυσμός	21
3.5 Κύκλοι Mohr	22
4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	24
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ (αλφαβητική σειρά)	31
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	34
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	36
Αναφορές εικόνων.....	48
Βιβλιογραφία	51

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του τομέα γεωτεχνικής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του ΑΤΕΙΘ. Με τη βοήθεια του επιβλέποντα καθηγητή, Θεοδόσιου Παπαλιάγκα, ο χρόνος ολοκλήρωσης και παράδοσής της υπολογίζεται στους δέκα μήνες.

Αρχικά, τοποθετήθηκαν τα αποτελέσματα δοκιμών του βιβλίου του Sheorey (αριθμοί 1 – 153) και της διατριβής του Byerlee (3.24 – UB36) στο Excel “SHEOREY-KARAMPALIS”. Με τη βοήθεια αριθμητικών τύπων, αναπτύχθηκαν τα διαγράμματα διάτμησης - τάσης και υπολογίστηκε η παράμετρος m_i για το κάθε πέτρωμα, η οποία είναι σημαντική για το καθορισμό ιδιότητας βράχου, που απαιτείται για τη χρήση του κριτηρίου αστοχίας Hoek-Brown.

Έπειτα, αντλώντας τα δεδομένα σ_3 , σ_1 από το παραπάνω Excel, δημιουργήθηκε άλλη μια βάση δεδομένων Excel με το όνομα “Mohr Circles STEFANOS”, στην οποία αναπτύσσονται οι κύκλοι Mohr ξεχωριστά για το κάθε πέτρωμα και διακρίνεται η ορθή και η διατμητική τάση τους. Κάθε νούμερο του ενός Excel έχει το αντίστοιχο νούμερο του στο άλλο Excel.

Όσον αφορά την ευκολότερη ανάγνωση του παρόντος τεύχους, στην εισαγωγή παρουσιάζονται συνοπτικά διάφορα ιστορικά στοιχεία και οι κατηγορίες πετρωμάτων, που αναφέρονται στα παραπάνω τεύχη, καθώς επίσης γίνεται αναφορά στις μεθόδους που ακολουθήθηκαν για την εκπόνηση των μελετών. Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται αναλυτικότερη επεξήγηση των πετρωμάτων, καθώς και παρουσιάζονται γενικές πληροφορίες σχετικά με αυτά. Στο τέλος, παρατίθενται όλοι οι ορισμοί και οι συντμήσεις, που χρησιμοποιήθηκαν, τόσο στο παρόν τεύχος, όσο και στα Excel.

Τέλος, λόγω της ύπαρξης μεγάλης ποικιλίας πετρωμάτων, επεξηγούνται συνοπτικά και παρουσιάζονται με εικόνες στο παράρτημα II μόνο τα πετρώματα που αναφέρονται στα επισυναπτόμενα Excel.



1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωλογία είναι η επιστήμη που μελετά τη γη και κυρίως το στερεό της τμήμα. Πιο συγκεκριμένα, η γεωλογία αποτελείται από πολλούς κλάδους και γενικά μελετάει τα ορυκτά και τα πετρώματα διαφόρων μεγεθών, βαρών και μορφών, από τα οποία αποτελείται η γη.

Ως πετρώματα χαρακτηρίζονται τα υλικά από τα οποία αποτελείται ο στερεός φλοιός της γης και τα οποία με τη πάροδο του χρόνου σχηματίζονται από την ένωση ορυκτών. Χωρίζονται ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας τους σε τρεις βασικές κατηγορίες, τα εκρηξιγενή ή πυριγενή ή μαγματογενή, τα ιζηματογενή και τα μεταμορφωμένα ή κρυσταλλοσχιστώδη.

Τα πετρώματα που αποτελούνται από ένα ορυκτό, ονομάζονται μονόμεικτα, όπως ο χαλαζίτης και το μάρμαρο, ενώ αυτά που αποτελούνται από πολλά ορυκτά ή κόκκους ορυκτών ονομάζονται πολύμεικτα, όπως είναι τα περισσότερα πυριγενή και μεταμορφωμένα. Η σημασία αυτών των πετρωμάτων είναι μεγάλη και ιδιαίτερα σημαντική στην καθημερινότητα των ανθρώπων σε πολλούς και διαφορετικούς τομείς όπως σε τεχνικά έργα, δομικά υλικά, στην κεραμοποιία, για διακόσμηση και άλλα.

Οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν για την εκπόνηση των παρουσών μελετών είναι η εργαστηριακή τριαξονική δοκιμή θλίψης σε δοκίμια, καθώς και η διάτμηση ασυνεχειών. Η αναφορά στη γραφική παράσταση με τους κύκλους Mohr προσδιορίζει τις τιμές και τις μεταβολές των τιμών των κάθετων και διατμητικών τάσεων, που αναπτύσσονται σε κάθε τυχαίο επίπεδο, που διέρχεται από το σώμα που παραμορφώνεται.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών αυτών δοκιμών αφορούν κυρίως στην ανάδειξη και σύγκριση της αντοχής των πετρωμάτων σε διάτμηση και θλίψη, μέσω διαγραμμάτων.



2 ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

2.1 Κατηγορίες πετρωμάτων

Τα πετρώματα χωρίζονται ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας τους, τα ορυκτά που περιέχουν και τον τρόπο που αυτά είναι ενωμένα μεταξύ τους σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, τα εκρηξιγενή ή πυριγενή ή μαγματογενή, τα ιζηματογενή και τα μεταμορφωμένα ή κρυσταλλοσχιτώδη.

2.1.1 Πυριγενή πετρώματα

Τα πυριγενή ή μαγματογενή ή εκρηξιγενή πετρώματα δημιουργούνται μετά από ψύξη και στερεοποίηση του μάγματος. Οι ιδιότητές τους παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία, είναι διαφορετικά ως προς το χρώμα και την υφή και μπορεί να περιέχουν μεγάλους κρυστάλλους ορυκτών, ή κρυστάλλους τόσο μικρούς, που δεν είναι ορατοί, παρά μόνο με μικροσκόπιο.

Τα πυριγενή πετρώματα ανάλογα με τη περιοχή δημιουργίας τους ονομάζονται:

- πλουτώνεια ή βαθυγενή ή πλουτωνίτες, όταν το μάγμα ψυχθεί και στερεοποιηθεί σε βάθος μέσα στο φλοιό της γης (π.χ. γρανίτης, γάββρος, πηγματίτης, οφείτης). Η ονομασία προέρχεται από τον Πλούτωνα, θεό του κάτω κόσμου.
- ηφαιστίτες ή ηφαιστειακά ή εκρηξιγενή, όταν το μάγμα, με τη μορφή λάβας, μέσω της εκτίναξης από ηφαίστεια, φτάνει στην επιφάνεια της γης, ψύχεται και στερεοποιείται (π.χ. βασάλτης, ρυόλιθος, ανδεσίτης, δακίτης, τραχείτης, οψιδιανός).
- υποηφαιστειακά, όταν η στερεοποίηση γίνει σε μικρά βάθη.
- φλεβικά (παρόμοια με τα υποηφαιστειακά), όταν το μάγμα εισχωρήσει μέσα σε μεγάλα ρήγματα ή ανοίγματα.

Τα χαρακτηριστικά διάκρισης μεταξύ πλουτωνικών και ηφαιστειακών πετρωμάτων είναι η υφή και ο ιστός τους. Ανάλογα με τη θέση κρυστάλλωσης (εικόνα 69 παράρτημα Ι), τα πυριγενή πετρώματα χωρίζονται σε:

- πλουτωνικά ή πλουτώνεια (το μάγμα ψύχεται σε μεγάλα βάθη),
- φλεβικά ή υποηφαιστειακά (το μάγμα ψύχεται διεισδύοντας σε ρωγμές, πτυχώσεις κτλ)
- ηφαιστειακά (το μάγμα ψύχεται πολύ κοντά ή στην επιφάνεια του γήινου φλοιού).

Στα πλουτωνικά πετρώματα, τα οποία είναι αδρόκοκκα, η ψύξη γίνεται με αργό ρυθμό, με αποτέλεσμα να υπάρξει πλήρης κρυστάλλωση των ορυκτών συστατικών και σχηματισμός μεγάλων κρυστάλλων, που είναι ορατοί ακόμα και με γυμνό μάτι. Ο ιστός αυτός ονομάζεται ολοκρυσταλλικός ή γρανιτικός (π.χ. γρανίτης). Τα πλουτωνικά πετρώματα, ανάλογα με το μέγεθος και σχήμα τους, διακρίνονται σε:

- βαθόλιθους (όταν βρίσκονται σε βάθος μέχρι ενός χιλιομέτρου)
- λακόλιθους (όταν μάγματα σχήματος φακού ή μανιταριού με πλατιά βάση βρίσκονται σε μικρότερο βάθος)
- φλεβοστρώματα (όταν οι διεισδύσεις μάγματος σε μεγάλες πλάκες είναι παράλληλες προς τη διεύθυνση των γύρω πετρωμάτων)
- εγκάρσιες φλέβες (δηλαδή διατάξεις πάχους από μερικά εκατοστόμετρα μέχρι 150 μέτρων που τέμνουν οριζόντια τα περιβάλλοντα πετρώματα)



Τα ηφαιστειακά πετρώματα, τα οποία είναι λεπτόκοκκα ή και αφαντικά (χωρίς κρυστάλλους), σχηματίζουν υαλώδη (υαλώδης ιστός π.χ. οψιδιανός) ή μικροκρυσταλλική (αφυρικός ιστός) μάζα, λόγω της απότομης πτώσης της θερμοκρασίας τους από την απότομη άνοδο του μάγματος στην επιφάνεια της γης. Μέσα στην υαλώδη ή μικροκρυσταλλική μάζα βρίσκονται κρύσταλλοι διαφόρων ορυκτών, μικροί ή μεγάλοι, που σχηματίζονται πριν την έκχυση λάβας (φαινοκρύσταλλοι). Ο συνδυασμός των φαινοκρυστάλλων με μικροκρυσταλλική μάζα ονομάζεται πορφυριτικός ιστός (π.χ. ανδεδίτης).

Σύμφωνα με τη γενική χημική ταξινόμηση και ανάλογα με την περιεκτικότητα σε διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), τα μαγματογενή πετρώματα χωρίζονται σε:

- υπερβασικά, με $\text{SiO}_2 < 45\%$
- βασικά, με $45\% < \text{SiO}_2 < 52\%$
- ενδιάμεσα, με $52\% < \text{SiO}_2 < 63\%$
- ημιόξινα, με $63\% < \text{SiO}_2 < 69\%$
- όξινα, με $\text{SiO}_2 > 69\%$ (στη σύσταση των όξινων πετρωμάτων, το SiO_2 εμφανίζεται με τη μορφή χαλαζία)

Τα ορυκτά συστατικά των πετρωμάτων διακρίνονται σε έγχρωμα ή φεμικά (από το Fe και το Mg, που υπάρχει στη σύστασή τους) και σε λευκά ή σαλικά (από το Si και το Al). Ανάλογα με το χρωματικό δείκτη (βλ. ορισμό), διακρίνονται 5 κατηγορίες πετρωμάτων:

- Ολολευκοκρατικά, με 0 – 5%
- Λευκοκρατικά, με 5 – 35%
- Μεσοκρατικά, με 35 - 69%
- Μελανοκρατικά, με 65 – 95%
- Ολομελανοκρατικά, με 95 – 100%

Ο χρωματικός δείκτης δε χρησιμοποιείται στα ηφαιστειακά πετρώματα.

2.1.2 Ιζηματογενή πετρώματα

Τα ιζηματογενή πετρώματα σχηματίζονται από την απόθεση τους σε τοπογραφικά χαμηλά σημεία στο φλοιό της γης ή την καταβύθιση υλικών που βρίσκονται σε αιώρηση ή διάλυση μέσα σε ρευστό μέσο (νερό ή αέρας) και τη μετέπειτα συγκόλλησή τους με τη διαγένεση ιζημάτων (εικόνα 70 παράρτημα Ι). Συνήθως, έχουν μεταφερθεί από τον τόπο προέλευσης στον τόπο απόθεσής τους και χαρακτηριστικό τους είναι οι διαδοχικές στρώσεις υλικών, τις οποίες μελετά η στρωματογραφία, τα απολιθώματα και οι πτυχώσεις.

Ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας τους, τα ιζηματογενή πετρώματα διακρίνονται σε:

- κλαστικά ή μηχανικά, όταν προκύπτουν από απόθεση υλικών αποσάθρωσης. Μεγάλες βραχώδεις μάζες μετασχηματίζονται σε στρογγυλεμένους όγκους μέχρι πολύ απλούστερες μάζες, όπως η άμμος και η άργιλος που μεταφέρονται εύκολα από το νερό, τη βροχή, τον πάγο και τον άνεμο. Στο σημείο που μεταφέρονται, αποτίθενται σε στρώματα και εκεί τα υλικά αυτά παραμένουν ευκίνητα είτε ως λάσπη ή άμμος, είτε συσσωματώνονται με τη βοήθεια του χαλαζία ή άλλων ορυκτών



όπως ασβεστίτη, αιματίτη, λειμωνίτη κλπ. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως διαγένεση (π.χ. ψαμμίτης).

- χημικά, όταν προκύπτουν από συγκέντρωση ορυκτών που αποτέθηκαν κατευθείαν από υδατικά διαλύματα με ανόργανες χημικές διαδικασίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο σχηματισμός μέσω της εξάτμισης του νερού, που περιέχει διαλυμένες διάφορες χημικές ουσίες, όπως είναι το ορυκτό αλάτι, η γύψος κλπ, άλλα και ο σχηματισμός με χημική κατακρήμνιση, όπως ο ασβεστόλιθος.
- βιογενή ή οργανικά, που προκύπτουν από τη συσσώρευση ή απόθεση ύλης προερχόμενης από υπολείμματα ζωντανών οργανισμών, όπως π.χ. κελύφη μαλακίων, σκελετούς υδρόβιων όντων. Παραδείγματα τέτοιων πετρωμάτων είναι οι οργανογενείς ασβεστόλιθοι, οι ορυκτοί άνθρακες κτλ.

Τα κλασικά ιζήματα διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους:

- Άμμος (0,06 – 2mm), της οποίας το πέτρωμα είναι ο ψαμμίτης
- Ιλύς (0,002 – 0,06mm), με πέτρωμα τον ιλυόλιθο ή πηλόλιθο
- Άργιλος (< 0,002mm), με πέτρωμα τον αργιλόλιθο ή άργιλο
- Κροκάλες ή λατύπες (60 – 200mm), με πετρώματα τα κροκαλοπαγή ή τα λατυποπαγή (στρογγυλοποιημένοι ή όχι οι κόκκοι)

Επίσης, τα ιζήματα με μέγεθος κόκκων > 200mm ονομάζονται τρογμάλες (boulders).

Τα χημικά χωρίζονται σε:

- ανόργανους ασβεστόλιθους (π.χ. τραβερτίνης)
- δολομίτες
- εβαπορίτες, άλατα που προέρχονται από την εξάτμιση μαζών νερού, με κυριότερους τον αλίτη, τη γύψο και τον ανυδρίτη (θαλάσσιοι εβαπορίτες)

Τα βιογενή διακρίνονται σε:

- ανθρακικά, που σχηματίζονται από υπολείμματα υδρόβιων οργανισμών (συνήθως τα αντίστοιχα πετρώματα ξεκινούν με το πρόθεμα βιο-, π.χ. βιομικρίτης)
- πυριτικά, που προέρχονται από πυριτικό σκελετικό υλικό ραδιολαρίων και διατόμων (οργανικοί κερατόλιθοι).

Ανάλογα με τη θέση δημιουργίας τους, διακρίνονται σε θαλάσσια (νηριτικά ή πελαγικά), ποτάμια ή αλλουβιακά, λιμναία, παγετωνικά, χερσαία κ.ά.

2.1.3 Μεταμορφωμένα πετρώματα

Τα μεταμορφωμένα ή μεταμορφωσιγενή πετρώματα σχηματίζονται από άλλα ήδη υπάρχοντα πετρώματα μετά από ιστολογικές, ορυκτολογικές και χημικές μεταβολές τις οποίες



υφίστανται χωρίς όμως να περάσουν από το στάδιο της τήξης. Λόγω του σχιστοφυή ιστού τους, αλλά και της ανακρυστάλλωσης που υπόκεινται, ονομάζονται και κρυσταλλοσχιτώδη. Τα αρχικά πετρώματα από τα οποία σχηματίζονται τα μεταμορφωμένα, ονομάζονται πρωτόλιθοι. Όταν αυτοί είναι:

- πυριγενή πετρώματα, το μεταμορφωμένο πέτρωμα παίρνει το πρόθεμα ορθο-,
- ιζηματογενή πετρώματα, το μεταμορφωμένο πέτρωμα παίρνει το πρόθεμα παρα- (π.χ. ορθογνεύσιος, όταν προέρχεται από τη μεταμόρφωση ενός γρανίτη και παραγνεύσιος, όταν προέρχεται από αργιλικό σχιστόλιθο).

Οι παράγοντες μεταμόρφωσής τους, οι οποίοι καθορίζουν το είδος και την ένταση της μεταμόρφωσης, είναι:

- η πίεση (P)
- η θερμοκρασία (T)
- τα θερμά διαλύματα και αέρια

Σύμφωνα με αυτούς τους παράγοντες (εικόνα 71 παράρτημα Ι), από τους οποίους εξαρτάται η μεταμόρφωση, διακρίνονται τρία είδη μεταμόρφωσης:

- Γενική μεταμόρφωση, που είναι η πιο συχνή μεταμόρφωση και τα προϊόντα της είναι μεγάλου όγκου. Τον κύριο ρόλο παίζουν η θερμοκρασία και η πίεση, των οποίων οι τιμές ποικίλλουν, και σχετίζεται με την ορογενετική δράση.
- Δυναμική μεταμόρφωση, όπου κύριο λόγο παίζει η πίεση με τη μορφή ισχυρών παραμορφωτικών τάσεων και συναντάται κοντά σε ρήγματα, ανοίγματα και ζώνες ολίσθησης. Συχνό φαινόμενο είναι ο θρυμματισμός του πετρώματος, καθώς και η επικράτηση χαμηλών τιμών θερμοκρασίας και λιθοστατικής πίεσης.
- Θερμική μεταμόρφωση ή μεταμόρφωση επαφής, όπου βασικοί παράγοντες είναι η πίεση και τα θερμά διαλύματα και αέρια. Η μεταμορφωθείσα ζώνη ονομάζεται «άλλως μεταμόρφωσης» και το πάχος του πετρώματος κυμαίνεται από λίγα εκατοστά έως εκατοντάδες μέτρα.

Η ένταση της δράσης των ανωτέρω παραγόντων ορίζεται από τον βαθμό μεταμόρφωσης του πετρώματος και χωρίζεται σε:

- χαμηλού βαθμού, όταν στην μεταμόρφωση οι μεταμορφικοί παράγοντες έχουν χαμηλές τιμές και λαμβάνει χώρα μακριά από την επίδραση μάγματος
- υψηλού βαθμού, όταν οι τιμές των παραγόντων είναι σε υψηλά επίπεδα και λαμβάνει χώρα με την άμεση επίδραση μάγματος
- μέσου βαθμού, όταν η μεταμόρφωση παίρνει ενδιάμεσες τιμές

Πρώτα, σχηματίζονται τα χαμηλού βαθμού πετρώματα και έπειτα τα μεσαίου και υψηλού. Η μεταμόρφωση κατά την οποία το πέτρωμα έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από τη προηγούμενη θέση του, ονομάζεται προϊούσα παραμόρφωση. Αντίθετα, εάν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη, τότε ονομάζεται ανάδρομος παραμόρφωση. Ανάλογα με τις αλλαγές του πετρώματος, η μεταμόρφωση διακρίνεται σε:

- Ισοφασική, όταν υπάρχει παραμόρφωση μόνο του ιστού του προϋπάρχοντος πετρώματος, χωρίς αλλαγή της ορυκτολογικής σύστασης.



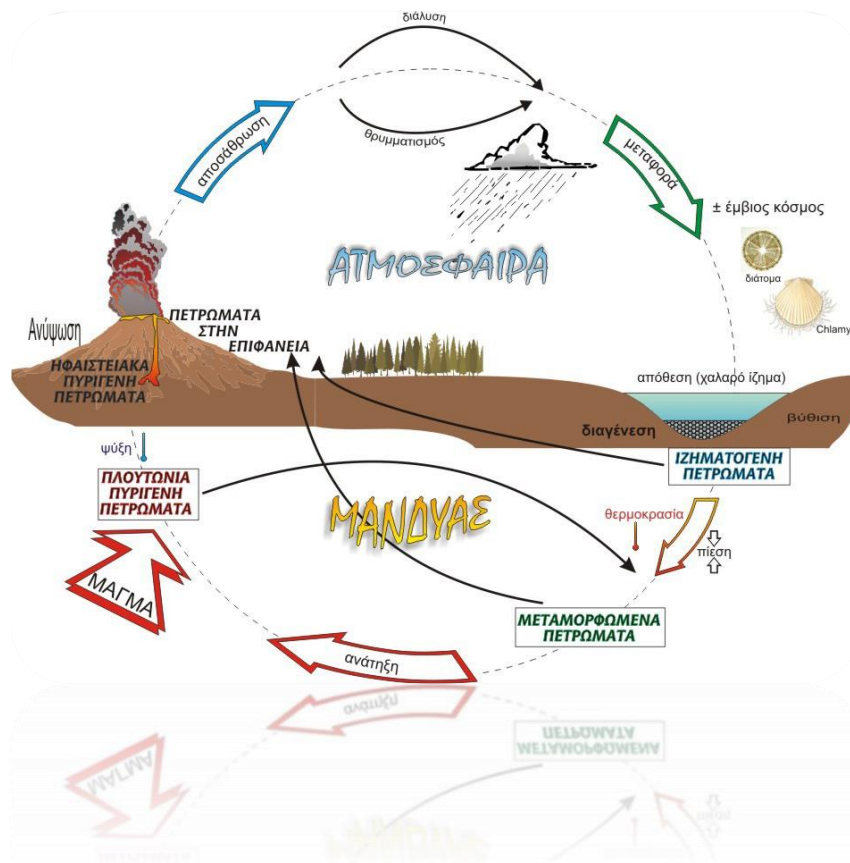
- Αλλοφασική, όταν υπάρχει αλλαγή και της ορυκτολογικής κατάστασης.
- Ισοχημική, όταν η χημική σύσταση του πετρώματος παραμένει ίδια.
- Αλλοχημική, όταν υπάρχει αλλαγή της χημικής σύστασης του πετρώματος.

2.2 Γεωλογικός κύκλος

Οι σχέσεις μεταξύ των διαφόρων τύπων πετρωμάτων περιγράφεται με ένα κύκλο όμοιο με αυτό του κύκλου του νερού. Ονομάζεται γεωλογικός κύκλος και φανερώνει την εξέλιξη των πετρωμάτων, τη μετατροπή και την αλλαγή τους στη πάροδο του χρόνου (βλ. εικόνα 68). Οι εξωτερικές δυνάμεις (χιόνια, βροχές κλπ) και οι τριβές διαβρώνουν τα πετρώματα με τη πάροδο των χρόνων.

Εν συνεχεία, τα υλικά αυτά μεταφέρονται με τη βοήθεια του ανέμου ή νερού σε άτακτες διευθύνσεις και συσσωρεύονται στον εσωτερικό φλοιό της γης, δημιουργώντας ιζηματογενή πετρώματα. Με τις κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, τα πετρώματα αυτά μεταμορφώνονται, αλλάζουν δηλαδή μορφή. Αν αυτά προχωρήσουν σε μεγαλύτερο βάθος και συναντήσουν ακραίες θερμοκρασίες, τότε ψύχονται αργά ή λιώννουν.

Αν και δεν είναι σίγουρο ότι θα ακολουθήσουν μια δεδομένη πορεία, σε εκείνο το σημείο συνήθως είτε θα γίνουν πυριγενή πλουτώνια πετρώματα, είτε θα ανέβουν στην επιφάνεια ως ηφαιστειακά με τη μορφή μάγματος. Παρόλα αυτά, υπάρχει και η πιθανότητα να μείνουν για πάντα στο εσωτερικό της γης.



Εικόνα 68: Γεωλογικός κύκλος

2.3 Σχετικές επιστήμες

Σημαντική είναι η αναφορά στις σχετικές επιστήμες της γεωλογίας, καθώς καθημερινά και με βάση αυτές ανακαλύπτονται νέα πετρώματα και ορυκτά, εκθέτονται νέες ιδιότητές τους, ενώ αναθεωρούνται παλαιότερες αντιλήψεις και ιστορικά στοιχεία γι αυτά. Οι κοντινότεροι κλάδοι της γεωλογίας είναι η πετρολογία, η κοιτασματολογία, η ορυκτολογία και η στρωματολογία.

2.3.1 Πετρολογία

Η πετρολογία ή πετρογραφία ή λιθολογία είναι ένας από τους πολλούς κλάδους της Γεωλογίας, ο οποίος επικεντρώνεται στην μελέτη των πετρωμάτων και των συνθηκών κάτω από τις οποίες αυτά διαμορφώνονται και αναπτύσσονται. Συγγενεύει με την ορυκτολογία και την κοιτασματολογία.

Η πετρολογία άρχισε να αναπτύσσεται ιδιαίτερα μετά την ανακάλυψη του μικροσκοπίου, όπου και συνέβαλε η χημική ποσοτική ανάλυση. Ιδιαίτεροι κλάδοι της πετρολογίας είναι η τεκτονική, που μελετά τον τρόπο με τον οποίο τα διάφορα πετρώματα συνδυάζονται και συγκροτούν τον φλοιό της γης και η πετρογονία που ασχολείται με την ιστορία και την ερμηνεία της προέλευσής τους.

Τα πετρώματα αποτελούν τις δομικές μονάδες του στερεού φλοιού της γης και η μελέτη τους δίνει πληροφορίες για τη γέννηση και την περαιτέρω εξέλιξη της γης και των πλανητών.

2.3.2 Κοιτασματολογία

Η κοιτασματολογία είναι κλάδος της γεωλογίας, ο οποίος ασχολείται με την ανεύρεση κοιτασμάτων.

Με τον όρο κοίτασμα ονομάζουμε κάθε φυσική συγκέντρωση ορυκτών υλών, η οποία είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμη με βάση τις σημερινές συνθήκες. Σε αντίθετη περίπτωση, αν λόγω μεγέθους ή περιεκτικότητας δεν είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμη, τότε μιλάμε για εμφάνιση.

Αν από τα περιεχόμενα συστατικά του κοιτάσματος μπορούν με κατάλληλη επεξεργασία να παραχθούν μεταλλουργικά προϊόντα (πχ. μέταλλα ή ενώσεις μετάλλων), η συγκέντρωση ονομάζεται μετάλλευμα ή μεταλλοφόρο κοίτασμα (ore, mineral). Τα ορυκτά τα οποία συνυπάρχουν μαζί με τα εκμεταλλεύσιμα συστατικά σε ένα κοίτασμα ή σε μια εμφάνιση και δεν παρουσιάζουν οικονομικό ενδιαφέρον καλούνται σύνδρομα ορυκτά (gangue minerals).

2.3.3 Ορυκτολογία

Ορυκτολογία είναι κλάδος της γεωλογίας που μελετά τα ορυκτά και ειδικότερα τις ιδιότητές τους, τα φυσικά συστατικά τους, τη χημική σύνθεση και συμπεριφορά τους, τη κρυσταλλική μορφή τους καθώς και την κατάταξη και ονοματολογία τους. Επίσης, μελετά το ρόλο ενός εκάστου ορυκτού στη φύση, την ιστορία του, την γένεση και τις μεταμορφώσεις του, τις ποικιλίες του (σε διάφορες συνθήκες) και τις μεταξύ τους σχέσεις. Από πρακτική όμως άποψη σημειώνονται τόσο η σπουδαιότητα και η χρήση εκάστου, όσο και τα σημεία της γης που ανευρίσκονται.



Τα περισσότερα ορυκτά ονομάζονται είτε από τη θέση που αρχικά εντοπίστηκαν, είτε από τη χημική σύστασή τους ή κάποια ιδιότητά τους, είτε από τους ανθρώπους που τα ανακάλυψαν είτε από ανθρώπους που οι ονοματοδότες ήθελαν να τιμήσουν. Αρμόδια για την ονοματοδοσία νέων ορυκτών ή τη μετονομασία ήδη γνωστών είναι η IMA (International Mineralogical Association), η οποία για το σκοπό αυτό συγκροτεί επιτροπές, ομάδες εργασίας και συμβούλια.

Η ορυκτολογία συγγενεύει με την πετρολογία, την κοιτασματολογία, τη γεωχημεία και την κρυσταλλογραφία, αφού τα ορυκτά ως επί το πλείστον είναι κρυσταλλικά σώματα, τα δε πετρώματα αποτελούν αθροίσματα ορυκτών.

Τέλος, συναφείς είναι και τέχνες όπως η μεταλλευτική και η μεταλλουργία που η μεν πρώτη ενδιαφέρεται για την εξόρυξη των μεταλλευμάτων από τη γη, η δε δεύτερη για την εξαγωγή των μετάλλων από τα μεταλλεύματα.

2.3.4 Στρωματογραφία

Στρωματογραφία είναι η επιστήμη και ιδιαίτερος κλάδος της γεωλογίας και συγκεκριμένα της ιστορικής γεωλογίας που αντικείμενο έρευνας και μελέτης της είναι η τάξη και η θέση των στρωματοποιημένων πετρωμάτων του στερεού φλοιού της γης και η διαδοχή εξέλιξης των γεωλογικών σχηματισμών εις βάθος στη γεωλογική κλίμακα. Ασχολείται με την ιστορία των πετρωμάτων και συγκεκριμένα με το πώς σχηματίστηκαν τα πετρώματα και οι στρώσεις που αυτά σχηματίζουν στους βράχους, καθώς και με τη γεωγραφική τους εξάπλωση και τη τοποθέτησή τους σε διαδοχική ιστορική σειρά. Συνδέεται άμεσα με άλλες γεωεπιστήμες, όπως τη παλαιοντολογία, την ιζηματολογία, τη γεωχρονολογία, τη γεωφυσική γεωχημεία, τη πετρογραφία και τη τεκτονική γεωλογία.

Αρχικά, εφαρμόστηκε μόνο στα ιζηματογενή πετρώματα, αλλά στη συνέχεια επεκτάθηκε στα ηφαιστειακά που παρουσιάζουν κάποια στρώση (κλαστικά ηφαιστειακά, όπως τόφφοι και λάβες) και σε μεταμορφωμένα με προέλευση από ιζηματογενή. Κατά τη στρωματογραφική μελέτη καταγράφονται ο τύπος πετρώματος, η σύσταση, η δομή και η υφή του, τα απολιθώματα που περιέχονται και οι συνθήκες απόθεσης και σχηματισμού.

Οι στρωματογραφικές μέθοδοι είναι οι:

- Λιθοστρωματογραφία - η συσχέτιση ενοτήτων πετρωμάτων με βάση τη λιθολογία και τη στρωματογραφική τους θέση.
- Βιοστρωματογραφία - η συσχέτιση ενοτήτων πετρωμάτων με βάση τα απολιθώματα που περιέχουν.
- Χρονοστρωματογραφία - η συσχέτιση ενοτήτων πετρωμάτων με βάση την ηλικία, όπως αυτή προσδιορίστηκε από ραδιοχρονολόγηση ή από απολιθώματα.

Επίσης, άλλες μέθοδοι είναι η μαγνητοστρωματογραφία, η χημειοστρωματογραφία, η κυκλοστρωματογραφία και η σεισμολογική στρωματογραφία.

2.4 Ιστορικά στοιχεία



Για πολλές εκατοντάδες χρόνια, ο άνθρωπος έφτιαχνε όπλα και εργαλεία από πέτρες, είτε όπως ήταν, είτε τις λείαινε αργότερα. Κατά την νεολιθική και μεσολιθική εποχή, κατάφερε να ανάβει φωτιά από μόνος του, χρησιμοποιώντας ξερά ξύλα ή πυριτόλιθους (τσακμακόπετρες).

Αφού εγκατέλειψε τις σπηλιές, ασχολήθηκε με το χτίσιμο σπιτιών και την ίδρυση μόνιμων κατοικιών, την εξημέρωση ζώων και τη δημιουργία αγγείων, δουλεύοντας τον πηλό. Ανακάλυψε μέταλλα, όπως το χρυσό, το μπρούτζο και το χαλκό, αλλά και αργότερα τον σίδηρο, τα οποία και χρησιμοποίησε για να καλύψει τις τότε ανάγκες του.

Οι ειδικοί επιστήμονες παραδέχονται πως ο άνθρωπος ήρθε για πρώτη φορά σε επαφή με τα μέταλλα βρίσκοντας, τυχαία, κομμάτια από αυτοφυή χρυσό, χαλκό και μετεωριτικό σίδηρο. Βέβαια, η περιέργειά του τον οδήγησε σε μια υποτυπώδη επεξεργασία τους, προπάντων του χρυσού και του χαλκού, με κάποια σφυρηλάτηση και λείανση, με ή χωρίς τη βοήθεια της φωτιάς.

Εκείνο όμως που τον βοήθησε να περάσει στην εποχή του χαλκού ήταν η ανακάλυψη της αναγωγής των οξειδίων και των ανθρακικών μεταλλευμάτων του χαλκού, γιατί έτσι μπορούσε να έχει στη διάθεσή του περισσότερο μέταλλο.

Η ανακάλυψη αυτή έγινε προς το τέλος της νεολιθικής εποχής, κατά τη χαλκολιθική φάση της, από τυχαία περιστατικά, όπως από τη δημιουργία συμπαγών μεταλλικών μαζών κατά τις μεγάλες πυρκαγιές σε δασικές εκτάσεις ή κατοικούμενες περιοχές με επιφανειακά χαλκούχα μεταλλεύματα. Οι μεταλλικές αυτές μάζες στάθηκαν αφορμή να δοκιμασθούν ίδια μεταλλεύματα με την πύρωσή τους σε καμίνια ξυλοκάρβουνου, ή σε πήλινα χωνευτήρια μαζί με διάφορα συλλιπάσματα, ενέργειες που οδήγησαν στην ανακάλυψη της μεθόδου της αναγωγής.

Υπάρχει όμως και η άποψη ότι η ανακάλυψη οφείλεται σε τυχαία παρατήρηση παραγωγών ξυλανθράκων με τη χρησιμοποίηση χαλκούχων μεταλλευμάτων (οξειδίων του χαλκού) για το σβήσιμο των πυρακτωμένων ξύλων στα καμίνια τους, ή με το άνοιγμα ξυλοκαμίνων σε περιοχές που είχαν στις επιφάνειές τους τέτοια μεταλλεύματα, όπως π.χ. η «κυπρίτις γη». Η άποψη αυτή συγκεντρώνει τις περισσότερες πιθανότητες, γιατί στις περιπτώσεις αυτές δημιουργούνται καλύτερες προϋποθέσεις για αναγωγή.

Κατά τη νεολιθική εποχή τα εργαλεία παρουσιάζουν αισθητή βελτίωση, που τα κάνει κατάλληλα και για εξορυκτικές εργασίες. Οι αξίνες και τα πελέκια τώρα είναι κατασκευασμένα από διαλεχτό πυριτόλιθο ή από κέρατα ή κόκαλα, δουλεμένα σε σχήματα κατάλληλα, άλλα για σκάψιμο και άλλα για κόψιμο.

Με τα σκαφτικά εργαλεία ο άνθρωπος έσκαβε τη γη για διάφορες ανάγκες του, καθώς και για ανεύρεση καταλληλότερων πυριτόλιθων και πολύτιμων λίθων στην αρχή, αλλά και μεταλλευμάτων αργότερα (τέλη της νεολιθικής εποχής), επενδύοντας τις αιχμές τους με μεταλλικά (χάλκινα) περιβλήματα.

Όπου από σχετικές ενδείξεις οι προϊστορικοί άνθρωποι αυτής της περιόδου διαπίστωναν ή υποψιάζονταν την ύπαρξη κάποιου μεταλλεύματος, έσκαβαν το έδαφος και προχωρούσαν βαθιά, ως τα στρώματα που τους ενδιέφεραν περισσότερο, ανοίγοντας φρέατα ή στοές 1,50 – 2,00 μέτρων υψιές, και χρησιμοποιώντας ξύλινα στηρίγματα. Δηλαδή, οργάνωναν ορυχεία. Τέτοια νεολιθικά ορυχεία, που χρονολογήθηκαν μεταξύ του 3.000 και του 2.500 π.Χ., βρέθηκαν και στην Ευρώπη. Στο Βέλγιο (Σπιέννες - Μονς) ανακαλύφθηκε ένα ορυχείο πυριτόλιθου με 25 φρέατα, που η μέση διάμετρος τους είναι 0,80 μέτρα και το μέσο βάθος



τους 12 μέτρα. Επίσης, και στην Αγγλία (Νόρφολκ) και σε πολλά μέρη της Γαλλίας, βρέθηκαν παρόμοια ορυχεία.

Στην Ανατολή τα νεολιθικά ορυχεία είναι πολύ αρχαιότερα. Εκεί, από τα σχετικά ευρήματα συμπεραίνεται πως, εκτός από πυριτόλιθους, έβγαζαν από τη γη και ημιπολύτιμους και πολύτιμους λίθους (αιματίτη, αχάτη, οψιδιανό κ.α.), που τους χρησιμοποιούσαν στην κοσμηματοποιία. Τα μεταλλωρυχεία στην Ανατολή εμφανίζονται από την 4^η χιλιετία π.Χ. Ξεκινούν κι αυτά από την επιφανειακή εκμετάλλευση, που σιγά σιγά προχωρεί σε βάθος, με φρέατα και στοές.

Η νομισματική χρήση των μετάλλων πρωτοπαρουσιάστηκε στην Ανατολή. Στη Βαβυλώνα, τα πολύτιμα μέταλλα χρυσός και άργυρος, με μορφή ράβδων, ειδικά σφραγισμένων, χρησιμοποιούνταν σαν βασικά μέσα στις ανταλλαγές.

Επίσης, και στην περίοδο της «ομηρικής οικονομίας», οι Ελλαδίτες και οι Τρώες στις εμπορικές ανταλλαγές τους χρησιμοποιούσαν χρυσές, σιδερένιες και μπρούντζινες ράβδους (στην αρχή διαφορετικού σχήματος και βάρους και μετά επιμήκεις και ισοβαρείς), συνήθεια που οδήγησε αργότερα στην καθιέρωση του νομίσματος στη Λυδία, απ' όπου διαδόθηκε και στην Ελλάδα.

Εξάλλου, στην περίοδο των μεταναστεύσεων, που την αρχή τους σημαδεύει ζωηρά ο Τρωικός πόλεμος και που τα μεγάλα τους κύματα κράτησαν ως τον 7^ο αιώνα π.Χ., τα μέταλλα, προπάντων τα πολύτιμα, παίζουν σπουδαίο ρόλο στις εμπορικές ανταλλαγές.

3 ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα πετρώματα στο έδαφος θεμελιώσεως των τεχνικών έργων δέχονται την επίδραση στατικών κατά το πλείστον δυνάμεων, που παράγουν στα πετρώματα ελαστικές τάσεις τριών ειδών που τείνουν να τα θραύσουν:

- Θλιπτικές, που τείνουν να ελαττώσουν τον όγκο του υλικού (το πέτρωμα παρουσιάζει αντοχή στη θλίψη σ_c),
- Διατμητικές, που τείνουν να μετακινήσουν τμήμα του υλικού σε σχέση προς το υπόλοιπο (αντοχή σε διάτμηση),
- Εφελκυστικές, που έχουν την τάση να μεγαλώσουν τον όγκο και να προκαλέσουν σχισμές και ρωγμές στο υλικό (αντοχή σε εφελκυσμό).

Οι συνήθεις εργαστηριακές δοκιμές αντοχής πετρωμάτων είναι η μονοαξονική, η εφελκυσμού, η τριαξονική και η διάτμησης.

3.1 Τριαξονική δοκιμή

Η δοκιμή αυτή καλύπτει τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής κυλινδρικών δοκιμίων συνεκτικών εδαφών, σε αδιατάρακτη κατάσταση, ή ύστερα από αναζύμωση. Η εφαρμογή του κατακόρυφου φορτίου, που εξασκείται κατά τον άξονα του δοκιμίου, που υπόκειται ταυτόχρονα σε μια πλευρική πίεση, ελέγχεται με τη μέτρηση των παραμορφώσεων του δοκιμίου και των τάσεων που εξασκούνται σ' αυτό.

Η δοκιμή αυτή παρέχει τα δεδομένα για τον προσδιορισμό των διατμητικών ιδιοτήτων και της σχέσεως τάσης - παραμόρφωσης των εδαφών. Είναι η πλέον αντιπροσωπευτική και αξιόπιστη δοκιμή διερεύνησης της συμπεριφοράς του εδάφους που υπόκειται σε εντατικές καταστάσεις.

3.1.1 Είδη Τριαξονικών δοκιμών

Η διατμητική αντοχή του εδάφους είναι συνάρτηση, όχι μόνο του μεγέθους της πίεσης που εξασκείται σ' αυτό και της πίεσης του νερού των πόρων, αλλά της εντατικής κατάσταση που βρισκόταν το έδαφος πριν από τη δοκιμή του. Από τη συμπεριφορά αυτή της διατμητικής αντοχής προέκυψε η ανάγκη ανάπτυξης μιας σειράς από τριαξονικές δοκιμές, οι κυριότερες από τις οποίες είναι οι εξής:

- Ταχεία δοκιμή χωρίς στερεοποίηση - χωρίς αποστράγγιση (UU)

Κατά τη μέθοδο αυτή, εκφράζεται η κατάσταση των τάσεων κατά τη θραύση ενός κυλινδρικού δοκιμίου εδάφους, όπου δεν λαμβάνει χώρα αποστράγγιση του νερού των πόρων του δοκιμίου κατά την τριαξονική φόρτιση. Στην περίπτωση αυτή, η περιβάλλουσα προκύπτει θεωρητικά παράλληλη προς τον οριζόντιο άξονα και τα μηχανικά χαρακτηριστικά έχουν $\phi = \phi_u \rightarrow 0$ και $c = c_u$.

Κατά τη δοκιμή αυτή, δεν μετράται η πίεση του νερού των πόρων. Αν ζητηθούν μετρήσεις της πίεσης του νερού των πόρων, η διάρκεια της δοκιμής αυξάνει ώστε η πίεση των πόρων να είναι περίπου η ίδια σε όλο το ύψος του δοκιμίου. Η τριαξονική UU δοκιμή πρακτικά συμπίπτει με τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης στην οποία δεν υπάρχει διάταξη επιβολής πλευρικής τάσης σ_3 .

Κατά τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης μετράται άμεσα η αντίστοιχη αντοχή του δοκιμίου σ και υπολογίζεται εύκολα η αστράγγιστη αντοχή c_u ίση με $\frac{\sigma}{2}$. Η κατάσταση αυτή για τις περιπτώσεις των κανονικά στερεοποιημένων και ελαφρά υπερστερεοποιημένων συνεκτικών εδαφών, κατά κανόνα είναι η πιο δυσμενής και αντιστοιχεί στη πράξη με περιπτώσεις στις οποίες μεγάλο τμήμα του συνολικού φορτίου προσάγεται σε μικρό χρονικό διάστημα.

- Δοκιμή με στερεοποίηση - χωρίς αποστράγγιση με μέτρηση της πίεσης του νερού των πόρων (CUPP)

Κατά τη δοκιμή αυτή, εκφράζεται η κατάσταση των τάσεων σ' ένα προστερεοποιημένο κυλινδρικό δοκίμιο εδάφους, όπου κατά την τριαξονική φόρτισή του δεν λαμβάνει χώρα αποστράγγιση του νερού των πόρων.

Κατά τη δοκιμή, μετράται η πίεση του νερού των πόρων. Κατά το στάδιο της διάτμησης, η ταχύτητα φόρτισής του θα πρέπει να είναι αρκετά βραδεία ώστε η πίεση των πόρων να είναι περίπου ίδια σε όλο το ύψος του δοκιμίου. Η τύπου CUPP δοκιμή φαίνεται να αντιστοιχεί στην πράξη σε αργιλικά εδάφη, στις περιπτώσεις που το κινητό φορτίο είναι σχετικά σημαντικό. Για την περίπτωση εδαφών που δεν αποστραγγίζονται, οι κύκλοι του Mohr που χαράζονται αντιστοιχούν σε ενεργές τάσεις και οι παράμετροι που υπολογίζονται είναι οι c' , ϕ' .

- Δοκιμή με στερεοποίηση και με αποστράγγιση (CD)

Κατά τη δοκιμή αυτή, εκφράζεται η κατάσταση των τάσεων σ' ένα κυλινδρικό δοκίμιο εδάφους, όπου κατά την τριαξονική φόρτιση μετά από την στερεοποίηση λαμβάνει χώρα αποστράγγιση του νερού των πόρων του δοκιμίου.

Κατά το στάδιο της διάτμησης, η ταχύτητα φόρτισης του δοκιμίου θα πρέπει να είναι τόσο βραδεία, ώστε πρακτικά να μην αναπτύσσεται καμία πίεση του νερού των πόρων στο δοκίμιο ($u=0$). Η δοκιμή αυτού του τύπου αντιστοιχεί στα αμμώδη εδάφη κάτω από οποιοσδήποτε πραγματικές συνθήκες (επειδή οδηγεί σε $c=0$ και $\phi \neq 0$), ενώ για τα συνεκτικά εδάφη αντιστοιχεί γενικά στην περίπτωση που ο χρόνος κατασκευής είναι αργός και το κινητό φορτίο είναι μικρό.

Ο χρόνος στερεοποίησης για τις δοκιμές CUPP και CD διαρκεί είτε μέχρι πλήρους αποστράγγισης του δοκιμίου, για το δεδομένο φορτίο προστερεοποίησης, που ελέγχεται με τη βοήθεια μιας μπιουρέτας, όπου μαζεύεται το νερό αποστράγγισης, είτε μέχρι μηδενισμού της πίεσης του νερού των πόρων του δοκιμίου.

Η τριαξονική δοκιμή εκτελείται στο εργαστήριο από ένα ολοκληρωμένο ηλεκτρονικό σύστημα τριαξονικών δοκιμών εδαφικών δοκιμών, που περιλαμβάνει πλήρες σύστημα πλαισίου φόρτισης τριαξονικής συσκευής, σύστημα 2 ηλεκτρονικών controllers πίεσης όγκου, ηλεκτρονικό pore pressure transducer, ανεξάρτητο ηλεκτρονικό σύστημα προετοιμασίας δειγμάτων, ένα ηλεκτρονικό σύστημα σύνδεσης όλων των συσκευών με ηλεκτρονικό υπολογιστή και ειδικό software επεξεργασίας.

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει όλους τους αυτοματισμούς μέτρησης, καταγραφής και εκτέλεσης υπολογισμών, μέσω Η/Υ, με στόχο την αυτοματοποιημένη διαδικασία της δοκιμής και της παροχής του τελικού προϊόντος, το οποίο αφορά τη μηχανική συμπεριφορά του εδάφους σε διαφορετικές πλευρικές και κατακόρυφες φορτίσεις. Η αυτοματοποιημένη εκτέλεση της δοκιμής, μέσω ηλεκτρονικών συστημάτων, του υπολογισμού των μηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφών σε διάφορες πιθανές εντατικές καταστάσεις και προσδιορισμού της συμπεριφοράς του κατά την εκτέλεση ενός τεχνικού έργου συμβάλλει στην αύξηση της



απόδοσης των παρεχομένων υπηρεσιών εργαστηριακών δοκιμών Εδαφομηχανικής του Εργαστηρίου.

Η χρησιμοποίηση της τριαξονικής συσκευής συμπληρώνει τις ήδη παρεχόμενες υπηρεσίες εδαφομηχανικής και συντελεί στην παροχή εξειδικευμένων και ολοκληρωμένων υπηρεσιών σε τομείς όπως οι τεχνικογεωλογικές μελέτες για την ασφαλή κατασκευή των επιφανειακών και υπόγειων τεχνικών έργων (κατολισθήσεις, αυτοκινητόδρομοι, φράγματα, σήραγγες, μέτρα προστασίας κλπ), οι μελέτες οικιστικής καταλληλότητας, η εκπόνηση μικροζωνικών και περιβαλλοντικών μελετών, η προστασία των μνημείων, η εκπόνηση μελετών για την εξεύρεση χώρων υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) κτλ.

3.2 Διάτμηση

Διάτμηση ονομάζεται η καταπόνηση που εμφανίζεται σε ένα σώμα όταν δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις ενεργούν κάθετα στον άξονα του.

Διατμητική τάση ονομάζεται το πηλίκο της παράλληλης ή εφαπτομενικής δύναμης που εφαρμόζεται σε μια διατομή του υλικού προς την επιφάνεια της διατομής. Δηλαδή η διατμητική τάση είναι η τάση που είναι παράλληλη στο επίπεδο της διατομής. Συμβολίζεται δε με το ελληνικό μικρό γράμμα τ (ταυ). Μονάδα μέτρησης της διατμητικής τάσης στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) είναι το Πασκάλ που είναι ίσο με 1 Νιούτον (μονάδα ασκούμενης δύναμης) ανά τετραγωνικό μέτρο (μέτρο επιφάνειας εφαρμογής στο SI).

Διατμητικές τάσεις εμφανίζονται και στο εσωτερικό στοιχείων που καταπονούνται από στρέψη λόγω στην στροφής κάθε διατομής σε σχέση με την επόμενη.

3.3 Θλίψη

Θλίψη ονομάζεται η εντατική κατάσταση κατά την οποία σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς που τείνουν να το συμπιέσουν και είναι μία από τις δύο μονοαξονικές εντατικές καταστάσεις ενός παραμορφώσιμου στερεού σώματος. Η άλλη μονοαξονική εντατική κατάσταση είναι ο εφελκυσμός.

Η θλίψη ή συμπίεση είναι η μείωση του όγκου ενός υλικού λόγω της πίεσης που ασκείται, όπως στα κτήρια το είδος της τάσης που προκαλεί τη μείωση του μήκους των ινών ενός ξύλινου μέλους. Η δύναμη συμπίεσης είναι η ιδιότητα ενός υλικού αντιστέκεται στη θραύση που προκαλεί η συμπίεση.

3.4 Εφελκυσμός

Εφελκυσμός ονομάζεται η εντατική κατάσταση κατά την οποία σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς που τείνουν να το επιμηκύνουν (πάνω σχήμα).

Ο εφελκυσμός εκφράζει τη μέγιστη καταπόνηση που μπορεί να αντέξει ένα υλικό, που υφίσταται φορτίο εφελκυσμού, χωρίς να διασπαστεί και είναι μια μονοαξονική εντατική κατάσταση ενός παραμορφώσιμου στερεού σώματος. Η ένταση εφελκυσμού είναι η ένταση που αναπτύσσεται από ένα υλικό που υποστηρίζει ένα φορτίο έλξης.

Όταν η εξωτερική δύναμη ασκείται στο κέντρο βάρους της διατομής ο εφελκυσμός ονομάζεται κεντρικός. Με την προϋπόθεση ότι το στοιχείο είναι ευθύγραμμο, η διατομή



παραμένει σταθερή και η εξωτερική δύναμη ασκείται ομοιόμορφα ισχύει ότι οι τάσεις κατανέμονται ομοιόμορφα στη διατομή.

3.5 Κύκλοι Mohr

Ο Γερμανός Otto Mohr, μέσω των ομώνυμων κύκλων Mohr έδωσε τη δυνατότητα γραφικής απεικόνισης των τάσεων. Μέσω των κύκλων Mohr, δίνεται η δυνατότητα να προσδιοριστούν οι τάσεις που αναπτύσσονται σε ένα επίπεδο οποιουδήποτε συστήματος αναφοράς, όταν οι ασκούμενες εξωτερικές τάσεις ανήκουν σε διαφορετικό σύστημα. Ο κύκλος του Mohr, επομένως, αποτελεί μια γραφική παράσταση των τιμών και των μεταβολών των τιμών, των κάθετων και διατμητικών τάσεων, που αναπτύσσονται σε κάθε τυχαίο επίπεδο, που διέρχεται από το σώμα που παραμορφώνεται.

Τα γεωμετρικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν τους κύκλους αυτούς είναι:

- Κέντρο κύκλου Mohr $\text{κέντρο} = \frac{\sigma\chi + \sigma\psi}{2}$
- Ακτίνα κύκλου Mohr $\text{ακτίνα} = \sqrt{\left[\frac{\sigma\chi - \sigma\psi}{2}\right]^2 + \tau\chi\psi^2}$
- Κύριες τάσεις $\sigma_{1,2} = \frac{\sigma\chi - \sigma\psi}{2} \pm \sqrt{\left[\frac{\sigma\chi - \sigma\psi}{2}\right]^2 + \tau\chi\psi^2}$

Με τη χάραξη του κύκλου προσδιορίζονται τα σημεία τομής του κύκλου και του άξονα των σ . Τα δύο σημεία τομής παριστούν τις δύο κύριες τάσεις, δηλαδή τις ορθές τάσεις, στις διευθύνσεις των οποίων οι διατμητικές τάσεις είναι ίσες με 0.

Οι επίκεντρες γωνίες, που ορίζονται μεταξύ διαμέτρων του κύκλου Mohr, είναι διπλάσιες των γωνιών που σχηματίζονται μεταξύ των διευθύνσεων στις οποίες αντιστοιχούν.

Κατά την ανάπτυξη σε ένα σώμα μιας δύναμης, σε μια δύο διαστάσεων θεώρηση, καταλήγουμε μετά από μια σειρά αναγωγών στις παρακάτω εξισώσεις:

$$\sigma_n \text{ (άπειρες τιμές)} = \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\right) + \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right) \sin 2\theta \quad (1)$$

$$\sigma_s = \tau \text{ (άπειρες τιμές)} = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right) \eta\mu 2\theta \quad (2)$$

όπου θ = η γωνία που σχηματίζει η κάθετος σε κάποιο τυχαίο επίπεδο, που διέρχεται από το παραμορφωμένο σώμα, με τη σ_1 .

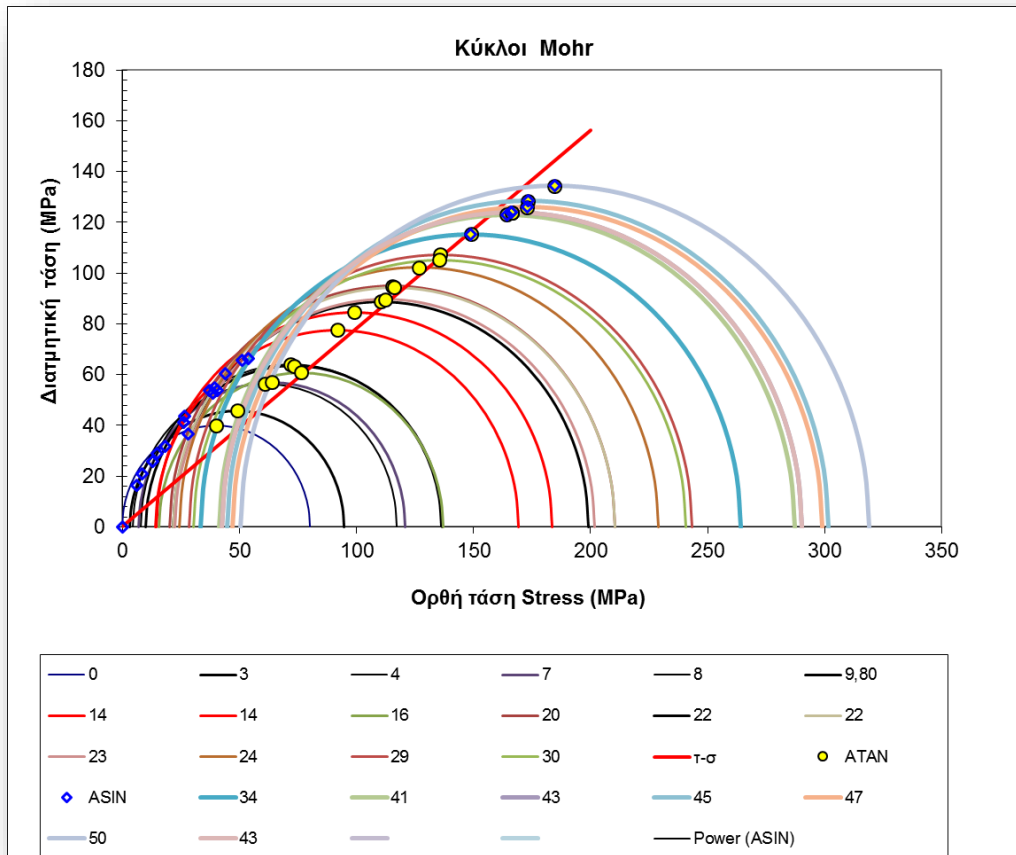
Οι εξισώσεις (1) και (2) ορίζουν συνεπώς, έναν κύκλο σε ένα σύστημα συντεταγμένων, με άξονες σ_n (οριζόντιος, τιμές κάθετων τάσεων) και σ_s ή τ (κατακόρυφος, τιμές διατμητικών τάσεων).

Το κριτήριο αστοχίας κατά Mohr παραδέχεται την ύπαρξη γραμμικής ή όχι περιβάλλουσας διατμητικής αντοχής. Αστοχία λαμβάνει χώρα όταν ο τασικός κύκλος σ_1 , σ_3 εφάπτεται της



περιβάλλουσας. Η διεύθυνση της επιφάνειας θραύσεως λαμβάνεται από την κάθετο προς την περιβάλλουσα.

Ενδεικτικά, ως παράδειγμα παρατίθενται οι κύκλοι Mohr του ψαμμίτη μετά την ανάλυση αποτελεσμάτων των δοκιμών σε τριαξονική θλίψη ('Mohr Circles STEFANOS' Excel καρτέλα 65).



Σχήμα 1: Κύκλοι Mohr Ψαμμίτη (Sandstone)

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την εξαγωγή των συμπερασμάτων κρίνεται σκόπιμη η παρουσίαση του τρόπου ανάλυσης των εργαστηριακών δοκιμών βήμα βήμα. Ακολουθούμε ως μοτίβο και παράδειγμα το πέτρωμα της καρτέλας νούμερο 66 του Excel “SHEOREY-KARAMPALIS”. Το πέτρωμα αυτό είναι το μάρμαρο. Ο τόπος διεξαγωγής της δοκιμής είναι η Καρράρα της Τοσκάνης στην Ιταλία, όπου είναι φημισμένα τα λατομεία που εξάγουν λευκά μάρμαρα. Οι μελετητές είναι οι Franklin και Hoek και διεξήγαν τη δοκιμή αυτή το 1970. Πήραν συνολικά δώδεκα μετρήσεις για τη μέγιστη ορθή τάση σ_1 και δώδεκα για την ελάχιστη ορθή τάση σ_3 και έπειτα υπολόγισαν τις διαφορές και τα αθροίσματα τους, που φαίνονται στον πίνακα 1.

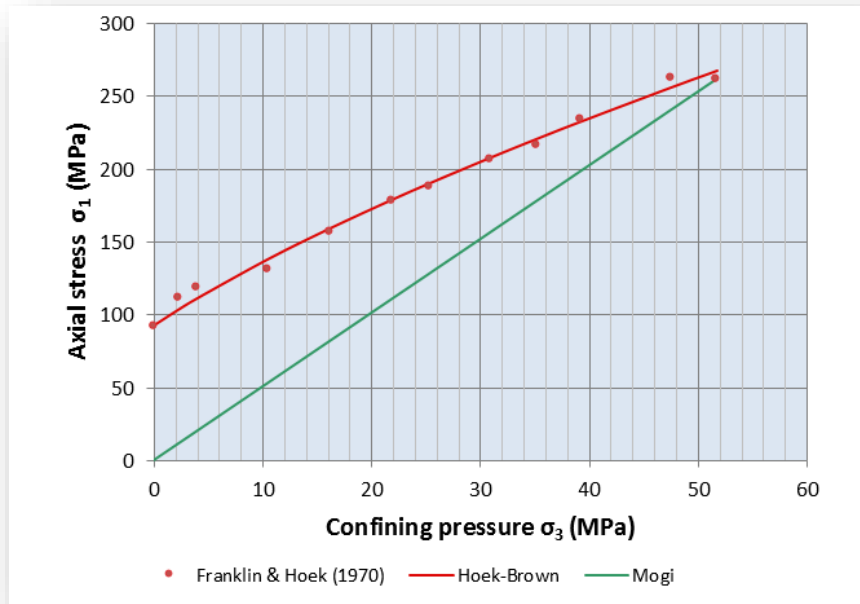
Πίνακας 1: Τιμές ορθών τάσεων σε MPa

σ_3	σ_1	$\sigma_1 - \sigma_3$	$\sigma_1 + \sigma_3$
0	92,4	92,4	92
2,2	111,6	109,4	114
3,9	119,1	115,2	123
10,5	131,1	120,6	142
16,2	156,4	140,2	173
21,8	179,2	157,4	201
25,2	188,1	162,9	213
30,9	205,9	175,0	237
35,2	217,2	182,0	252
39,1	234,4	195,3	274
47,5	263,1	215,6	311
51,7	262,2	210,5	314

Στη συνέχεια, υπολόγισαν το λόγο $m = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3}$, το οποίο δίνει και το αντίστοιχο τόξο ημιτόνου ϕ σε μοίρες. Χρησιμοποιήθηκε ο τύπος $\sigma_3 + \sigma_{ci} * \left(m_i * \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + 1 \right)^{0,5}$, για τον υπολογισμό του κριτηρίου H-B fit, όπου σ_{ci} είναι η μικρότερη τιμή των μεγίστων τάσεων σ_1 και m_i παράμετρος ιδιότητας βράχου και υπολογίζεται προσεγγιστικά με δοκιμές μέσω των διαγραμμάτων, είτε από το πρόγραμμα Rocklab. Τέλος, για τον υπολογισμό της γραμμής του Mogi, απαιτείται ο συντελεστής k , που είναι ίσος με $\frac{\sigma_{1T}}{\sigma_{3T}} = \frac{\text{μέγιστη τιμή μεγίστων τιμών } \sigma_1}{\text{μέγιστη τιμή ελαχίστων τιμών } \sigma_3}$, καθώς και ο υπολογισμός των τιμών $\frac{k}{\sigma_3}$ για κάθε τιμή.

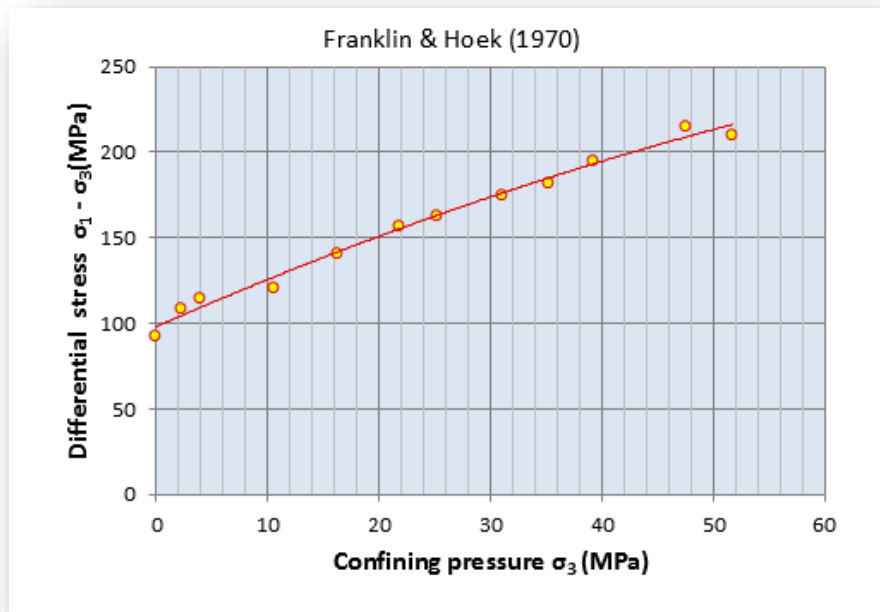
Με βάση αυτά αναπτύσσονται τρία διαγράμματα που φαίνονται στα διαγράμματα 1,2,3 παρακάτω.





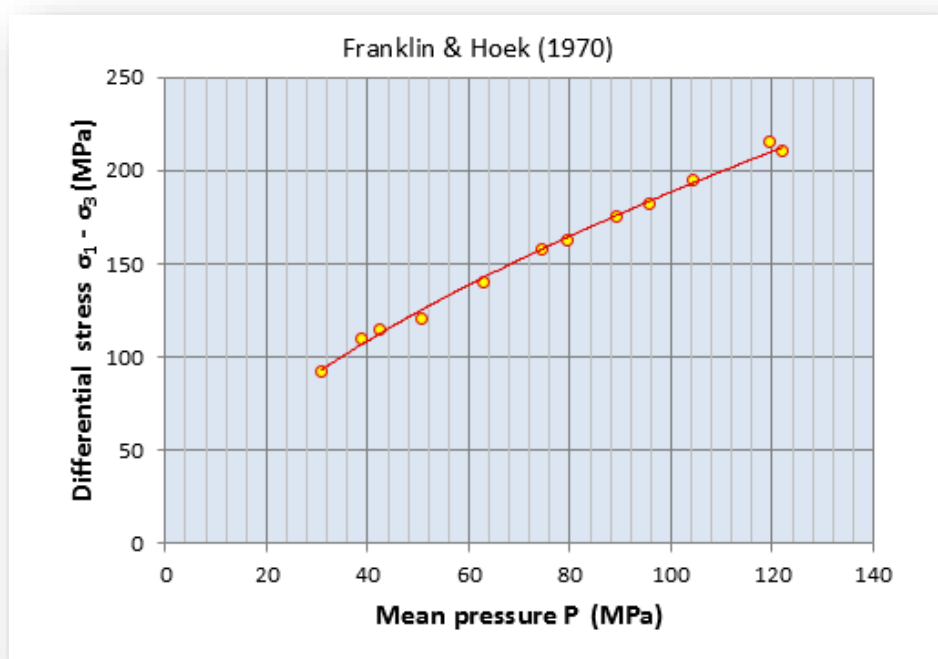
Διάγραμμα 1: Αξονική καταπόνηση σ_1 – Περιοριστική πίεση σ_3 , με γραμμή Mogi

Στο διάγραμμα αυτό διακρίνουμε τις τάσεις σ_1 και σ_3 , καθώς και τη γραμμή Mogi (βλ. ορισμοί), η οποία συμβολίζεται με πράσινο χρώμα και αντλεί δεδομένα από τη στήλη Mogi και τη στήλη σ_3 . Η κόκκινη γραμμή είναι η γραμμή Hoek-Brown και αλλάζει, όταν αλλάζει η τιμή της παραμέτρου m_i . Αντλεί δεδομένα από τις στήλες σ_1 και σ_3 .



Διάγραμμα 2: Διαφορά αξονικής καταπόνησης σ_1 και περιοριστικής πίεσης σ_3 – Περιοριστική πίεση σ_3

Στο διάγραμμα 2 χρησιμοποιούνται οι στήλες $Q = \sigma_1 - \sigma_3$ και η σ_3 . Εδώ, μπορεί να παρατηρηθεί ή όχι η αναλογία της τάσης σ_3 . Η καταπόνηση σ_1 εκφράζει τη δύναμη που ασκείται στη μονάδα επιφάνειας σε ένα στερεό υλικό που αντιστέκεται στο διαχωρισμό, στη συμπίεση ή στην ολίσθηση, που τείνουν να εφαρμόσουν εξωγενείς δυνάμεις. Η πίεση σ_3 εκφράζει τη δύναμη που ασκείται ομοιόμορφα σε όλες τις κατευθύνσεις. Αποτελεί μέτρο της δύναμης που ασκείται σε κάθε μονάδα επιφάνειας.



Διάγραμμα 3: Διαφορά αξονικής καταπόνηση σ_1 και περιοριστικής πίεσης σ_3 – Μέσης ωφέλιμης πίεσης P

Στο διάγραμμα 3, ο κάθετος άξονας ανήκει στη διαφορά $Q = \sigma_1 - \sigma_3$ και ο οριζόντιος στη μέση ωφέλιμη πίεση P. Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται συχνά στην εκτίμηση της θετικής μετατόπισης της επίδοσης των μηχανημάτων και ο οποίος εκφράζει τη μέση καθαρή διαφορά πίεσης στις δύο πλευρές του εμβόλου σε κινητήρες, αντλίες και συμπιεστές. Είναι επίσης γνωστή με τον όρο mean effective pressure.

Έπειτα, παίρνουμε τις τιμές σ_3 και σ_1 από το Excel αυτό και τις βάζουμε στο Excel με όνομα “Mohr Circles STEFANOS”. Εδώ, σκοπός είναι η εξαγωγή κύκλων του Mohr. Κάθε ζευγάρι τιμών αντιστοιχεί και σε ένα κύκλο.

Για τον υπολογισμό του κάθε κύκλου, πρέπει να υπολογιστεί η διάμετρος και έπειτα η ακτίνα και το κέντρο του. Η διάμετρος υπολογίζεται εύκολα από τη διαφορά $\sigma_1 - \sigma_3$ και ως συνέπεια η ακτίνα θα είναι η μισή της διαμέτρου, δηλαδή $\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$. Το κέντρο του κύκλου υπολογίζεται από το ημίθροισμα των τιμών, δηλαδή $\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ (πίνακας 2).

Πίνακας 2: Τιμές κέντρου και ακτίνας

Διάμετρος κύκλου Mohr	Κέντρο κύκλου	Ακτίνα κύκλου
$\sigma_1 - \sigma_3$	$(\sigma_1 + \sigma_3)/2$	$(\sigma_1 - \sigma_3)/2$
92,4	46,2	46,2
109,4	56,9	54,7
115,2	61,5	57,6
120,6	70,8	60,3
140,2	86,3	70,1
157,4	100,5	78,7
162,9	106,7	81,5
175,0	118,4	87,5
182,0	126,2	91,0
195,3	136,8	97,7
215,6	155,3	107,8
210,5	157,0	105,3

Έπειτα, υπολογίζονται για κάθε τιμή οι συντεταγμένες x , y από τους τύπους $x = \cos * 0,017453293$ και $y = \sin * 0,017453293$, με θ σε rad (πίνακας 3).

Πίνακας 3: Συντεταγμένες x , y

x	y	$\theta(\text{degrees})$	$\theta(\text{radians})$
1	0	0	0
0,984808	0,173648	10	0,174533
0,939693	0,34202	20	0,349066
0,866025	0,5	30	0,523599
0,766044	0,642788	40	0,698132
0,642788	0,766044	50	0,872665
0,5	0,866025	60	1,047198
0,34202	0,939693	70	1,22173
0,173648	0,984808	80	1,396263
1,79E-09	1	90	1,570796
-0,17365	0,984808	100	1,745329
-0,34202	0,939693	110	1,919862
-0,5	0,866025	120	2,094395
-0,64279	0,766044	130	2,268928
-0,76604	0,642788	140	2,443461

Για κάθε ζευγάρι τιμών υπολογίζουμε ξεχωριστά, με τη βοήθεια των συντεταγμένων x , y , τιμές ανά 10 μοίρες. Έστω ότι η ακτίνα είναι $r = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ και το κέντρο του κύκλου $k = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$, τότε για την εξαγωγή αυτών των τιμών χρησιμοποιούμε τους τύπους $(r * x_i) + k$ και $(r * y_i) + k$ (πίνακας 4 ενδεικτικά).

Πίνακας 4: Ενδεικτικά οι έξι πρώτες τιμές

	X-Values	1	2	3	4	5	6
0	1,00	92,40	111,60	119,10	131,10	156,40	179,20
10	0,98	91,70	110,77	118,22	130,18	155,34	178,00
20	0,94	89,61	108,30	115,63	127,46	152,17	174,45
30	0,87	86,21	104,27	111,38	123,02	147,01	168,66
40	0,77	81,59	98,80	105,62	116,99	140,00	160,79
50	0,64	75,90	92,06	98,52	109,56	131,36	151,09
60	0,50	69,30	84,25	90,30	100,95	121,35	139,85
70	0,34	62,00	75,61	81,20	91,42	110,28	127,42
80	0,17	54,22	66,40	71,50	81,27	98,47	114,17
90	0,00	46,20	56,90	61,50	70,80	86,30	100,50
100	-0,17	38,18	47,40	51,50	60,33	74,13	86,83
110	-0,34	30,40	38,19	41,80	50,18	62,32	73,58
120	-0,50	23,10	29,55	32,70	40,65	51,25	61,15
130	-0,64	16,50	21,74	24,48	32,04	41,24	49,91
140	-0,77	10,81	15,00	17,38	24,61	32,60	40,21
150	-0,87	6,19	9,53	11,62	18,58	25,59	32,34
160	-0,94	2,79	5,50	7,37	14,14	20,43	26,55
170	-0,98	0,70	3,03	4,78	11,42	17,26	23,00
180	-1,00	0	2	4	11	16	21,80
	Y-Values	1	2	3	4	5	6
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,17	8,02	9,50	10,00	10,47	12,17	13,67
20	0,34	15,80	18,71	19,70	20,62	23,98	26,92
30	0,50	23,10	27,35	28,80	30,15	35,05	39,35
40	0,64	29,70	35,16	37,02	38,76	45,06	50,59
50	0,77	35,39	41,90	44,12	46,19	53,70	60,29
60	0,87	40,01	47,37	49,88	52,22	60,71	68,16
70	0,94	43,41	51,40	54,13	56,66	65,87	73,95
80	0,98	45,50	53,87	56,72	59,38	69,04	77,50
90	1,00	46,20	54,70	57,60	60,30	70,10	78,70
100	0,98	45,50	53,87	56,72	59,38	69,04	77,50
110	0,94	43,41	51,40	54,13	56,66	65,87	73,95
120	0,87	40,01	47,37	49,88	52,22	60,71	68,16
130	0,77	35,39	41,90	44,12	46,19	53,70	60,29
140	0,64	29,70	35,16	37,02	38,76	45,06	50,59



150	0,50	23,10	27,35	28,80	30,15	35,05	39,35
160	0,34	15,80	18,71	19,70	20,62	23,98	26,92
170	0,17	8,02	9,50	10,00	10,47	12,17	13,67
180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

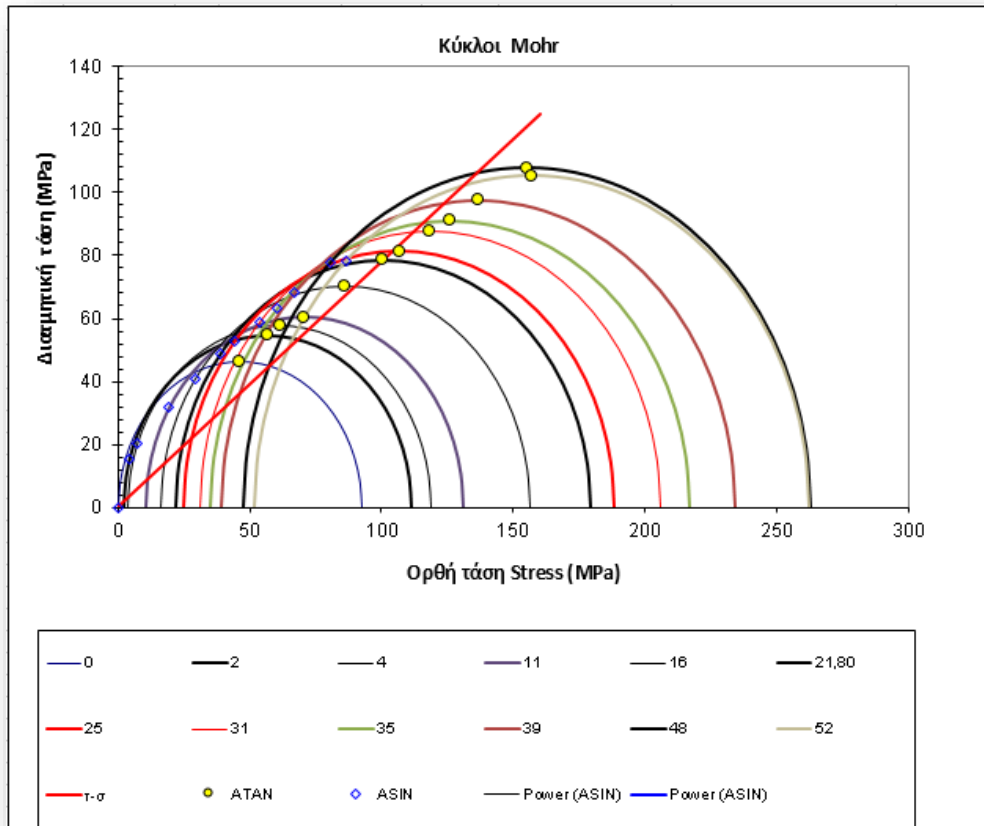
Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα τόξα εφαπτομένης και ημιτόνου σε μοίρες για τη κάθε τιμή από τους τύπους $Asin\left(\frac{\sigma_1-\sigma_3}{\sigma_1+\sigma_3}\right)$ και $Atan\left(\frac{\sigma_1-\sigma_3}{\sigma_1+\sigma_3}\right)$ και τέλος οι τιμές για το x, y (πίνακας 5) από τους τύπους $0,5 * (\sigma_1 + \sigma_3) - 0,5 * (\sigma_1 + \sigma_3) * \sin(Asin * \pi/180)$ και $0,5 * (\sigma_1 - \sigma_3) * \cos(Asin * \pi/180)$.

Πίνακας 5: Τιμές τόξων εφαπτομένης και ημιτόνου

$Asin(\sigma_1-\sigma_3)/(\sigma_1+\sigma_3)$	90,00	74,02	69,49	58,40	54,32	51,54	
$Atan(\sigma_1-\sigma_3)/(\sigma_1+\sigma_3)$	45,00	43,87	43,12	40,42	39,09	38,06	
	0,00	4,31	7,55	19,44	29,36	38,87	
x	0	0	0	0	0	0	
y	*	0,00	4,31	7,55	19,44	29,36	38,87
	*	0,00	15,06	20,19	31,60	40,89	48,94
	0	0	0	0	0	0	
	0,00	15,06	20,19	31,60	40,89	48,94	

Τελικά, εξάγουμε το διάγραμμα των κύκλων Mohr για το συγκεκριμένο πέτρωμα (σχήμα 2), στοιχεία του οποίου είναι τα εξής:

- Ο κάθετος άξονας φέρει τις τιμές της διατμητικής τάσης τ , ενώ ο οριζόντιος της ορθής τάσης σ .
- Όλες οι τιμές είναι σε MPa.
- Τα τόξα εφαπτομένης του κάθε κύκλου είναι στη κορυφή του ημικυκλίου κι αυτό γιατί είναι στις 90μοίρες και συμβολίζονται με κίτρινες κουκκίδες.
- Τα τόξα ημιτόνου συμβολίζονται με μπλε ρόμβο και υπολογίστηκαν από τις τιμές με αστερίσκο (*) του πίνακα 5.
- Η κόκκινη γραμμή διάτμησης – τάσης ($\sigma - \tau$) εξαρτάται από τις τιμές του θα θέσει ο κάθε αναλυτής στα πεδία του πίνακα 6. Θα πρέπει έστω και προσεγγιστικά με το μάτι να είναι ανάμεσα στα κίτρινα σημεία διασποράς. Συγκεκριμένα στο παράδειγμα, η γραμμή μεγαλώνει ή μικραίνει όσο μεγαλώνει ή μικραίνει και η τιμή με μπλε φόντο αντίστοιχα. Η γραμμή πλησιάζει τον οριζόντιο άξονα, όσο μικραίνει η τιμή στο κόκκινο φόντο, ενώ πλησιάζει τον κάθετο άξονα, όταν η τιμή μεγαλώνει.
- Εξ' ορισμού, η μέγιστη ορθή τάση σ_1 παρατηρείται στην ελάχιστη διατομή.



Σχήμα 2: Κύκλοι Mohr για τη συγκεκριμένη δοκιμή σε μάρμαρο

Πίνακας 6: Τιμές γραμμής σ – τ

38,0	0,781
0	0,000
160	125,006

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ (αλφαβητική σειρά)

Άμορφο ορυκτό - Είναι μια στερεή η υγρή ουσία χωρίς περιοδική διάταξη των ατόμων της, που απαντά στο φλοιό της γης. Παράδειγμα ο ορυκτός άνθρακας και το πετρέλαιο.

Ανακρυστάλλωση – Η μετασχημάτιση κάτω από θερμότητα και πίεση σε βαθμό τέτοιο, ώστε να εμφανίζουν μορφή πολύ διαφορετική από τα αρχικά πετρώματα.

Απόθεση – Εξαρτάται από το ιοντικό δυναμικό (Z/r όπου Z : φορτίο του ιόντος και r : ακτίνα του ιόντος), τις συνθήκες οξειδοαναγωγής και το pH. Το ιοντικό δυναμικό καθορίζει κατά πόσο το αντίστοιχο ιόν αποκτά βασικές ή όξινες ιδιότητες. Τα στοιχεία με μικρό ιοντικό δυναμικό, π.χ. K, Na, Ca, Mg έχουν μεγαλύτερη διαλυτότητα και για υψηλές τιμές pH παραμένουν εν διαλύσει κατά το στάδιο μεταφοράς. Στοιχεία με μέσο ιοντικό αριθμό όπως Al, Zn καθιζάνουν με υδρόλυση. Στοιχεία με υψηλό ιοντικό δυναμικό όπως P, N, C, S σχηματίζουν ευδιάλυτα οξυανιόντα.

Αποσάθρωση – Εξαρτάται από φυσικούς παράγοντες (νερό, άνεμος), χημικούς (αέρας, νερό) και βιοχημικούς (οργανική ύλη, ρίζες φυτών, ζωικούς οργανισμούς).

Άργιλος – Είναι πολύ λεπτόκοκκο έδαφος, κολλοειδούς μορφής. Το σχήμα των αργιλικών σωματιδίων, σε αντίθεση με την ιλύ και την άμμο είναι πεπλατυσμένο και επίμηκες. Η μέγιστη διάσταση των σωματιδίων είναι 0,008mm.

Βαθόλιθοι – Μορφές όγκων στερεοποιημένου μάγματος που δημιουργήθηκαν από γρανιτικό πέτρωμα, σχήματος στερεού ελλειπτικού και διαστάσεων 5 -50 km.

Γεωσύγκλινο – Μία μεγάλη κοιλότητα της επιφάνειας της Γης ανάμεσα σε δύο ηπείρους

Γη διατόμων – Ορυκτό φυτικής προέλευσης

Διαγένεση – Η μεταβολή ενός ψαθυρού πετρώματος σε συμπαγές. Σε αυτό συμβάλλει η πίεση των υπερκείμενων πετρωμάτων και έχει ως αποτέλεσμα τη συμπίεση, συγκόλληση, ανακρυστάλλωση, δολομιτίωση των υποκείμενων πετρωμάτων.

Διαπερατότητα – Όταν οι πόροι και τα κενά ενός πετρώματος συγκοινωνούν μεταξύ τους είναι δυνατόν ένα υγρό ή ένα αέριο να κυκλοφορήσει μέσα σ' αυτό.

Έδαφος – Ο φυσικός σχηματισμός που δημιουργείται στην επιφάνεια της γης από τα προϊόντα αποσάθρωσης των πετρωμάτων με την μακρόχρονη επίδραση των κλιματολογικών συνθηκών και την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών. Το έδαφος έχει βάθος από 0 έως 15 μέτρα και αποτελείται από στερεή φάση (περιλαμβάνει τα ανόργανα και οργανικά συστατικά), το νερό και τον αέρα.

Εξαλλοίωση – Η χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων η οποία ευνοείται από τη μεταβολή της θερμοκρασίας, το οξυγόνο του αέρα, το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα κ.λπ.

Ζωνώδης υφή – Εμφανής συγκέντρωση συγκεκριμένων ορυκτών συστατικών σε φακοειδείς ή επιμήκεις ζώνες.

Ϊζημα – Το στερεό κατάλοιπο αιωρήματος σε υγρό

Ιλύς – Αποτελεί ομάδα εδάφους με λεπτούς σφαιρικούς κόκκους, που χαρακτηρίζονται από πολύ μικρή διαπερατότητα. Δεν συγκρατούν θρεπτικά συστατικά. Η άμμος και η ιλύς συνιστώνται από πρωτογενή υλικά (αστρίους, χαλαζία, μαρμαρυγίες) που προήλθαν από μηχανική αποσάθρωση των πετρωμάτων.

Ιστός – Ο τρόπος εμφάνισης των ορυκτών συστατικών μέσα στη μάζα του πετρώματος, ο βαθμός κρυστάλλωσής τους, το μέγεθος και το σχήμα τους



Κρυσταλλικό ορυκτό – Στερεό σώμα με χημική σύσταση τελείως ορισμένη π.χ. χαλαζίας ή κυμαινόμενη σε στενά όρια π.χ. πλαγιόκλαστα, του οποίου τα άτομα βρίσκονται σε τρισδιάστατη περιοδική διάταξη. Ένα κρυσταλλικό ορυκτό είναι μια ομοιογενής φάση, δηλαδή δεν διαχωρίζεται με μηχανικό τρόπο σε δύο ή περισσότερες ουσίες που να εμφανίζουν διαφορετικές φυσικές ή χημικές ιδιότητες.

Λάβα– Το μάγμα μετά την έκχυσή του στην επιφάνεια της γης

Μάγμα– Φυσικό τήγμα, το οποίο υπάρχει μέσα στη γη σε διάφορα βάθη.

Μεταμόρφωση – Το σύνολο των μεταβολών που υπέστη ένα πέτρωμα στην τελική λιθοποίησή του, αποκλεισμένων εκείνων που οφείλονται σε αίτια επιφανειακά, όπως αποσάθρωση, ενυδάτωση κτλ.

Μεταφορά – Η απομάκρυνση του υλικού αποσάθρωσης από τον τόπο σχηματισμού του μέσω νερού, αέρα, βαρύτητας, παγετώνων κτλ.

Ορογενετική δράση – Με τον όρο αυτόν στη γεωλογία αποκαλείται μία σειρά γεγονότων και ανακατατάξεων του φλοιού της Γης, κατά τη διάρκεια των οποίων ανυψώνονται και πτυχώνονται τεράστιες μάζες πετρωμάτων των γεωσύγκλιων, σχηματίζοντας βουνά.

Πτύχωση – Η παραμόρφωση των στρωμάτων, κυρίως των ιζηματογενών πετρωμάτων, λόγω ενδογενών δυνάμεων

Ραδιολάριο – Είδος πρωτόζωου

Στερεοποίηση – Η αύξηση της αντοχής των αργίλων, λόγω της αναδόμησης του σκελετικού πλέγματος των κόκκων.

Συμπύκνωση – Μεταβολή της αρχικής δομής και διάταξης των κόκκων, με συνέπεια τη μείωση του όγκου υπό την πίεση των υπερκείμενων στρωμάτων.

Σχιστότητα – Είναι η ιδιότητα που παρουσιάζουν πολλά πετρώματα να αποχωρίζονται εύκολα σε πλάκες λόγω στρώσεως που έχει προκύψει από την επίδραση κατευθυνόμενης πίεσης πάνω στο πέτρωμα.

Υδροαπορροφητικότητα – Είναι η ικανότητα που έχει ένα πέτρωμα να απορροφά νερό.

Φλέβες – Διεσδύσεις μάγματος σε ρωγμές του στερεού φλοιού εύρους 1 – 50 m, αλλά μήκους μέχρι πολλών χιλιομέτρων.

Χρωματικός δείκτης (Χ.Δ.)–Το % ποσοστό των έγχρωμων συστατικών ενός πετρώματος

Ground surface (1.100....) – Στην επιφάνεια του εδάφους

Mating surface (B....)–Σημεία όπου διάφορα τμήματα συναρμολόγησης ή συνδεσμολογίας έρχονται σε επαφή μεταξύ τους.

MOGI's line – Η γραμμή του Mogi ορίζει την αναλογία σημαντικών και δευτερευουσών αποτελεσματικών κύριων τάσεων, στις οποίες υπάρχει μια μετάβαση από την εύθραυστη προς την όλκιμη αστοχία.

Relative displacement – Σχετική μετατόπιση, cm

Virgin rock (UB....) – Αδούλευτα, ανέγγιχτα και άθικτα κομμάτια βράχου. Συχνά αναφέρεται για περιοχές, όπου δεν υπήρξε εξόρυξη άνθρακα.

μ – Συντελεστής τριβής $[0,6 + 0,5/\sigma_n]$, καθαρός αριθμός

σ_1, σ_3 –Το ελλειψοειδές των τάσεων αποτελεί γεωμετρική έκφραση της δυναμικής κατάστασης ενός σώματος, ή του ταυυστή των τάσεων σ' ένα σώμα, που δέχεται την επίδραση μιας δύναμης. Αποτελείται από τρεις άξονες κάθετους μεταξύ τους. Αυτοί εκφράζουν τις διευθύνσεις και το μέγεθος των τριών κύριων κάθετων τάσεων, από τις άπειρες που



αναπτύσσονται στο σώμα. ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$), σ_1 είναι η μέγιστη, σ_3 η ελάχιστη, σ_2 η ενδιάμεση (συμπιεστικές ή εφελκυστικές).

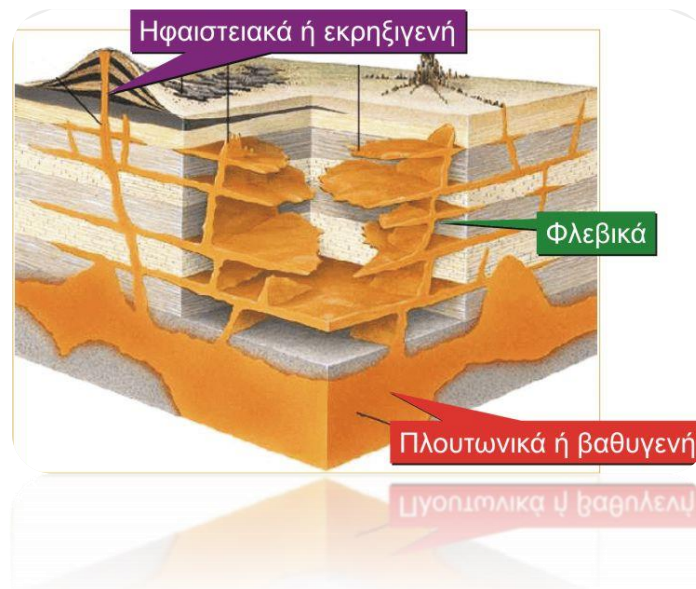
τ – Διατμητική τάση (Δύναμη που μετακινεί ένα στρώμα υλικού σε ένα άλλο), Kilobars

m_i – Σταθερά βράχου, μία από τις τρεις βασικές παραμέτρους εισόδου που απαιτούνται για το ευρέως χρησιμοποιούμενο κριτήριο αστοχίας Hoek-Brown.

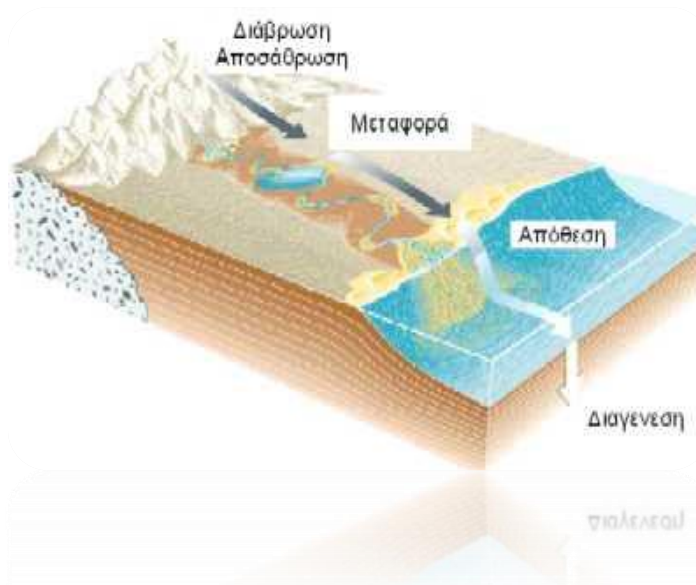
σ_n – Τάση, Kilobars



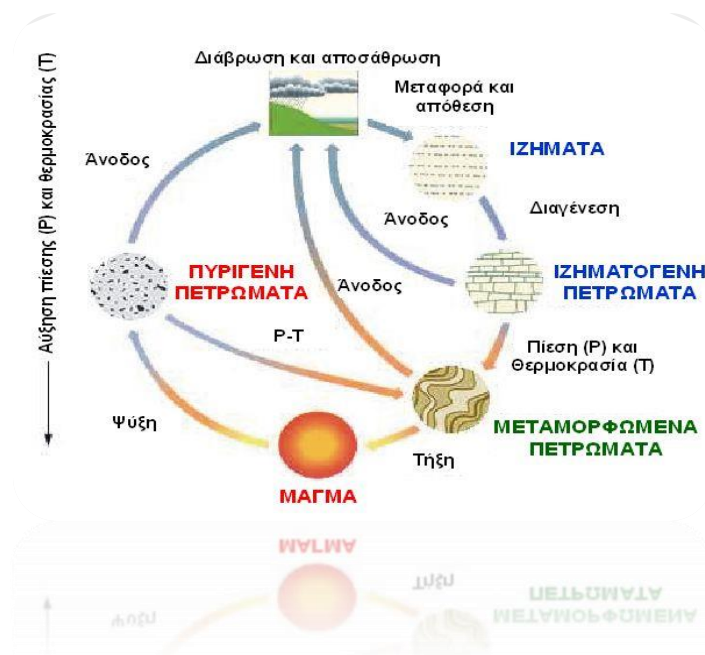
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι



Εικόνα 69: Κατηγορίες πυριγενών πετρωμάτων



Εικόνα 70: Σχηματισμός ιζηματογενών πετρωμάτων



Εικόνα 71: Σχηματισμός μεταμορφωμένων πετρωμάτων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

Επεξήγηση πετρωμάτων σε κατηγορίες (με αλφαβητική σειρά)

Εκρηξιγενή/Πυριγενή

Ανδεσίτης (Andesite)

Έκχυτο ηφαιστειογενές πέτρωμα, λεπτόκοκκο αντίστοιχο του διορίτη, το οποίο αποτελείται από ανδεσιτικού τύπου πλαγιόκλαστα και ορυκτά σιδήρου (φεμικά/Fe), συνήθως μη αποτελούμενο από χαλαζία. Ο ιστός του αποτελείται από ασχημάτιστο υλικό, με μικροσκοπικούς κρυστάλλους, αλλά και φαινοκρυστάλλους (διακρίνονται με γυμνό μάτι). Το χρώμα του ποικίλλει από γκρι έως μαύρο (μπορεί να είναι και πράσινο ή κόκκινο) και χρησιμοποιείται ως δομικό υλικό, χωρίς να μπορεί να στυλβωθεί, λόγω της υφής του. Βρίσκεται σε πολλά μέρη της Ελλάδας, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τον κροκεάτη λίθο στις Κροκεές Πελοποννήσου.



Εικόνα 1: Ανδεσίτης



Εικόνα 2: Ανδεσίτης



Εικόνα 3: Ανδεσίτης

Τόφος με σύναγμα (Agglomerate tuff)

Ο τόφος είναι ένα ηφαιστειακό, πυροκλαστικό, ιζηματογενές πέτρωμα που προέρχεται από εκτινασόμενα υλικά των ηφαιστειών, κυρίως στάχτη, και τις αποθέσεις τους των στερεών αναβλημάτων τους, των οποίων το μέγεθος και η σύσταση ποικίλλουν. Ανάλογα με τη φύση και την ορυκτολογική σύσταση των αναβλημάτων, όπως βολίδες, λίθοι, άμμος, τέφρα, υπάρχουν διαφορετικά είδη τόφων. Γενικά, ο τόφος είναι ελαφρύς, έχει μαλακή σύσταση και χρησιμοποιήθηκε ως δομικό υλικό από την αρχαιότητα, λόγω της εύκολης επεξεργασίας του.

Συγκεκριμένα, το σύναγμα (agglomerate) αποτελείται από τουλάχιστον 75% βολίδες, ενώ το πυροκλαστικό λατυποπαγές (pyroclastic breccia) από τουλάχιστον 75% τεμάχια και βολίδες.



Εικόνα 78: Τόφος



Εικόνα 79: Τόφος με σύναγμα



Εικόνα 80: Πυροκλαστικό
λατυποπαγές

Βασάλτης (Basalt)

Πυριγενές, ηφαιστειακό πέτρωμα, λεπτόκοκκο με υαλώδη έως ολοκρυσταλλικό ιστό, αντίστοιχο έκχυτο του γάββρου, με φαινοκρυστάλλους από πλαγιόκλαστα, αυγίτη, διοψίδιο ή ολιβίνη. Το χρώμα του ποικίλλει από ολομελανοκρατικό έως μελανοκρατικό, γκρι έως μαύρο, αλλά κυριαρχεί ο πορφυριτικός και το καστανοκόκκινο χρώμα, λόγω αποσάθρωσης. Είναι το πιο διαδεδομένο έκχυτο και αποτελεί μεγαλύτερο από το 90% των ηφαιστειογενών πετρωμάτων. Οι ωκεανοί αποτελούνται από βασάλτη και πολλές φεγγαρόπετρες τον έχουν ως βασικό συνθετικό τους. Λόγω της αντοχής του στη μηχανική πίεση, χρησιμοποιείται σε οικοδομικές κατασκευές, όμως παρουσιάζει μέτρια αντίσταση στη φθορά και αποσαθρώνεται εύκολα σε αργιλικά εδάφη.



Εικόνα 4: Βασάλτης



Εικόνα 5: Βασάλτης με ολιβίνη



Εικόνα 6: Βασάλτης σκωριοειδής

Γάββρος (Gabbro)

Πλουτωνικό, πυριγενές πέτρωμα, χρώματος σκούρο γκρι έως μαύρο, με κοκκώδη ιστό. Προέρχεται από κρυστάλλωση βασαλτικού τύπου μάγματος σε υπόγειο περιβάλλον, αποτελούμενο από πλαγιόκλαστα και Fe-Mg ορυκτά, πυρόξενο, ολιβίνη ή κεροσίλβη, αλλά και σπάνια από μικρές ποσότητες χαλαζία. Ορυκτά του είναι ο βιοτίτης, απατίτης, μαγνητίτης και χρωμίτης. Στον ελλαδικό χώρο βρίσκεται κυρίως στη Θεσσαλία και τη Χαλκιδική και χρησιμοποιείται σε διακοσμητικές κατασκευές (π.χ. κτηρίων), με την προϋπόθεση ότι δεν έχει αλλοιωθεί.



Εικόνα 7: Γάββρος



Εικόνα 8: Γάββρος



Εικόνα 9: Γάββρος

Γρανίτης (Granite)

Πλουτωνικό, όξινο πέτρωμα, ολοκρυσταλλικού και κοκκώδους ιστού, ανοιχτού χρώματος συνήθως. Αποτελείται από ορθόκλαστα, πλαγιόκλαστα και χαλαζία (συνήθως περισσότερα

ορθόκλαστα) και μικρότερες ποσότητες βιοτίτη ή μοσχοβίτη. Αποσαθρώνεται αργά προς αμμώδη / αργιλικά εδάφη. Στην Ελλάδα βρίσκεται στη Μακεδονία, στη Θράκη και στο Αιγαίο. Λόγω της σκληρότητάς του, χρησιμοποιείται από κατασκευαστικές εταιρείες ως διακοσμητικό υλικό σε κτήρια, τζάκια, κουζίνες, αλλά και στη κατασκευή αγαλμάτων και έργα οδοποιίας ως συστατικό ειδικού σκυροδέματος.



Εικόνα 10: Γρανίτης



Εικόνα 11: Γρανίτης (τομή)



Εικόνα 12: Γρανίτης (μεγέθυνση)

Λατυποπαγές με γρανίτη (Granite Breccia)

Το συγκεκριμένο πέτρωμα είναι συνδυασμός λατυποπαγούς με γρανίτη. Ειδικότερα, ένα λατυποπαγές, μπορεί να συνδυαστεί με διάφορα πετρώματα, όπως ψαμμίτη, πυριτόλιθο, ασβεστόλιθο, βασάλτη, αλλά και γρανίτη. Το χρώμα του μπορεί να ποικίλλει και εξαρτάται από τα χρώματα του κάθε συστατικού του. Είναι πυριγενές και πλουτωνικό πέτρωμα.



Εικόνα 75: Λατυποπαγές με γρανίτη (διακρίνονται ίχνη χαλαζία και αμέθυστου)



Εικόνα 76: Λατυποπαγές με ασβεστόλιθο



Εικόνα 77: Λατυποπαγές με πυριτόλιθο

Γρανοδιορίτης (Granodiorite)

Συμπαγές, βαθυγενές, πλουτωνικό πέτρωμα, μέσο προς όξινο, παρόμοιο με γρανίτη. Κατά βάση, είναι ανοιχτόχρωμο και αποτελείται από πλαγιόκλαστα και χαλαζία, με λίγα ορθόκλαστα και βιοτίτη, που το ξεχωρίζουν από τον διορίτη. Περιέχει, επομένως, λιγότερους αλκαλικούς αστρίους και περισσότερα πλαγιόκλαστα. Υπάρχει στις Σέρρες, στη Δράμα, στη Ξάνθη, στη Καβάλα κ.α.



Εικόνα 13: Γρανодиρίτης



Εικόνα 14: Γρανодиρίτης



Εικόνα 15: Γρανодиρίτης

Διαβάσης (Diabase)

Έκχυτο, πυριγενές εξαλλοιωμένο και βασαλτικό πέτρωμα, όπως ο δολερίτης. Αλλιώς λέγεται μικρογάββρος, αλλά με μικρότερους κρυστάλλους. Αποτελείται από πλαγιόκλαστα και αυγίτη και μπορεί να είναι είτε χονδρόκοκκο είτε λεπτόκοκκο. Χρησιμοποιείται κυρίως στη κατασκευή οδοστρωμάτων.



Εικόνα 16: Διαβάσης



Εικόνα 17: Διαβάσης



Εικόνα 18: Διαβάσης

Διορίτης (Diorite)

Βαθυγενές, πυριγενές, πλουτωνικό πέτρωμα γρανιτοειδούς ιστού. Αποτελείται από πλαγιόκλαστα και Fe-Mg ορυκτά, κεροσίλβη και σπάνια από βιοτίτη ή αυγίτη. Ανήκει στις κατηγορίες μεσοκρατικού έως μελανοκρατικού, με χρώμα από γκρι έως σκούρο πράσινο. Ανάλογα αν εμπεριέχουν χαλαζία ή όχι στη σύστασή τους, οι διορίτες διακρίνονται σε χαλαζιακούς ή διορίτες χωρίς χαλαζία αντίστοιχα. Στην Ελλάδα βρίσκεται σε γρανιτικές περιοχές, όπως Χαλκιδική, ως μέλη μεγαλύτερων πυριγενών συγκροτημάτων.



Εικόνα 19: Διορίτης



Εικόνα 20: Διορίτης



Εικόνα 21: Διορίτης

Δολερίτης (Dolerite)

Βασικό, φλεβικό, μεσόκοκκο έως λεπτόκοκκο πέτρωμα, ενδιάμεσο του βασάλτη και του γάββρου. Αποτελείται από ανοιχτόχρωμους κρυστάλλους πλαγιοκλάστου σε σχήμα βελόνων και σκουρόχρωμους, κυρίως πυροξένου και ολιβίνης. Το χρώμα του είναι πρασινωπό με στίγματα και χρησιμοποιείται ως δομικό υλικό στις κατασκευές και για την παραγωγή χαλικιών και άμμου οικοδομών.



Εικόνα 22: Δολερίτης



Εικόνα 23: Δολερίτης



Εικόνα 24: Δολερίτης με ολιβίνη

Λαμπροφύρης (Lamprophyre)

Εκρηξιγενές, φλεβικό πέτρωμα, που έχει σκοτεινό χρώμα και είναι πλούσιο σε φεμικά και αλκαλικά συστατικά. Σχηματίζεται όταν παρατηρείται απόκλιση μεταξύ της σύστασης ενός φλεβικού και του αντίστοιχου προς αυτό πλουτώνιου πετρώματος (γρανιτικής σύστασης). Είναι συνήθως ένα μεσοκρατικό έως μελανοκρατικό πέτρωμα βασικής χημικής σύστασης που περιέχει πολλά μαφικά ορυκτά.



Εικόνα 72: Λαμπροφύρης



Εικόνα 73: Λαμπροφύρης



Εικόνα 74: Λαμπροφύρης

Ρυόλιθος (Rhyolite)

Ηφαιστειακό, έκχυτο πέτρωμα, μικροκρυσταλλικό αντίστοιχο του γρανίτη, που σχηματίστηκε κοντά στην επιφάνεια. Μπορεί να εμφανιστεί ζωνώδης. Έχει πορφυριτικό ιστό και αποτελείται από φαινοκρυστάλλους χαλαζία, καθώς και βιοτίτη ή κεροσίλβη, με λωρίδες ή κηλίδες καστανές, πράσινες, γκριζες, ροζ, κόκκινες και λευκές. Παράγωγα και συγγενή του ορυκτά είναι ο περλίτης, η κίσηρη και ο οψιδιανός. Στην Ελλάδα βρίσκεται στην περιοχή της Πέλλας, στη Ροδόπη, στη Χίο και τη Μήλο.



Εικόνα 25: Ρυόλιθος



εικόνα 26: Κίσηρη
(ελαφρόπετρα)



Εικόνα 27: Ρυόλιθος (οψιδιανός)

Χαλαζιακός διορίτης (Quartz diorite)

Βαθυγενές, πυριγενές πέτρωμα με γρανιτώδη ιστό. Είναι διορίτης αποτελούμενος από μικρή ποσότητα χαλαζία.



Εικόνα 28: Χαλαζιακός διορίτης

Ιζηματογενή

Σχιστή άργιλος (Shale)

Συμπαγές, μαλακό και κλαστικό πέτρωμα, με χρώμα καστανό ή γκρι. Η μάζα της διαχωρίζεται από παράλληλες επιφάνειες στρώσης, που αποτελούν και επιφάνειες συνοχής. Σχηματίζεται από τη χαμηλού βαθμού διαγένεση, τη μηχανική συμπίεση της αργίλου και τη συγκόλληση των κόκκων μεταξύ τους. Η ερυθρή σχιστή άργιλος περιέχει οξειδία σιδήρου, ενώ η γκρίζα έως μαύρη περιέχει ανθρακικά υλικά. Έχει μικρή σκληρότητα και αντοχή και χρησιμοποιείται στην κεραμική.



Εικόνα 29: Σχιστή άργιλος



Εικόνα 30: Θρυμματισμένη σχιστή
άργιλος



Εικόνα 31: Σχιστή άργιλος με
χαλαζία

Ασβεστόλιθος (Limestone)

Μονόμεικτο, χημικό πέτρωμα, αποτελούμενο από ασβεστίτη (CaCO_3). Η απόθεση του ανθρακικού ασβεστίου μπορεί να είναι είτε χημική είτε βιογενής από συσσώρευση και συμπαγοποίηση των σκελετικών στοιχείων διαφόρων ζωικών ή φυτικών οργανισμών μετά το θάνατό τους. Συχνά, περιέχει απολιθώματα, από τα οποία μπορεί να εκτιμηθεί η ηλικία και προέλευσή του. Το βασικό συστατικό του έχει χρώμα λευκό, γι αυτό και ο ασβεστόλιθος είναι λευκός ή ανοιχτό γκρι. Μπορεί να περιέχει προσμίξεις ενώσεων οξειδίων και υδροξειδίων του αργιλίου, σιδήρου κ.α., οι οποίες καθορίζουν και το τελικό του χρώμα, συνήθως κόκκινο ή σκούρο γκρι. Όταν περιέχει οξείδιο του μαγνησίου (MgO) σε ποσοστό 5 – 15%, τότε ονομάζεται μαγνησιούχος ασβεστόλιθος. Όταν αυτό το ποσοστό είναι μεγαλύτερο του 15%, τότε ονομάζεται δολομιτικός ασβεστόλιθος. Είναι πολύ διαδομένο πέτρωμα και βρίσκεται σε αφθονία, κυρίως στη Δυτική Ελλάδα.



Εικόνα 32: Ασβεστόλιθος



Εικόνα 33: Ασβεστόλιθος (Λεπτόκοκκος)



Εικόνα 34: Ασβεστόλιθος με απολιθώματα

Κροκαλοπαγές/Λατυποπαγές (Conglomerate/Breccia)

Τα κροκαλοπαγή είναι συμπαγή και προϊόντα μηχανικής αποσάθρωσης και σχηματίζονται μετά από συγκόλληση κροκάλων (στρογγυλεμένα κομμάτια πετρωμάτων) και τα λατυποπαγή σχηματίζονται από τη συγκόλληση λατυπών (γωνιώδη). Οι κροκάλες στα κροκαλοπαγή είναι μεγέθους μεγαλύτερου από 2mm, οι οποίες αποτελούν τουλάχιστον το 50% του πετρώματος και μπορούν να παρατηρηθούν με γυμνό μάτι. Κύριος σχηματισμός και των δύο υπάρχει με την ύπαρξη επίκλυσης ή απόσυρσης της θάλασσας. Η συγκολλητική ύλη είναι συνήθως ασβεστιτική ή χαλαζιακή.



Εικόνα 35: Κροκαλοπαγές



Εικόνα 36: Λατυποπαγές



Εικόνα 37: Λατυποπαγές

Γαϊάνθρακας (Coal)

Χαρακτηρίζεται ως ο ορυκτός άνθρακας που εξορύσσεται από τη Γη σε μέρη που λέγονται ανθρακωρυχεία. Είναι μαύρο καύσιμο, βρίσκεται σε βράχους και αποτελείται κυρίως από άνθρακα, μαζί με μεταβλητές ποσότητες άλλων στοιχείων, κυρίως υδρογόνου, θείου, οξυγόνου και αζώτου. Σχηματίζεται όταν η νεκρή φυτική ύλη μετατρέπεται σε τύρφη, η οποία με τη σειρά της μετατρέπεται σε λιγνίτη, στη συνέχεια σε ασβέστιο άνθρακα, μετά σε ασφαλτικό άνθρακα και τελικά σε ανθρακίτη. Αυτό περιλαμβάνει βιολογικές και γεωλογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα με την πάροδο του χρόνου.



Εικόνα 38: Γαϊάνθρακας



Εικόνα 39: Γαϊάνθρακας



Εικόνα 40: Γαϊάνθρακας

Δολομίτης (Dolomite)

Ο δολομίτης είναι άνυδρο ανθρακικό πέτρωμα, αποτελούμενο από ανάμεικτα ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Στη σύστασή του κυριαρχεί το ορυκτό δολομίτης. Είναι παρόμοιος με τον ασβεστόλιθο, αλλά έχει χαρακτηριστική κυψελώδη σύσταση, ενώ με την επίδραση υδροχλωρικού οξέος δεν αναβράζει εύκολα, όπως ο ασβεστόλιθος. Ο δολομίτης χρησιμοποιείται ως πυρίμαχο τούβλο στην επένδυση των καμίνων και ως πρώτη ύλη για την παρασκευή τσιμέντου (με σαφώς καθορισμένα ποσοστά). Επίσης, στην διατροφή μας ως συμπλήρωμα του ασβεστίου και του μαγνησίου και στη φαρμακευτική (π.χ. μαγνησία). Ακόμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υπόστρωμα σε θαλασσινά ενυδρεία για τη ρύθμιση του ΡΗ του νερού. Ακόμα, προστίθεται στο έδαφος μαζί με ασβεστόλιθο ως ρυθμιστικό ΡΗ και πηγή μαγνησίου. Η ένυδρη μορφή του ονομάζεται υδροδολομίτης.



Εικόνα 41: Δολομίτης (Κοκκώδης)



Εικόνα 42: Δολομίτης με αδρανές πρόσμιγμα



Εικόνα 43: Δολομίτης (λεπτόκοκκος)

Πηλόλιθος (Siltstone)

Κλαστικό πέτρωμα στην επιφάνεια της Γης, διαφόρων χρωμάτων, όπως γκρι, καφετί, άσπρο, κόκκινο, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί, μαύρο κ.α. Κύρια συστατικά του είναι τα αργιλικά ορυκτά (καολινίτης, ιλλίτης, σμεκτίτης, ζεόλιθοι κ.α.), ο χαλαζίας (20-30%), οι άστριοι, ο ασβεστίτης, καθώς επίσης και πολλή οργανική ύλη και απολιθώματα. Μπορεί να περιέχει νερό και υγρούς ή αέριους υδρογονάνθρακες. Το μέγεθος των συστατικών του κυμαίνεται από 0,063mm – 0,004mm. Προέρχεται κυρίως από τις θάλασσες, αλλά συναντάται και σε μεγάλες λίμνες και ποτάμια. Χρησιμοποιείται στη κατασκευή κεραμικών προϊόντων, στα χρώματα και σαν απορροφητικό υλικό.



Εικόνα 44: Πηλόλιθος (καφέ κόκκινος)



Εικόνα 45: Πηλόλιθος (λευκός κίτρινος)



Εικόνα 46: Πηλόλιθος (Καφέ)

Ψαμμίτης (Sandstone)

Συμπαγές, κλαστικό, μεσόκοκκο πέτρωμα, προερχόμενο από διαγένεση της άμμου, η οποία μπορεί να προέρχεται από ρέοντα θαλάσσια ή λιμναία ύδατα ή ακόμη από τη δράση του ανέμου. Το συνδετικό υλικό το χαρακτηρίζει σε χαλαζιακό, ασβεστιτικό, αργιλικό, δολομιτικό κ.α. Το μέγεθος των κόκκων ποικίλλει από 2mm έως 1/16mm. Σε μεγαλύτερο ποσοστό βρίσκεται ο χαλαζίας και ακολουθούν οι άστριοι, ο μοσχοβίτης, ο γλαυκονίτης, ο ασβεστίτης κ.α. Το χρώμα του είναι συνήθως κίτρινο, αλλά και πρασινωπό, όταν περιέχει γλαυκονίτη και κόκκινο ή καφέ, όταν περιέχει οξείδια του σιδήρου. Αν ο ψαμμίτης είναι πλούσιος σε αστρίους, τότε ονομάζεται αρκόζη.



Εικόνα 47: Ψαμμίτης



Εικόνα 48: Ψαμμίτης



Εικόνα 49: Ψαμμίτης

Μεταμορφωμένα

Γνεύσιος (Gneiss)

Προέρχεται από υψηλού βαθμού περιφερειακή μεταμόρφωση και αποτελείται από αστρίους και χαλαζία. Είναι μεσόκοκκο πέτρωμα, με σχιστοειδή ιστό και γνευσιοειδή υφή. Κύρια συστατικά του είναι ο βιοτίτης ή μοσχοβίτης, αλλά περιέχει και πολλά άλλα ορυκτά, όπως κεροσίλβη, επίδοτο, γρανάτης, σταυρόλιθος, ανδαλουσίτης, κυανίτης κ.α. Ανάλογα με το πέτρωμα από το οποίο προήλθαν χαρακτηρίζονται ως γρανιτικοί, διοριτικοί, σχιστολιθικοί κλπ. Αν το πρωταρχικό πέτρωμα ήταν πυριγενές, τότε χαρακτηρίζεται ως ορθογνεύσιος, ενώ αν ήταν ιζηματογενές, χαρακτηρίζεται παραγνεύσιος. Στην Ελλάδα βρίσκεται στη Δήλο, Τήνο και στη Βόρεια Ελλάδα και χρησιμοποιείται κυρίως ως οικοδομικό υλικό.



Εικόνα 50: Γνεύσιος



Εικόνα 51: Γνεύσιος



Εικόνα 52: Γνεύσιος

Γραφίτης σχιστόλιθος (Graphite schist)

Μεταμορφωμένο πέτρωμα, προερχόμενο από τη μεταμόρφωση ανθρακούχων ιζημάτων. Έχει σαφή σχιστότητα, είναι πτυχωμένο και έχει χρώμα μαύρο, τεφρό. Κύριο συστατικό του είναι ο γραφίτης.



Εικόνα 53: Σχιστόλιθος με γραφίτη



Εικόνα 54: Σχιστόλιθος με γραφίτη



Εικόνα 55: Σχιστόλιθος με γραφίτη

Μάρμαρο (Marble)

Μονόμεικτο πέτρωμα, αποτελούμενο μόνο από ασβεσίτη (CaCO_3), προϊόν ανακρυστάλλωσης των ασβεστόλιθων ή και από το συνδυασμό των ορυκτών ασβεσίτη (CaCO_3) και δολομίτη και έχει δημιουργηθεί από την μεταμόρφωση ασβεστόλιθων. Το χρώμα των μαρμάρων είναι, ως επί το πλείστον, λευκό-ημίλευκο έως γκρι σε διάφορους τόνους, με

διακύμανση αποχρώσεων κατά ζώνες, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις το χρώμα μπορεί να είναι και μαύρο, πρασινωπό, ροζ, ερυθρωπό κλπ.

Το μαύρο χρώμα των μαρμάρων οφείλεται συνήθως στην παρουσία οργανικών ουσιών, ή σιδηροξειδίων ή μαγγανιούχων οξειδίων. Χαρακτηρίζεται από κοκκοβλαστικό ιστό. Τα μάρμαρα με μικρό ποσοστό μαρμαρυγιών χαρακτηρίζονται ως σιπολίνες.



Εικόνα 56: Μάρμαρο



Εικόνα 57: Μάρμαρο



Εικόνα 58: Μάρμαρο

Αργιλικός σχιστόλιθος (Slate)

Προέρχεται από τη μεταμόρφωση της σχιστής αργίλου. Περιέχει και ιλύ και άργιλο ή κυρίως άργιλο και είναι δυνατόν ή όχι να εμφανίζει σχιστότητα. Ονομάζεται πετρελαιοφόρος και είναι μαύρος, όταν περιέχει αξιοσημείωτες ποσότητες υδρογονανθράκων.



Εικόνα 59: Αργιλικός σχιστόλιθος (μαύρος)



Εικόνα 60: Αργιλικός σχιστόλιθος (κόκκινος)



Εικόνα 61: Αργιλικός σχιστόλιθος (λευκός)

Σχιστόλιθος (Schist)

Πέτρωμα, το οποίο περιέχει μοσχοβίτη, χλωρίτη, χαλαζία και άλλα τυπικά ορυκτά. Οι σχιστόλιθοι που είναι πλούσιοι σε ασβεστίτη ή δολομίτη και συνοδεύουν συνήθως κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους ή μάρμαρα ονομάζονται ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι (calc-schists). Οι μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι προέρχονται κυρίως από μεταμόρφωση ψαμμιτών, πηλιτών, αργίλων, παλαιών τόφφων και εκρηξιγενών πετρωμάτων γρανιτοειδούς ή πορφυριτικού ιστού. Οι χλωριτικοί, οι κεροσιλβικοί και οι επιδοτιτικοί σχιστόλιθοι προέρχονται κυρίως από βασικά εκρηξιγενή πετρώματα, κυρίως περιδοτίτες, ενώ οι γραφιτικοί σχιστόλιθοι προέρχονται από τη μεταμόρφωση ανθρακούχων ιζημάτων.



Εικόνα 62: Σχιστόλιθος



Εικόνα 63: Σχιστόλιθος



Εικόνα 64: Σχιστόλιθος

Χαλαζίτης (Quartzite)

Ο χαλαζίτης αποτελείται από χαλαζία σε ποσοστό > 85% και συγκεκριμένα από κόκκους χαλαζία κολλημένους μεταξύ τους με χαλαζιακή κόλλα, καθώς και φύλλα μαρμαρυγίας και σπανιότερα από χλωρίτη, τάλκη, γραφίτη, σερικήτη, δισθενή, άστριο κ.α. Προέρχεται από ψαμμίτες ή από χαλαζιακές φλέβες και πρόκειται για πολύ σκληρό πέτρωμα. Συνήθως, ο αγνός χαλαζίτης έχει χρώμα λευκό, αλλά μπορεί να υπάρξει και σε άλλα χρώματα.



Εικόνα 65: Χαλαζίτης (Λευκός)



Εικόνα 66: Χαλαζίτης (Κόκκινος)



Εικόνα 67: Χαλαζίτης (Πράσινος)

Αναφορές εικόνων

- Εικόνα εξωφύλλου <http://dailyarticle.gr/wp-content/uploads/2013/07/zhangye-danxia-landform-china-3.png>
- Εικόνα 1 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/andesite.jpg
- Εικόνα 2 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/andesite2.jpg
- Εικόνα 3 http://www.lhilna.gr/naturalheritage/sites/default/files/styles/galleryformatter_slide/public/rock_13c.jpg?itok=gAkG1LCx
- Εικόνα 4 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/basalt.jpg
- Εικόνα 5 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/basalt-olivine.jpg
- Εικόνα 6 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/basalt-scoriaceous.jpg
- Εικόνα 7 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/gabbro1.jpg
- Εικόνα 8 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/gabbro2.jpg
- Εικόνα 9 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/gabbro3.jpg
- Εικόνα 10 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/granite1.jpg
- Εικόνα 11 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/granite2.jpg
- Εικόνα 12 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/granite3.jpg
- Εικόνα 13 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/grandodiorite1.jpg
- Εικόνα 14 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/grandodiorite2.jpg
- Εικόνα 15 http://www.geo.auth.gr/106/theory/pet_ign_granodiorite.jpg
- Εικόνα 16 http://www.lhilna.gr/naturalheritage/sites/default/files/styles/galleryformatter_slide/public/rock_7a.jpg?itok=h1xMAqR_
- Εικόνα 17 http://www.lhilna.gr/naturalheritage/sites/default/files/styles/galleryformatter_slide/public/rock_7b.jpg?itok=jB2fp4iQ
- Εικόνα 18 http://www.lhilna.gr/naturalheritage/sites/default/files/styles/galleryformatter_slide/public/rock_7c.jpg?itok=uXL7Jv-r
- Εικόνα 19 http://www.lhilna.gr/naturalheritage/sites/default/files/styles/galleryformatter_slide/public/rock_36a.jpg?itok=iRyTDtgh
- Εικόνα 20 http://www.lhilna.gr/naturalheritage/sites/default/files/styles/galleryformatter_slide/public/rock_36b.jpg?itok=2Zp6-9ir
- Εικόνα 21 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/diorite.jpg
- Εικόνα 22 http://www.geologysuperstore.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/d/o/dolerite_-_skye.jpg

Εικόνα

23http://www.geologysuperstore.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/p/r/presseli_blue_stone.jpg

Εικόνα

24http://www.geologysuperstore.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/o/l/olivine_dolerite_1.jpg

Εικόνα 25https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/rhyolite3.jpg

Εικόνα 26https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/rhyolite5.jpg

Εικόνα 27https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/rhyolite2.jpg

Εικόνα 28http://www.worldofstones.com/blog/wp-content/uploads/2017/09/1809-16.08.15_1-granodiorite-10-cm.jpg

Εικόνα 29https://mineralseducationcoalition.org/wp-content/uploads/Shale_153916094.jpg

Εικόνα

30https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/18/Shale_8040.jpg/1024px-Shale_8040.jpg

Εικόνα 31<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c5/ShaleUSGOV.jpg>

Εικόνα

32http://www.lhilna.gr/naturalheritage/sites/default/files/styles/galleryformatter_slide/public/rock_10b.jpg?itok=bLtNNh5Q

Εικόνα 33https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/limestone-fine.jpg

Εικόνα 34https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/limestone-fossiliferous2.jpg

Εικόνα

35https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/conglomerate1.jpg

Εικόνα 36https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/breccia1.jpg

Εικόνα 37https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/breccia3.jpg

Εικόνα 38<http://www.pharmalliance.pk/images/products/Coal.jpg>

Εικόνα 39<http://geology.com/rocks/pictures/coal-lignite-380.jpg>

Εικόνα 40<http://geology.com/rocks/pictures/coal-anthracite-380.jpg>

Εικόνα 41<http://geology.com/minerals/photos/dolomite-granular-92.jpg>

Εικόνα 42<http://geology.com/rocks/pictures/dolomite-aggregate.jpg>

Εικόνα 43<http://geology.com/rocks/pictures/dolomite.jpg>

Εικόνα 44<http://geology.com/rocks/pictures/siltstone.jpg>

Εικόνα 45<http://images.wisegeek.com/siltstone-against-white-background.jpg>

Εικόνα

46<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/42/SiltstoneUSGOV.jpg/220px-SiltstoneUSGOV.jpg>

Εικόνα 47

http://www.lhilna.gr/naturalheritage/sites/default/files/styles/galleryformatter_slide/public/rock_39b.jpg?itok=hjKp59Fk

Εικόνα 48https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/sandstone4.jpg

Εικόνα 49https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/sandstone1.jpg

Εικόνα 50https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/gneiss2.jpg



Εικόνα 51 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/gneiss5.jpg
Εικόνα 52 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/gneiss6.jpg
Εικόνα 53 http://www.nhmc.uoc.gr/sites/default/files/private/images/92058_0.jpg
Εικόνα 54 <http://geology.com/minerals/photos/graphite-schist-169-a.jpg>
Εικόνα 55 <http://geology.com/minerals/photos/graphite-schist-169-b.jpg>
Εικόνα 56 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/marble3.jpg
Εικόνα 57 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/marble1.jpg
Εικόνα 58 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/marble2.jpg
Εικόνα 59 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/slate3.jpg
Εικόνα 60 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/slate2.jpg
Εικόνα 61 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/slate5.jpg
Εικόνα 62
https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/thumbs/schist10.jpg
Εικόνα 63 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/schist2.jpg
Εικόνα 64 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/schist9.jpg
Εικόνα 65 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/quartzite2.jpg
Εικόνα 66 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/quartzite1.jpg
Εικόνα 67 https://flexiblelearning.auckland.ac.nz/rocks_minerals/rocks/images/quartzite3.jpg
Εικόνα 68 http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg105y/aaueiaeeuo_eyeeio.bmp
Εικόνα 69 http://www.geo.auth.gr/106/theory/pet_ign_01s.gif
Εικόνα 70 http://www.geo.auth.gr/106/theory/pet_sed_01.jpg
Εικόνα 71 http://www.geo.auth.gr/106/theory/petrography_cycle.jpg
Εικόνα 72 <http://docplayer.gr/23933095-6-magmatogeni-i-pyrigeni-petromata.html>
Εικόνα 73 <http://www.worldofstones.com/blog/wpcontent/uploads/2017/09/Lamprophyre.jpg>
Εικόνα 74
<http://l7.alamy.com/zooms/a6fc7a5075224e4b981be949f714a99c/lamprophyref0317t.jpg>
Εικόνα 75 <https://uwaterloo.ca/peter-russell-rock-garden/sites/ca.peter-russell-rock-garden/files/uploads/images/amethyst.jpg>
Εικόνα 76 <http://geology.com/rocks/pictures/limestone-breccia-380.jpg>
Εικόνα 77 <http://geology.com/rocks/pictures/breccia-380.jpg>
Εικόνα 78 http://www.geo.auth.gr/765/3_products/images/34/34_pyr_rock1_s.jpg
Εικόνα 79 http://www.geo.auth.gr/765/3_products/images/34/34_pyr_rock5_s.jpg
Εικόνα 80 http://www.geo.auth.gr/765/3_products/images/34/34_pyr_rock4_s.jpg

Βιβλιογραφία

Ελληνική:

- [1] Αγγλοελληνικό γλωσσάριο γεωλογικών όρων English – Greek glossary of geological terms (Έκδοση/Edition 7 – Λήμματα/Entries: 714)
- [2] Α.Ε., Μ. (2017). *προϊόντα / ασβεστόλιθοι*. Ανάκτηση Νοεμβρίου 9, 2017, από MARMIL A.E.: <http://www.marmil.gr/products/limestones.php>
- [3] Βασίλης Χρηστάρας, Καθηγητής Τεχνικής Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη, 2005, «*Συνοπτική περιγραφή των συνηθέστερων εργαστηριακών δοκιμών Βραχομηχανικής – Εδαφομηχανικής*» / Πανεπιστήμιο Πατρών, Ηλιόπουλος Γεώργιος «*Στρωματογραφία-Ιστορική γεωλογία*». Έκδοση: 1.0. Πάτρα, 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/GEO325/>
- [4] Βικιπαίδεια. (2017, Ιουλίου 22). *Πέτρωμα*. Ανάκτηση Νοεμβρίου 2, 2017, από Βικιπαίδεια: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%AD%CF%84%CF%81%CF%89%CE%BC%CE%B1>
- [5] Βουθούνης, Δ. Π., Βουθούνη, Π. Π., & Σταματίου, Α. Ε. (2014). *ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ: Μηχανική παραμορφώσιμου στερεού*. Αθήνα: Βουθούνης Π. Α.
- [6] Γεωλογίας, Τ. (n.d.). *ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ*. Ανάκτηση Νοεμβρίου 10, 2017, από Τμήμα γεωλογίας ΑΠΘ: http://www.geo.auth.gr/537/Keywords/key_6.htm
- [7] Γεωργόπουλος, Χ. Ι., Σταυρακάκης, Ε. Ι., Τσιακάρης, Π. Ε., Πολυματίδου, Σ. Κ., & Τζιόλας, Α.Δ. (2016). *Αγγλοελληνικό λεξικό Μηχανικών*. Θεσσαλονίκη, Ελλάδα: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- [8] Γκοντελίτσας, Α. (n.d.). *Σημειώσεις Ορυκτολογίας - Κρυσταλλογραφίας Α' Εξάμηνο Σπουδών*. Ανάκτηση Νοεμβρίου 4, 2017, από Τμήμα γεωλογίας και γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ: <http://www.geol.uoa.gr>
- [9] Εκρηξιγενή, Μεταμορφωμένα, Ιζηματογενή πετρώματα, Πετρολογικός κύκλος, Αθήνα 2005, Δρ. Ε. Λυκούδη
- [10] Θεοφάνη, Κ. (2014, Οκτώβριος 31). *ΓΕΩΛΟΓΙΑ*. Ανάκτηση Νοεμβρίου 5, 2017, από <http://konstantinatheof.blogspot.gr/>
- [11] Κοκκινιάκης, Α. (1996). *“Μαγματικά πετρώματα”*. Αθήνα.
- [12] Κορωνάιος, Α. (2016). *ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ ΠΥΡΙΓΕΝΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ*. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ.
- [13] Κουμαντάκης, Ι. *“Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας”*. Αθήνα: ΕΜΠ, 1993
- [14] Λουπασάκης, Κ. Γεωτεχνική μηχανική., (σ. 21). Αθήνα.
- [15] Μπαντής, Σ. Κ. (2008). *Τεχνική γεωλογία* (Πρώτη έκδοση ed., Vol. I). Αθήνα: Gutenberg.
- [16] Μπενέτος, Θ. καθηγητής εφαρμογών ΤΕΙ Κρήτης.
- [17] Νομικός, Π. (n.d.). *Εισαγωγή στη μηχανική των πετρωμάτων*. Ανάκτηση Νοεμβρίου 9, 2017, από Κάλλιπος: https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3477/1/02_chapter_06.pdf
- [18] *Ορολογία πετρωμάτων*. (n.d.). Ανάκτηση Νοεμβρίου 9, 2017, από Ακρόλιθος: <http://www.akrolithos.gr/18606E5C.el.aspx>
- [19] Παπαγεωργάκης, Ι., Κουμαντάκης, Ι. *“Τεχνική Πετρογραφία”*. Αθήνα: ΕΜΠ, 1984
- [20] Σολδάτος, Τ. (2016, Ιουνίου 26). *3.4. Τέφρα και πυροκλαστικά πετρώματα*. Ανάκτηση από Ηφαιστειολογία: http://www.geo.auth.gr/765/3_products/34_tephra.htm



- [21] Σολδάτος, Τ. (2016, Ιανουαρίου 14). *Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας*. Ανάκτηση Νοεμβρίου 9, 2017, από Τμήμα Γεωλογίας: <http://www.geo.auth.gr/106/theory/petrography.htm>
- [22] Σολδάτος, Α. (2013, Μαΐου 7). *Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας*. Ανάκτηση Νοεμβρίου 9, 2017, από Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης: <http://www.geo.auth.gr/317/>
- [23] *Τμήμα γεωλογίας*. (n.d.). Ανάκτηση Νοεμβρίου 5, 2017, από ΑΠΘ: http://www.geo.auth.gr/106/theory/pet_igneous.htm
- [24] Χατζηθεοδωρίδης, Η. (2007/2011/2015). *Ορυκτολογία, Εισαγωγικές έννοιες και ιστορικά στοιχεία*. Αθήνα, Αττική, Ελλάδα.
- [25] Χατζηθεοδωρίδης, Η. (2011). Περιγραφή μαγματικών πετρωμάτων, πετρολογία, Μάθημα 3ο., (σ. 39). Αθήνα.
- [26] Χατζηθεοδωρίδης, Η. (2011). Ταξινόμηση των πετρωμάτων, πετρολογία, μάθημα 2ο. Αθήνα.
- [27] Χατζηπέτρος, Α. (n.d.). Ανάκτηση Νοεμβρίου 9, 2017, από Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ: http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg105γ/Ογiioc_Ααueiassao.pdf
- [28] Χατζηπέτρος, Α. (n.d.). *ΦΥΣ12 - Πυριγενή πετρώματα*. Ανάκτηση Νοεμβρίου 5, 2017, από users.auth.gr/ac
- [29] Χατζηπέτρος, Δ. Α. (n.d.). *ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ*. Ανάκτηση Νοεμβρίου 4, 2017, από ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΑΠΘ: <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg105γ/html/daonpiaoa.html>
- [30] www.orykta.gr

Ξενόγλωσση:

- [1] Galleries, A. (n.d.). *Amethyst Galleries, Inc.* . Ανάκτηση Νοεμβρίου 5, 2017, από Amethyst Galleries' Mineral Gallery: <http://www.galleries.com>
- [2] Winter, J.D. *"Igneous And Metamorphic Petrology. An Introduction"*. New Jersey: Prentice-Hall, 2001.
- [3] «Geology: an introduction to physical geology» Chernicoff. Stanley, Publ. (1995)
- [4] www.britannica.com

