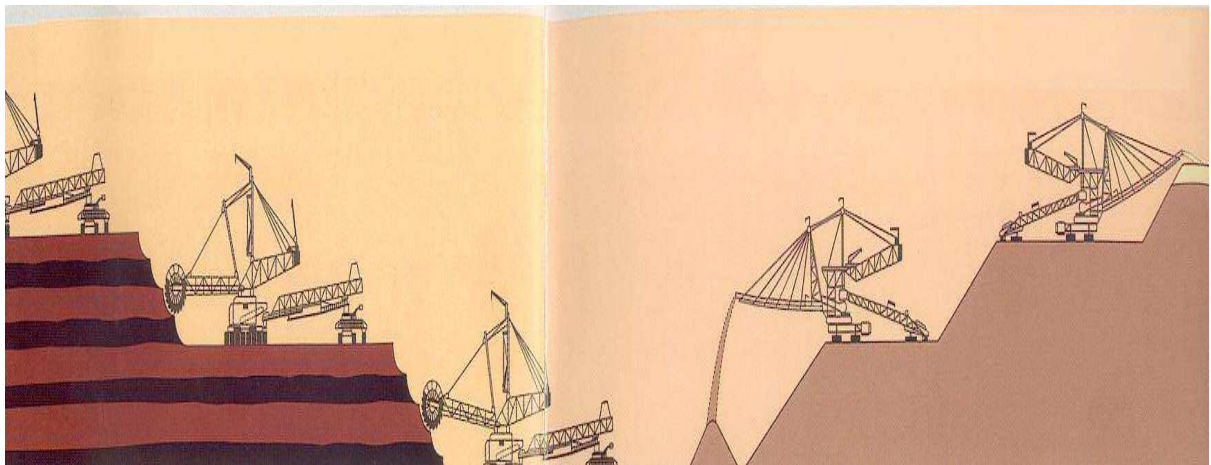




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΣΤΕΙΡΩΝ
ΟΡΙΖΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ ΤΗΣ ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΟΥ
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ - ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ**

**Διπλωματική εργασία
Σόνια - Σοφία Δ. Μαργαρίτη**



Επιβλέπουσα : Θεοδώρα Περράκη, Καθηγήτρια ΕΜΠ

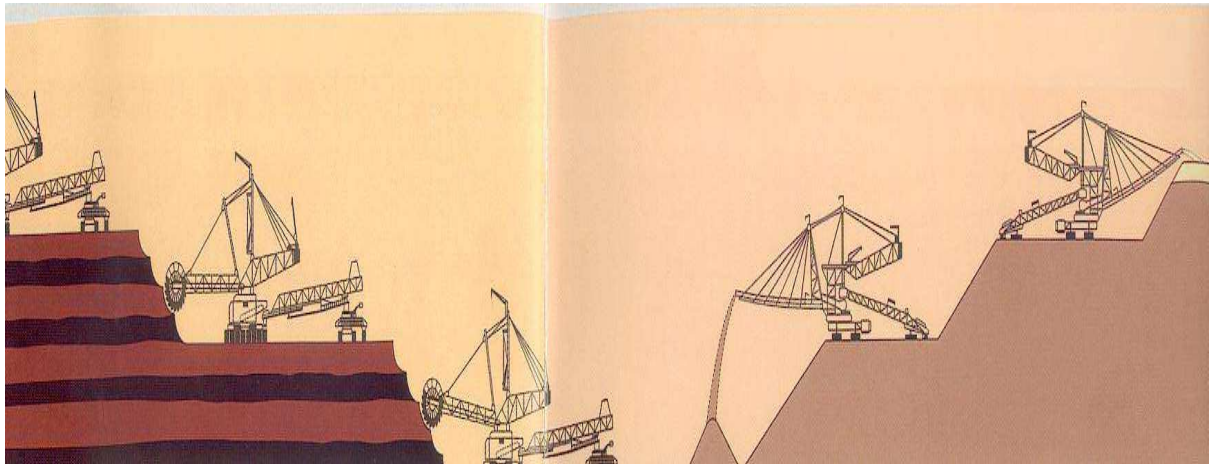
Αθήνα, 2010



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΣΤΕΙΡΩΝ
ΟΡΙΖΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ ΤΗΣ ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΟΥ
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ - ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ**

**Διπλωματική εργασία
Σόνια - Σοφία Δ. Μαργαρίτη**



Επιβλέπουσα : Θεοδώρα Περράκη, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικές ποσότητες λιγνιτικών κοιτασμάτων, που η μέχρι σήμερα αξιοποίησή τους συμβάλλει αποφασιστικά στην ενεργειακή της ανάπτυξη. Είναι γνωστό ότι η εξόρυξη του λιγνίτη πραγματοποιείται, συνήθως, από καδοφόρους εκσκαφείς με τη μέθοδο των ορθών βαθμίδων και τη δημιουργία ανοιχτών, υπαίθριων ορυχείων. Η εκμετάλλευση αναπτύσσεται, συνήθως, σε βαθμίδες μεγάλου ύψους. Η μείωση της ανθεκτικότητας ιδιαίτερα των μαλακών βραχωδών σχηματισμών, όπως τα νεογενή (αμμοίλυες, αργιλομάργες, μάργες και οι ψαμμίτες ποικίλης διαγένεσης), οδηγούν στη δημιουργία διαφόρων προβλημάτων, όπως είναι η ευστάθεια των πρανών. Η συμπεριφορά των μαλακών κλαστικών ιζημάτων είναι στενά συνδεδεμένη με την ορυκτολογική τους σύσταση. Δεδομένου ότι η συμπεριφορά τέτοιων σχηματισμών επηρεάζεται σημαντικά από το είδος και την ποσότητα των αργλικών ορυκτών λόγω της φυλλόμορφης κρυσταλλικής δομής τους, είναι καθοριστική η εξέταση της ορυκτολογικής σύστασης, των εν λόγω, σχηματισμών.

ABSTRACT

Influence of mineral constitution of barren horizons in the stability of glaxis in lignitic region Florina- Ptolemaida.

Greece allocates important quantities of lignitic layers, that up to today their exploitation it contributes decisively in her energy growth. It is known that the excavation of lignite is realised, usually, from excavators with the method of equitable rungs and the creation of open sea, mines. The exploitation is developed, usually, in rungs of big height. The reduction of resistibility of particularly soft rocky shapings, as neogene (ammoilys, argilomarga, marls and the sandstones of varied diagenesis), they lead to the creation of various problems, as is the stability of glaxis. The behavior of soft clastic sediments is closely connected with their mineral constitution. Since the behavior of such shapings is influenced considerably by the type and the quantity of mineral mining because their laminate crystallic structure, is decisive the examination of mineral constitution, in question, shapings.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με θέμα: **“Επίδραση της Ορυκτολογικής Σύστασης των Στείρων Οριζόντων στην Ευστάθεια Πρανών της Λιγνιτοφόρου περιοχής Φλώρινας – Πτολεμαΐδας”**, πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των διπλωματικών εργασιών που εκπονούνται στο ΕΜΠ.

Σημαντικό κίνητρο για την εκπόνηση της εργασίας αυτής υπήρξε το ενδιαφέρον για τη μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης στείρων υλικών από διάφορα Λιγνιτωρυχεία, δεδομένου ότι κρίνεται ιδιαίτερα καθοριστικός ο ρόλος της στην ευστάθεια των πρανών και, επομένως, στην εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων που συμβαίνουν στα λιγνιτωρυχεία. Η γνώση της ορυκτολογικής σύστασης κρίνεται απαραίτητη για την επιτυχή πραγματοποίηση των εξορυκτικών δραστηριοτήτων που αφορούν στα κοιτάσματα λιγνίτη.

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η ορυκτολογική σύσταση δειγμάτων που ελήφθησαν από μέτωπο εκσκαφής και διερευνητικές γεωτρήσεις, σε Λιγνιτωρυχεία της Δ. Μακεδονίας.

Στο σημείο αυτό αισθάνομαι την υποχρέωση και την ανάγκη να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με την πολύτιμη βοήθεια τους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Καθηγήτρια κυρία Περράκη Θεοδώρα για την ανάθεση αυτού του τόσο ενδιαφέροντος θέματος, την καθοδήγηση της, τις πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις της, την ανεκτίμητη επιστημονική γνώση που μου μετέδωσε, όπως επίσης και για τον χρόνο που αφιέρωσε για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Ιδιαίτερα την ευχαριστώ για την αμέριστη καλοσύνη και ανθρωπιά που εισέπραξα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής Καθηγητές, κύριο Δημήτρη Ρόζο και κύριο Ιωάννη Κυρούση, που κι εκείνοι με τη σειρά τους, με τις πολύτιμες συμβουλές τους βοήθησαν στην σωστή ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα Γιάννη Οικονομόπουλο για την πολύτιμη και ανεκτίμητη βοήθεια του και τις ώρες που αφιέρωσε για την διεκπεραίωση της διπλωματικής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΩΝ	10
3. ΛΙΓΝΙΤΟΓΕΝΕΣΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ	13
4. ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΩΝ ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΦΛΩΡΙΝΑΣ ΚΑΙ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	17
5. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ	20
6. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	25
6.1. ΓΕΝΙΚΑ-ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	25
6.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	28
Καταπτώσεις.....	32
Ανατροπές	33
Ολισθήσεις	33
Ροές.....	35
Σύνθετες μετακινήσεις πρσανών.....	36
7. ΑΙΤΙΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	37
7.1. ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	37
7.2. ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΕΥΝΟΟΥΝ ΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ	39
Παράγοντες που συμβάλλουν στη μείωση ή εξάλειψη της διατμητικής αντοχής	40
Παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής τάσης	43
8. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΧΑΙΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	46
8.1. ΓΕΝΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΦΥΛΑΞΗΣ	46
8.2. ΓΕΝΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΩΝ ΕΚΣΚΑΦΩΝ	49
9. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΑΠΟΨΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	50

10. ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ.....	52
10.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	52
10.2. ΟΡΥΚΤΑ ΤΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ	53
10.2.1. ΤΑ ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΙ Η ΚΡΥΣΤΑΛΙΚΗ ΤΟΥΣ ΔΟΜΗ.....	54
10.3. ΟΡΥΚΤΑ ΔΙΟΚΤΑΕΔΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΡΙΟΚΤΑΕΔΡΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ	56
10.4. ΙΣΟΜΟΡΦΕΣ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	58
10.5. ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ.....	62
10.6. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ	69
11. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	75
11.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ	75
11.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	76
11.2.1. ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ-Χ.....	76
11.2.2. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (TG/DTG/DTA)	76
11.2.3. ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (FT-IR).....	76
11.3. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	77
11.3.1. Γενικά	77
12. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	94
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	96

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίν. 1: Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών.....	29
Πίν. 2: Κλίμακα ρυθμού μετακίνησης των πρανών.....	31

Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχ. 1: Κατανομή εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων λιγνίτη στον ελλαδικό χώρο	10
Σχ. 2: Κατανομή εκμεταλλεύσιμων λιγνιτικών κοιτασμάτων στη Δ. Μακεδονία.....	11
Σχ. 3: Κατάταξη Ευρωπαϊκών χωρών με βάση την παραγωγή λιγνίτη.	12
Σχ. 4: Σχηματική αναπαράσταση Λιγνιτοφόρου ακολουθίας με τα υπερκείμενα και τα ενδιάμεσα στείρα ιζήματα.....	13
Σχ. 5: Σκαρίφημα τμήματος της τεκτονικής τάφρου της Δυτικής Μακεδονίας	17
Σχ. 6: Γεωλογική τομή τμήματος της λεκάνης της Πτολεμαΐδας σε διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.	19
Σχ. 7: Τύπος κατολίσθησης και ανάπτυξη της επιφάνειας ολίσθησης.	20
Σχ. 8: Δυνάμεις που εμπλέκονται στην ευστάθεια πρανούς εδαφικού υλικού	21
Σχ. 9: Ανάλυση τάσεων σε συνεκτικά εδάφη	22
Σχ. 10: Αστοχία πρανούς λόγω εκβάθυνσης της εκσκαφής.....	22

Σχ. 11: Επίδραση της κλίσης στο μέγεθος της καταλαμβανόμενης επιφάνειας φυσικού εδάφους από την ίδια ποσότητα στείρων υλικών.....	24
Σχ. 12: Κάτοψη μιας κατολίσθησης και κατακόρυφη τομή κατά μήκος του άξονά της.	27
Σχ. 13: Στερεοδιάγραμμα στο οποίο φαίνονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά σημεία μιας κατολίσθησης.....	27
Σχ. 14: Τύποι μετακίνησης πρανών κατά Varnes.....	30
Σχ. 15: Καταπτώσεις βράχων, κορημάτων και γαιών.....	32
Σχ. 16: Ανατροπές βράχων. Δύο στάδια ανάπτυξης της ανατροπής βράχων σε κερματισμένα συμπαγή πετρώματα.....	33
Σχ. 17: Πλευρική εξάπλωση ασβεστολιθικών τεμαχών που υπέρκεινται μαλακότερων σχηματισμών.....	34
Σχ. 18: Σύνθετες μετακινήσεις:.....	36
Σχ. 19: Ομαλοποίηση της κλίσης των πρανών.....	46
Σχ. 20: Διατάξεις σταθεροποίησης πρανών.....	46
Σχ. 21: Σταθεροποίηση ενός δρόμου με τη βοήθεια αποστράγγισης.....	47
Σχ. 22: Τομή αργιλικού πετρώματος, με “αργιλικό κλάσμα”, “ιλύ” και “άμμο”.....	53
Σχ. 23: Τετραέδρο $[\text{SiO}_4]^{4-}$	54
Σχ. 24: Εξαγωνική διάταξη τετραέδρων στο χώρο.....	55
Σχ. 25: Εξαγωνική διάταξη τετραέδρων στο χώρο.....	55
Σχ. 26: Οκτάεδρα Al^{3+}	55
Σχ. 27: Εξαγωνική διάταξη οκταέδρων στο χώρο.....	56
Σχ. 28: Ορυκτά διοκταεδρικής δομής.....	57
Σχ. 29: Ορυκτά τριοκταεδρικής δομής.....	58
Σχ. 30: Κρυσταλλική δομή ιλλίτη-μοσχοβίτη.....	59
Σχ. 31: Προσρόφηση Na^+ , Ca^{++} στις εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες του κρυστάλλου.....	60
Σχ. 32: Κρυσταλλικό πλέγμα μοντμοριλλονίτη.....	61
Σχ. 33: Υποκατάσταση Mg από Zn.....	61
Σχ. 34: Ορυκτά δομής 1:1.....	62
Σχ. 35: Σχηματική διάταξη Ορυκτών δομής 1:1.....	63
Σχ. 36: Διοκταεδρικό ορυκτό δομής 1:1 (πλέγμα καολινίτη).....	64
Σχ. 37: Ορυκτά δομής 2:1.....	65
Σχ. 38: Κρυσταλλική δομή του μοντμοριλλονίτη, με μεγαλομόρια οργανικών ενώσεων προσροφημένα στο διαστρωματικό του χώρο.....	67
Σχ. 39: Δεσμοί υδρογόνου σε ορυκτά δομής 1:1.....	68
Σχ. 40: Δεσμοί “van deer waals” σε ορυκτά δομής 2:1.....	68
Σχ. 41: Δεσμοί “van deer waals” σε ορυκτά δομής 2:1.....	69
Σχ. 42: Ακόρεστα ηλεκτρικά φορτία στις θραυσιγενείς επιφάνειες του καολινίτη.....	71
Σχ. 43: Δομή “house of cards”.....	73
Σχ. 44: Διαδοχικά στάδια προσρόφησης H_2O	74
Σχ. 45 : Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X αντιπροσωπευτικού δείγματος “ως έχει” από τους Λόφους “LF 14”.....	78
Σχ. 46: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X δείγματος από Λόφους “LF 14”, έπειτα από έψηση του υλικού στους 500°C	80
Σχ. 47: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X δείγματος από Λόφους “LF 14”, έπειτα από επεξεργασία του υλικού με γλυκόλη.....	81
Σχ. 48: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X αντιπροσωπευτικού δείγματος “ως έχει” από Αχλάδα “Ach –A9”.....	82
Σχ. 49: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X δείγματος από Αχλάδα “Ach –A9”,.....	82
Σχ. 50: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X δείγματος από Αχλάδα “Ach –A9”,.....	83
Σχ. 51: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X αντιπροσωπευτικού δείγματος “ως έχει” από το Νότιο Πεδίο “KNP 7”.....	84

Σχ. 52 : Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X δείγματος από το Νότιο Πεδίο “ΚΝΡ 7”, έπειτα από έψηση του υλικού στους 500 °C.....	84
Σχ. 53 : Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X δείγματος από το Νότιο Πεδίο “ΚΝΡ 7”, έπειτα από επεξεργασία του υλικού με γλυκόλη.	85
Σχ. 54: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης (TG/DTG και DTA) αντιπροσωπευτικού δείγματος “ως έχει” από Αχλάδα “Ach –A9”.....	88
Σχ. 55: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης (TG/DTG και DTA) αντιπροσωπευτικού δείγματος “ως έχει” από τους Λόφους “LF 14”.....	89
Σχ. 56: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης (TG/DTG και DTA) αντιπροσωπευτικού δείγματος “ως έχει” από το Νότιο Πεδίο “ΚΝΡ 7”.	90
Σχ. 57: Διάγραμμα υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR) αντιπροσωπευτικού δείγματος από την Αχλάδα “Ach –A9”.....	91
Σχ. 58: Φάσμα υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR) αντιπροσωπευτικού δείγματος από τους Λόφους “LF”.....	92
Σχ. 59: Φάσμα υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR) αντιπροσωπευτικού δείγματος από το Νότιο Πεδίο “ΚΝΡ 7”.....	93
Σχ. 60: Φάσματα υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR) αντιπροσωπευτικού δείγματος από Λόφους “LF-14” και “ΚΝΡ-7”.....	93

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι η εξόρυξη του λιγνίτη πραγματοποιείται, συνήθως, από καδοφόρους εκσκαφείς με τη μέθοδο των ορθών βαθμίδων και τη δημιουργία ανοιχτών, υπαίθριων ορυχείων. Οι διαστάσεις των βαθμίδων ποικίλουν καθώς το βάθος εντοπισμού του λιγνίτη δεν είναι σταθερό σε όλη την περιοχή εκμετάλλευσης. Η εκμετάλλευση αναπτύσσεται, συνήθως, σε βαθμίδες μεγάλου ύψους.

Τα στείρα υλικά από την εξόρυξη του λιγνίτη, μεταφέρονται σε χώρους εσωτερικής και εξωτερικής απόθεσης. Οι εξωτερικές αποθέσεις είναι αυτές που απαιτούν μεγαλύτερη προσοχή και μελέτη των συνθηκών που επικρατούν. Η τοπογραφική διαμόρφωση των χώρων απόθεσης και κυρίως η κλίση, επηρεάζουν το μέγεθος της επιφάνειας που καταλαμβάνεται, η οποία γίνεται ακόμη μεγαλύτερη, λόγω της δυναμικής και κινητικής ενέργειας των στείρων υλικών κατά την εκφόρτωση.

Η επιλογή του χώρου απόθεσης των στείρων υλικών από την εξόρυξη του λιγνίτη, είναι συνυφασμένη με το είδος των γεωλογικών σχηματισμών όπου αυτά αποτίθενται.

Η μείωση της ανθεκτικότητας ιδιαίτερα των μαλακών βραχωδών σχηματισμών, όπως τα νεογενή (αμμοίλυες, αργιλομάργες, μάργες και οι ψαμμίτες ποικίλης διαγένεσης), οδηγούν στη δημιουργία διαφόρων προβλημάτων, όπως είναι η ευστάθεια των πρανών.

Η συμπεριφορά των μαλακών κλαστικών ιζημάτων είναι στενά συνδεδεμένη με την *ορυκτολογική τους σύσταση* (Beavis, Dick & Kuhnel). Δεδομένου ότι η συμπεριφορά τέτοιων σχηματισμών επηρεάζεται σημαντικά από το είδος και την ποσότητα των **αργιλικών ορυκτών** λόγω της φυλλόμορφης κρυσταλλικής δομής τους, είναι καθοριστική η εξέταση της ορυκτολογικής σύστασης, των εν λόγω, σχηματισμών.

2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΓΑΙΑΝΘΡΑΚΩΝ

Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικές ποσότητες λιγνιτικών κοιτασμάτων, που η μέχρι σήμερα αξιοποίησή τους συμβάλλει αποφασιστικά στην ενεργειακή της ανάπτυξη.

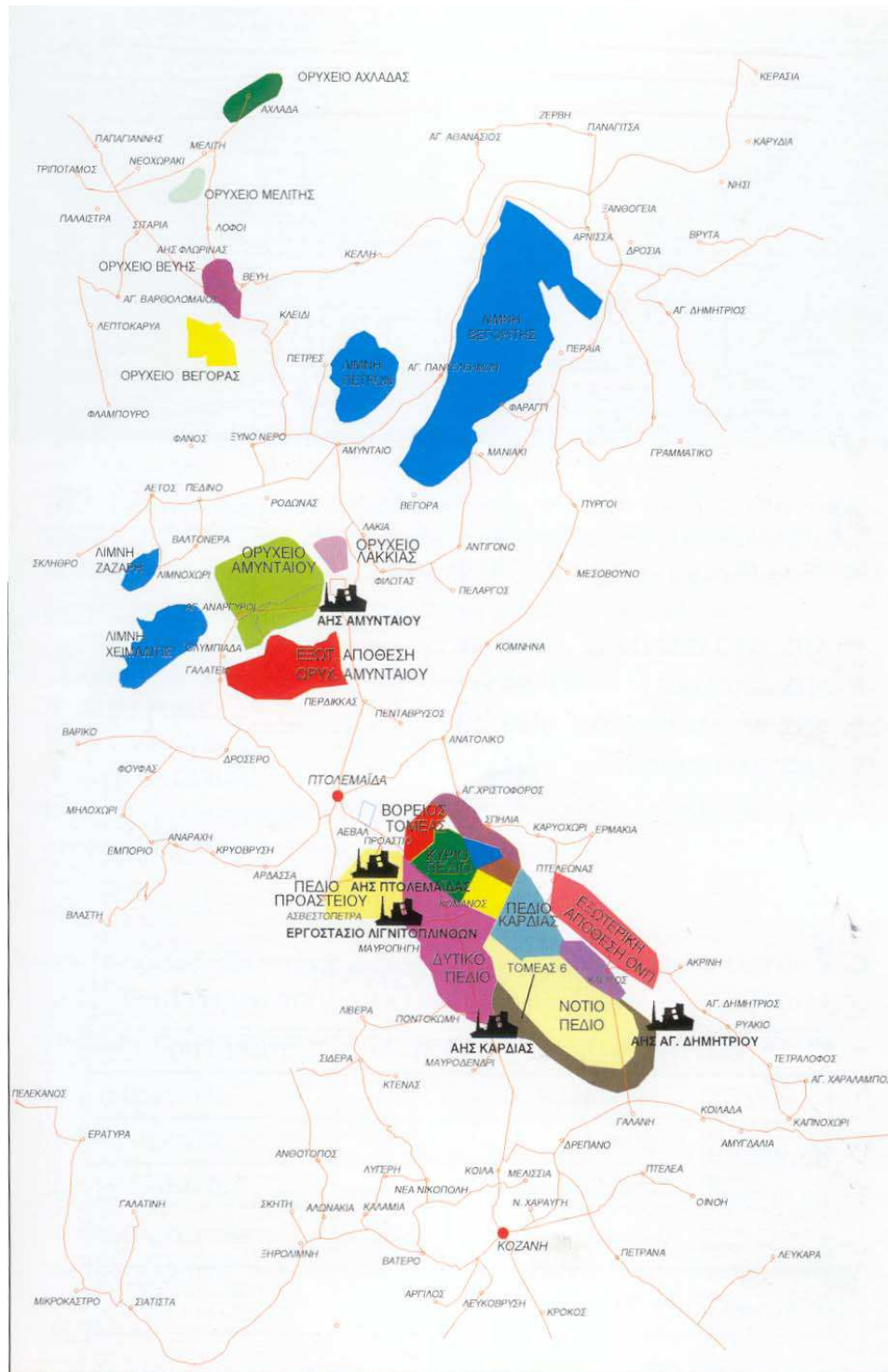
Σύμφωνα με το ΙΓΜΕ τα βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στην Ελλάδα ανέρχονται σήμερα σε 6,7 δις τόνους από τα οποία 3,3 δις. εκτιμώνται ως εκμεταλλεύσιμα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στον παρακάτω χάρτη δίνεται η γεωγραφική κατανομή κοιτασμάτων λιγνίτη στον ελλαδικό χώρο (Σχ. 1), όπου φαίνεται ότι στη Δυτική Μακεδονία και συγκεκριμένα στον άξονα **Φλώρινα – Πτολεμαΐδα – Κοζάνη** είναι συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο λιγνιτικό δυναμικό της χώρας.



Σχ. 1: Κατανομή εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων λιγνίτη στον ελλαδικό χώρο(ΔΕΗ, 2005)

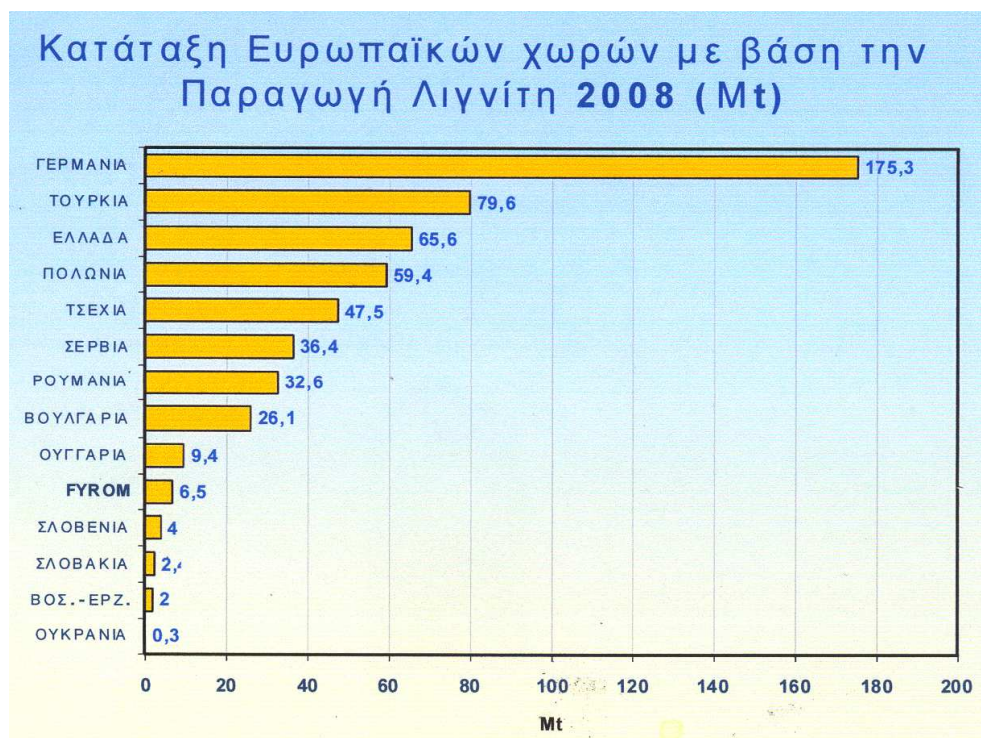
Στο χάρτη του Σχ. 2, φαίνεται η κατανομή των εκμεταλλεύσιμων λιγνιτικών κοιτασμάτων στη Δ. Μακεδονία (Σχ. 2).



Σχ. 2: Κατανομή εκμεταλλεύσιμων λιγνιτικών κοιτασμάτων στη Δ. Μακεδονία(ΔΕΗ, 2005)

Από στοιχεία του έτους 2008, τα λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ είχαν μέσο ετήσιο ρυθμό παραγωγής περίπου 70 εκ. τόνους και αντίστοιχες συνολικές εκσκαφές 295 εκ. κυβικά μέτρα.

Με την παραγωγή αυτή η Ελλάδα κατατάσσεται ως 3^η λιγνιτοπαραγωγός χώρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Σχ. 3) και 5^η σ' όλο τον κόσμο.

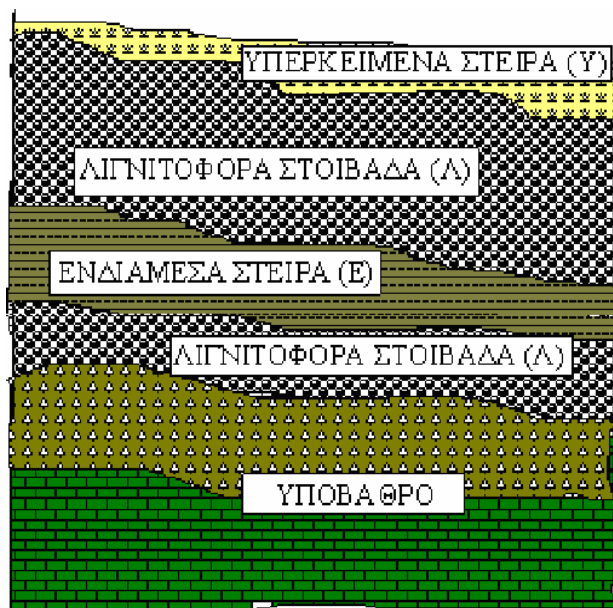


Σχ. 3: Κατάταξη Ευρωπαϊκών χωρών με βάση την παραγωγή λιγνίτη.

Η εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος λιγνίτη ή γαιάνθρακα γενικότερα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες: τεχνικούς, οικονομικούς, γεωλογικούς. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μέθοδος εκμετάλλευσης. Έτσι, άλλες προδιαγραφές αξιολόγησης εφαρμόζονται στην περίπτωση που το κοίτασμα προορίζεται για αξιοποίηση με τεχνικές υπόγειας εκμετάλλευσης και άλλες, όταν το κοίτασμα προορίζεται για εκμετάλλευση με τεχνικές υπαίθριας εξόρυξης. Αν και οι εκμεταλλεύσεις λιγνίτη στη χώρα μας κατά το παρελθόν ήταν κυρίως υπόγειες, σήμερα, στο σύνολο των λιγνιτικών κοιτασμάτων γίνεται υπαίθρια εκμετάλλευση.

Σύμφωνα με τις σημερινές οικονομοτεχνικές συνθήκες, η εξόρυξη ή όχι ενός λιγνιτικού κοιτάσματος ακολουθεί τη σχέση εκμεταλλευσιμότητας, η οποία ορίζει ότι η γραμμική σχέση των άγονων υλικών, δηλαδή των υπερκείμενων (Y) και των ενδιάμεσων

στείων (E) προς τον απολήψιμο λιγνίτη (Λ) σε μέτρα, $[(Y+E)/Λ]$ (Σχ. 4) δεν θα πρέπει να ξεπερνά την αναλογία 15:1.



Σχ. 4: Σχηματική αναπαράσταση Λιγνιτοφόρου ακολουθίας με τα υπερκείμενα και τα ενδιάμεσα στεία ιζήματα.

3. ΛΙΓΝΙΤΟΓΕΝΕΣΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Η λιγνιτογένεση απαντάται στον Ελλαδικό χώρο κυρίως, από το Ηώκαινο μέχρι και το Κατώτερο Πλειστόκαινο. Κατά το Νεογενές και το Πλειστόκαινο σχηματίστηκαν τα περισσότερα και σημαντικότερα λιγνιτικά κοιτάσματα της χώρας μας. Οι περίοδοι αυτές συνδέονται με την έντονη μεταλπική ρηξιγενή τεκτονική και ταφρογένεση. Δημιουργούνται πολυάριθμες ηπειρωτικές λεκάνες, που είτε δεν έχουν καμιά επικοινωνία με τη θάλασσα (ενδοηπειρωτικές) είτε επικοινωνούν παροδικά μόνο κατά τη διάρκεια της εξέλιξής τους με αυτήν (περιηπειρωτικές). Οι ηπειρωτικές λεκάνες πληρούσαν τις προϋποθέσεις για τον σχηματισμό εκτεταμένων κατω-τυρφώνων και τη διατήρηση της τυρφογένεσης, για μεγάλα χρονικά διαστήματα, με αποτέλεσμα να προκύψουν λιγνιτικά στρώματα με σχετικά μεγάλη εξάπλωση και πάχος, όπως αυτά της Φλώρινας, της Πτολεμαΐδας, του Αλιβερίου, της Μεγαλόπολης κ.ά. Αντίθετα, οι λιγνιτικές αποθέσεις αυτών των περιόδων σε παράκτιες λεκάνες (Κατερίνη, Πρέβεζα-Ακαρνανία, Πύργος-Ολυμπία, Κρήτη) παρουσιάζουν μικρό πάχος, αν και συχνά η έκτασή τους είναι σημαντική.

Από τις δύο αυτές κύριες κατηγορίες ταξινόμησης των γαιανθράκων (βάσει παλαιογεωμορφολογικών στοιχείων), οι ηπειρωτικές λεκάνες αποτελούν το 70%, περίπου,

των νεογενών λιγνιτοφόρων λεκανών της χώρας, ενώ οι παράκτιες αποτελούν αντίστοιχα το υπόλοιπο 30%.

Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα παράκτιων σχηματισμών στη χώρα μας έχουμε και στις δύο κύριες χρονικές περιόδους σχηματισμού γαιανθράκων, δηλαδή τόσο σ' αυτήν του Λιθανθρακοπερμιού, όσο και σ' αυτή του Καινοζωικού αιώνα. Κατά την πρώτη μάλιστα γεωλογική περίοδο στον ελληνικό χώρο παρουσιάζονται αποκλειστικά μόνο παράκτιοι σχηματισμοί καθώς ο ελληνικός χώρος θαλάσσευσε. Στο γεγονός αυτό άλλωστε –δυσμενείς συνθήκες σχηματισμού– οφείλεται και το ότι δεν σχηματίστηκαν σημαντικά κοιτάσματα λιθάνθρακα στη χώρα μας κατά την περίοδο αυτή, παρά μόνο μερικές μικρές εμφανίσεις χωρίς κανένα οικονομικό ενδιαφέρον και οι οποίες περιορίζονται σε τρία σημεία, όπως στα Καρδάλημα της Χίου, στην Κεντρική Εύβοια και στην Μονεμβασιά. Πρόκειται για μικρών διαστάσεων φακοειδή σώματα πάχους λίγων εκατοστών μέχρι 1,20 m και μήκους μέχρι το πολύ λίγων μέτρων.

Εκτός από τους λιθάνθρακες υπάρχουν και εμφανίσεις γαιανθράκων νεώτερης ηλικίας, οι οποίοι μοιάζουν προς τους λιθάνθρακες όπως είναι:

α) ο λιθάνθρακας Ασέας Τριπόλεως –πρόκειται για φακοειδείς ενστρώσεις εντός ηωκαινικού φλύσχη χωρίς οικονομική σημασία– και

β) ο ουρανούχος λιθάνθρακας Αιμονίου-Κοτύλης Ξάνθης –εντός ηωκαινικών κλαστικών ιζημάτων (μολασσών), πάχους 350 m, περίπου. Σ' αυτή την περίπτωση παρεμβάλλονται λεπτά στρώματα γαιάνθρακα πάχους 0,20 m έως 0,60 m, ο οποίος είναι του τύπου αεριοφλογάνθρακα, με θερμαντική ικανότητα περί τις 7.500 θερμίδες (χιλιοθερμίδες ανά κιλό) και έχει υποστεί κατά το παρελθόν εκμετάλλευση με υπόγεια έργα συνολικού μήκους πάνω από 3 km.

Τα σημαντικότερα παράκτια κοιτάσματα είναι:

- α) της Αλεξανδρούπολης,
- β) των λεκανών Πύργου-Ολυμπίας, Πρέβεζας-Ακαρνανίας,
- γ) Ζαγοριών Ηπείρου,
- δ) Πενταλόφου Κοζάνης-Γρεβενών.

Τα πιο πάνω παράκτια κοιτάσματα, ή ομάδες κοιτασμάτων παρουσιάζουν μεταξύ τους χαρακτηριστικές ιδιαιτερότητες στο σχηματισμό τους βάσει τεκτονικών παραγόντων. Έτσι π.χ. η λεκάνη Αλεξανδρουπόλεως χαρακτηρίζεται από ένα μόνο λιγνιτοφόρο ορίζοντα υποδηλώνοντας ότι κατάλληλες παλαιογεωγραφικές συνθήκες που συνδέονται με απόσυρση

της θάλασσας δημιουργήθηκαν για μια χρονική περίοδο, ενώ αντίστοιχα η λεκάνη Πύργου-Ολυμπίας διακρίνεται από επάλληλους ορίζοντες. Επίσης, τα πιο πάνω κοιτάσματα συνδέονται με τον κύκλο της αλπικής ορογένεσης, αλλά σε διαφορετικά παροξυσμικά ή μεταπαροξυσμικά στάδια της.

Έτσι, η λεκάνη των Ζαγοριών Ηπείρου συνδέεται με τον φλύσχη, ενώ οι αντίστοιχες του Πενταλόφου Κοζάνης-Γρεβενών με τη μολάσσα.

Γενικά, ισχύει ότι οι πιο πάνω παράκτιοι σχηματισμοί είναι μεγαλύτερης ηλικίας από τους υπόλοιπους λιγνιτικούς σχηματισμούς και χαρακτηρίζονται από μικρού πάχους λιγνιτικά στρώματα, αλλά καλής σχετικά ποιότητας. Για παράδειγμα τα κοιτάσματα Αλεξανδρουπόλεως-Ορεστιάδας ηωκαινικής - ολιγοκαινικής ηλικίας είναι καλής ποιότητας κοιτάσματα (γαγάτες) και για το λόγο αυτό κατά το παρελθόν πραγματοποιήθηκαν για μικροεκμεταλλεύσεις.

Από μελέτες παλαιοπεριβαλλόντων διαπιστώνεται ότι τα παλαιότερα σημαντικά κοιτάσματα της Ελλάδος προέρχονται από ποταμοτέλματα και δελταϊκά πεδία. Κατά την περίοδο του Άνω Τριτογενούς (κυρίως Μειόκαινο), φαίνεται να υπήρξαν ιδιαίτερα ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες, δηλαδή ηπιότερο και με περισσότερες βροχές του “σημερινού” κλίματος δεδομένου ότι, η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από πληθωρική βλάστηση με κυρίαρχα φυτά τα θαμνοδενδρώδη. Μεγάλες περιοχές με δενδρώδη βλάστηση κάλυπταν εκτάσεις με ειδικά εδαφολογικά χαρακτηριστικά (pH, λιγότερο ασβέστιο κ.λπ., ανάλογες του γερμανικού τύπου δάσους “Bruchwald”), ενώ παράλληλα αναπτύσσονταν και περιοχές με βλάστηση όπου κυριαρχούσαν τα θαμνώδη φυτά, τα οποία κάλυπταν ποτάμια τέλματα, αλλά κυρίως δελταϊκά πεδία. Αυτό συμπεραίνεται έμμεσα από τα συνοδά κλαστικά ιζήματα και την περιορισμένη παρουσία ασβεστίου. Υπερισχύουν γενικά οι ξυλίτες (λιγνίτες οι οποίοι έχουν διατηρήσει την ξυλώδη υφή).

Κατά το Τριτογενές και ιδιαίτερα κατά το Άνω Μειόκαινο και Πλειόκαινο, παρουσιάζεται στον ελλαδικό χώρο μια αλλαγή εικόνας, όσον αφορά τη βλάστηση σε γενικές γραμμές. Κατά την περίοδο αυτή υπερισχύουν τα ποώδη φυτά, σαν συνέπεια των κλιματολογικών αλλαγών. Η υποχώρηση της θερμοκρασίας, αλλά κυρίως της υγρασίας (βροχοπτώσεων), σε συνδυασμό με την προσφορά εκτεταμένων κατάλληλων γεωμορφολογικών περιβαλλόντων –λόγω ορογενετικών κινήσεων– είχε ως αποτέλεσμα την κάλυψη εκτεταμένων ελωδών πεδίων λιμνοτελματικού τύπου από καλαμοψαθοτύρφες. Τούτο μαρτυρούν ιδιαίτερα τα συνοδά λιμναία ιζήματα (μάργες κλπ), όπως επίσης και η σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα ασβεστίου.

Σύμφωνα με τη διάκριση των ελληνικών κοιτασμάτων σε παράκτια και ηπειρωτικά τα σημαντικότερα ελληνικά κοιτάσματα είναι σχηματισμοί ηπειρωτικών λιμναίων λεκανών,

χωρίς καμιά επικοινωνία με τη θάλασσα. Οι λεκάνες αυτές, που βρίσκονται στο εσωτερικό της χέρσου, σχηματίστηκαν εξαιτίας της ρηξιγενούς τεκτονικής και ταφρογένεσης – τεκτονικές τάφροι μεγάλου μήκους, μέχρι και πάνω από μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα, όπως είναι η τάφος Μοναστηρίου Γιουγκοσλαβίας-Ελασσόνας– μετά το τέλος των πτυχώσεων της Αλπικής Ορογένεσης, κατά την νεογενή και τεταρτογενή περίοδο. Οι τάφροι αυτές μεταβάλλονταν τοπικά και χρονικά σε λίμνες και έλη και σε συνδυασμό με κατάλληλες συνθήκες (τυρφογένεσης-λιγνιτογένεσης) που δημιουργήθηκαν, σχηματίστηκαν τα μεγαλύτερα κοιτάσματα της χώρας, όπως είναι αυτά της Μεγαλόπολης, Πτολεμαΐδας κ.ά. χωρίς να έχουν ακόμη εξαντληθεί οι έρευνες τόσο σ' αυτές, όσο και σε άλλες ηπειρωτικές λεκάνες, όπως π.χ. της Δράμας όπου ανακαλύφθηκαν πρόσφατα τεράστια αποθέματα λιγνίτη.

Γεωχρονολογικά, οι κύριες φάσεις σχηματισμού ορυκτών ανθράκων συμπίπτουν με το Νεογενές (Μειόκαινο-Πλειόκαινο) όπου ανήκουν το 77% των γνωστών λιγνιτικών κοιτασμάτων (με σημαντικότερα αυτά της Πτολεμαΐδας, Κοζάνης, Αλιβερίου κ.ά.) και κατά δεύτερο λόγο (14%) με το Τεταρτογενές (τα σημαντικότερα αυτών είναι τα τυρφοειδούς τύπου λιγνίτη κοιτάσματα της Μεγαλόπολης, η τύρφη των Φιλίππων, της Έδεσσας κ.α.).

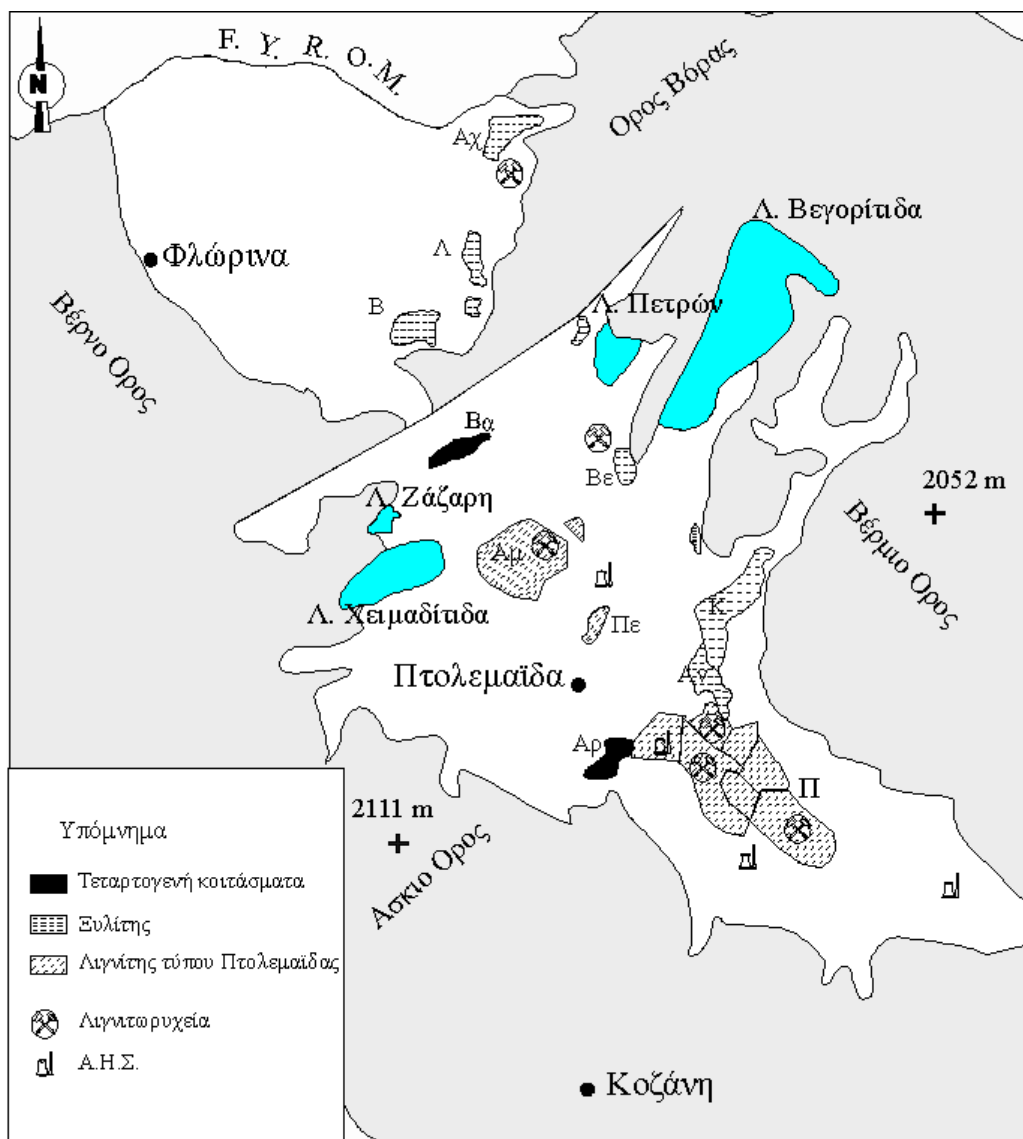
Τα εκμεταλλεύσιμα στερεά ορυκτά καύσιμα της χώρας μας είναι οι λιγνίτες και η τύρφη, τα οποία γεωχρονολογικά, κατατάσσονται από το Ηώκαινο μέχρι το Ολόκαινο. Στους παλαιότερους σχηματισμούς (Ηώκαινο) ανήκουν γενικά τα κοιτάσματα παράκτιων λεκανών (Αλεξανδρούπολης), τα οποία παρουσιάζουν περιορισμένο μεταλλευτικό ενδιαφέρον, ενώ αντίστοιχα στους νεώτερους ανήκουν οι τυρφοειδούς μορφής λιγνίτες Μεγαλόπολης (Πλειστόκαινο) και οι τύρφεις Φιλίππων και Έδεσσας (Ολόκαινο).

Η ηλικία των σημαντικότερων και περισσότερων λιγνιτικών κοιτασμάτων είναι ενδιάμεση, μεταξύ των πιο πάνω περιπτώσεων και κατά το πλείστον μειοκαινική έως πλειοκαινική (νεογενή). Συνήθως, όλες οι νεογενείς λεκάνες λιγνιτοφορούν, ενώ σε ελάχιστες περιπτώσεις συμβαίνει το ίδιο στις λεκάνες του Παλαιογενούς και Τεταρτογενούς.

Από το σύνολο των σημαντικότερων λιγνιτοφόρων λεκανών στρωματογραφικά οι 55 ανήκουν στο Τριτογενές και ιδιαίτερα στο Νεογενές (48), ενώ μόνο 8 ανήκουν στο Τεταρτογενές.

4. ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΩΝ ΛΙΓΝΙΤΟΦΟΡΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΦΛΩΡΙΝΑΣ ΚΑΙ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Τα λιγνιτικά κοιτάσματα τα οποία μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία βρίσκονται σε ενδοηπειρωτικές λεκάνες και συγκεκριμένα στην τεκτονική τάφρο της Δυτικής Μακεδονίας. Στο χάρτη του Σχ. 5, δίνεται σκαρίφημα τμήματος της τεκτονικής τάφρου “Φλώρινας – Πτολεμαΐδας – Κοζάνης- Ελασσόνας” (Σχ. 5).



Σχ. 5: Σκαρίφημα τμήματος της τεκτονικής τάφρου της Δυτικής Μακεδονίας (Αχ: Αχλάδα, Λ: Λόφοι, Β: Βεύη, Βε: Βεγόρα, Βα: Βαλτόνερα, Αμ: Αμύνταιο, Πε: Περδίκια, Αρ: Άρδασσα, Κ: Κομνηνά, Αν: Ανατολικό, Π: Πτολεμαΐδα).

Η λιγνιτοφόρος λεκάνη “**Φλώρινας-Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης-Σερβίων-Ελασσόνας**” αποτελεί τμήμα της μεγάλης τεκτονικής τάφρου μήκους > 120 km, που εκτείνεται από το Μοναστήρι (πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας) μέχρι την Ελασσόνα, νότια του Αλιάκμονα ποταμού. Ο άξονας της τάφρου έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, παράλληλη με τον άξονα των Ελληνίδων οροσειρών. Γεωτεκτονικά, η περιοχή ανήκει στην Πελαγονική ζώνη, ενώ η τάφρος δημιουργήθηκε από τη ρηξιγενή τεκτονική του Νεογενούς. Κατά το Ανώτερο Μειόκαινο επεκράτησαν εφελκυστικές τάσεις με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ, που δημιούργησαν το κύριο βύθισμα με ρήγματα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης. Κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο και το Τεταρτογενές εφελκυστικές τάσεις ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης χώρισαν το αρχικό βύθισμα σε επιμέρους λεκάνες, που οριοθετούνται από ΒΑ-ΝΔ ρήγματα.

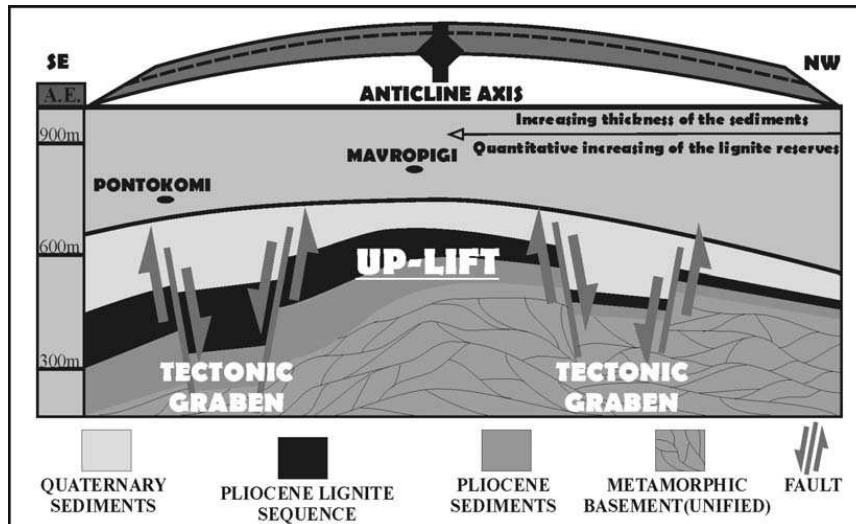
Σχηματίστηκαν έτσι οι λεκάνες Φλώρινας, Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας, Κοζάνης-Σερβίων και Ελασσόνας.

Οι Νεογενείς αποθέσεις των παραπάνω λεκανών διακρίνονται σε τρεις σειρές:

1. την κατώτερη σειρά (σχηματισμός Κομνηνών)
2. τη μεσαία σειρά (σχηματισμός Πτολεμαΐδας) και
3. την ανώτερη σειρά.

Η κατώτερη σειρά αποτελείται στη βάση της από ένα γνευσιακό κροκαλοπαγές, το οποίο μεταβαίνει προς τα πάνω σε μάργες, αμμώδεις μάργες, άμμους, ιλύες, αργίλους και λιγνίτες. Το περιβάλλον απόθεσης ήταν ποτάμιο, ποταμολιμναίο και τοπικά τελματικό. Η ηλικία του σχηματισμού είναι Άνω Μειοκαινική μέχρι Κάτω Πλειοκαινική, όπως διαπιστώθηκε από μακροπαλαιοβοτανικούς και παλυνολογικούς προσδιορισμούς.

Ο μεσαίος σχηματισμός χαρακτηρίζεται από μεγάλο πάχους στρώματα λιγνιτών (Σχ. 4), που εναλλάσσονται με στρώματα αργίλων, ιλύων, αμμωδών αργίλων και μαργών. Το περιβάλλον απόθεσης ήταν κύρια λιμναίο και λιμνοτελματικό. Η ηλικία του σχηματισμού είναι Πλειοκαινική σύμφωνα με παλυνολογικές μελέτες. (ΜΠΕ Μαυροπηγής –Ποντοκόμης, 2006).



Σχ. 6: Γεωλογική τομή τμήματος της λεκάνης της Πτολεμαΐδας σε διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.

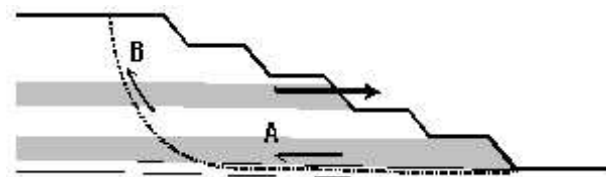
Ο ανώτερος σχηματισμός αποτελείται από τις Τεταρτογενείς αποθέσεις. Το πάχος τους δεν είναι σταθερό, αλλά κυμαίνεται από λίγα μέτρα μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα. Τα ιζήματα επικάθονται ασύμφωνα πάνω στα Πλειοκαινικά στρώματα. Η αιτία της ασυμφωνίας είναι ο τεκτονισμός του Ανώτερου Πλειοκαίνου-Κατώτερου Πλειστοκαίνου. Τα ιζήματα είναι κύρια ποτάμια (άμμοι και κροκάλες), ενώ τοπικά απαντώνται άργιλοι και μάργες, μικρού πάχους λιγνιτικά στρώματα και τύρφη (ΜΠΕ Μαυροπηγής – Ποντοκόμης).

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν τα λιγνιτικά κοιτάσματα Αχλάδας και Λόφων από τη γεωλογική λεκάνη της Φλώρινας και το λιγνιτικό κοίτασμα του Νοτίου Πεδίου από τη λεκάνη της Πτολεμαΐδας. Όσον αναφορά την εκμετάλλευση του λιγνίτη στα παραπάνω ορυχεία με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια, το Νοέμβριο του 2001, η ΔΕΗ ξεκίνησε τη διάνοιξη του πρώτου της ορυχείου στο μικρό κοίτασμα Αχλάδας του Νομού Φλώρινας, ενώ το ορυχείο που περιλαμβάνει την εκμετάλλευση του λιγνιτικού κοιτάσματος Νοτίου Πεδίου, έχει ετήσια παραγωγή λιγνίτη 18-22 εκ. τον. και καλύπτει ανάγκες των 5 Μονάδων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1585 MW. (Καβουρίδης Κ., 2005).

Στο πλαίσιο των προτεραιοτήτων που τίθενται διεθνώς στον ενεργειακό τομέα σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος, το περιβαλλοντικό κριτήριο λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό της εκμετάλλευσης λιγνιτικών κοιτασμάτων.

5. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ

Ο τύπος των κατολισθήσεων που αναπτύσσονται στα λιγνιτωρυχεία είναι σύνθετος και συνίσταται από ένα επίπεδο, σχεδόν οριζόντιο τμήμα και ένα καμπύλο κοντά στην κορυφή του πρηνούς (Leonardos & Terezopoulos, 2003) (Σχ. 7).



Σχ. 7: Τύπος κατολίσθησης και ανάπτυξη της επιφάνειας ολίσθησης.

A: Σχεδόν οριζόντιο τμήμα.

B: Καμπύλο τμήμα κοντά στην κορυφή του πρηνούς

Οι οριζόντιες επιφάνειες ολίσθησης αναπτύσσονται σε στρώματα με αργιλικά υλικά υψηλής πλαστικότητας, τα οποία παρεμβάλλονται σε πρακτικά μη υδατοπερατά στρώματα, πάχους δεκάδων μέτρων. Στην περίπτωση αυτή η διακύμανση του υδροφόρου ορίζοντα, ο οποίος συνήθως αναπτύσσεται στα υπερκείμενα του λιγνίτη δεν επηρεάζει την πίεση του νερού των πόρων στην επιφάνεια ολίσθησης, της οποίας η διατμητική αντοχή ελέγχει την κατολίσθηση (Λεονάρδος, 2004).

Όταν στην επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης η διατμητική αντοχή είναι ιδιαίτερα χαμηλή και ταυτίζεται με την παραμένουσα (αντοχή η οποία δεν μπορεί να μειωθεί όση και αν είναι η παραμόρφωση), τότε ξεκινάει μια διαδικασία προοδευτικής αστοχίας (Bromhead, 1992).

Βάσει εργαστηριακών δοκιμών και μετρήσεων από κλισιόμετρα, ο μηχανισμός των κατολισθήσεων στα λιγνιτωρυχεία έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

➤ Η επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης αναπτύσσεται με προοδευτική θραύση, η οποία λόγω των προστερεοποιημένων υλικών οφείλεται σε επίδραση της αρχικής εντατικής κατάστασης (Καβουρίδης, 1988).

➤ Η δημιουργία της επιφάνειας ολίσθησης ξεκινάει από την περιοχή του ποδός και προωθείται προς το εσωτερικό. Από την παραοριζόντια αυτή επιφάνεια, και υπό γωνία,

θα δημιουργηθεί μια καμπύλη επιφάνεια ολίσθησης, η οποία τελικά θα εμφανιστεί στην κορυφή του πρανούς υπό μορφή ρωγμής. (Leonardos & Terezopoulos, 2003)

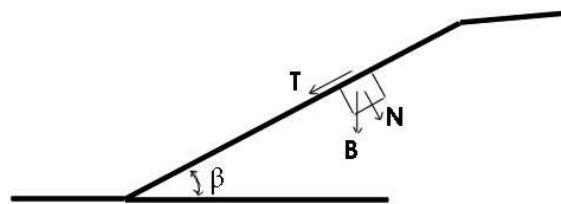
Όταν οι δυνάμεις, οι οποίες προκαλούν την κίνηση του πρανούς υπερβούν παροδικά τις δυνάμεις που αντιδρούν σε αυτή, προκαλείται, για το ίδιο χρονικό διάστημα, μια πτώση του συντελεστή ασφάλειας του πρανούς, σε επίπεδα ελαφρά κάτω από τη μονάδα. Η ταχύτητα μετακίνησης μειώνεται όταν εξαλειφθεί η εξωτερική διαταραχή.

Στο Σχ. 8 περιγράφονται οι δυνάμεις που εμπλέκονται στην ευστάθεια πρανούς εδαφικού υλικού, με χαρακτηριστικά $c - \phi$.

Ας υποθέσουμε ένα πρανές κλίσης β° , που αποτελείται από ομοιόμορφο στεγνό αμμώδη ($c=0$) εδαφικό σχηματισμό και ας θεωρήσουμε ένα στοιχείο του σχηματισμού αυτού με βάρος B (Σχ. 8)

c : συνοχή για ενεργές τάσεις

ϕ : γωνία διατμητικής αντοχής για ενεργές τάσεις



Σχ. 8: Δυνάμεις που εμπλέκονται στην ευστάθεια πρανούς εδαφικού υλικού με χαρακτηριστικά $c - \phi$.

Για οριακή ευστάθεια του πρανούς θα πρέπει *οι δυνάμεις που το οδηγούν σε αστοχία (F_d) να είναι ίσες με τις δυνάμεις που αντιστέκονται σε ολίσθηση (F_r)*. Στην προκειμένη περίπτωση, ο λόγος των δύο αυτών δυνάμεων F_r / F_d θα πρέπει να είναι ίσος με τη μονάδα. Ο λόγος αυτός καλείται συντελεστής ασφάλειας F .

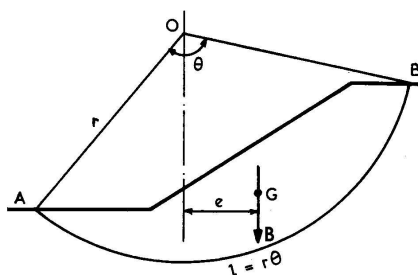
Από το Σχ. 8 διαπιστώνεται ότι οι δυνάμεις που οδηγούν σε αστοχία είναι οι δυνάμεις T , που είναι ίσες με $B \times \eta\mu\beta$. Οι δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση είναι $N \times \epsilon\phi\phi$ (για $c=0$), όπου στο Σχ. 8, $N = B \times \sigma\upsilon\nu\beta$ και $\phi = \eta$ γωνία εσωτερικής τριβής του εδαφικού σχηματισμού. Με βάση τα παραπάνω, για πρανή όπου απαιτείται αυξημένη ευστάθεια ισχύει η σχέση: $F_d = F_r / F$.

Στην περίπτωση που έχουμε οριακή ισορροπία ισχύει ότι $F = 1$, ή διαφορετικά (με αντικατάσταση), $1 = \epsilon\phi\phi / \epsilon\phi\beta$ και επομένως, $\phi = \beta$. Παρατηρείται δηλαδή ότι στην

περίπτωση που έχουμε οριακή ισορροπία η γωνία κλίσης του πρανούς είναι ίση με τη γωνία εσωτερικής τριβής του υλικού.

Ο συντελεστής ασφάλειας σε τεχνητά πρανή επιχωμάτων αμέσως μετά τη διαμόρφωσή τους (αστράγγιστες συνθήκες) και για εδάφη με γωνία τριβής=0 (αργιλικά) ισούται **με τον λόγο των ροπών που συμβάλλουν στην αντίσταση σε ολίσθηση, προς τις ροπές που εννοούν την ολίσθηση** (Σχ. 9).

$$F = cr^2\theta / Be, \text{ (c = μέγιστη διατμητική αντοχή, αφού } \varphi = 0 \text{).}$$

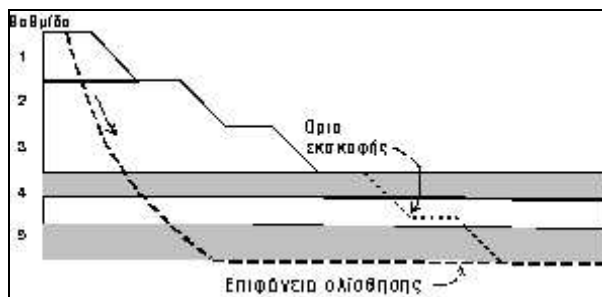


Σχ. 9: Ανάλυση τάσεων σε συνεκτικά εδάφη (από Smith, 1978).

Η επιπλέον δύναμη που προκαλεί τη διαταραχή συνδέεται με εξωτερικά συμβάντα και μπορεί να είναι:

- Εκσκαφή μάζας, η οποία λειτουργεί ως αντιστήριξη στο πρανές και
- η τροφοδοσία των ρωγμών στην κορυφή του πρανούς με μεγάλες ποσότητες επιφανειακών υδάτων.

Η περίπτωση αστοχίας λόγω εκσκαφής φαίνεται στο Σχ. 10 (Leonardos & Terezopoulos, 2003).



Σχ. 10: Αστοχία πρανούς λόγω εκβάθυνσης της εκσκαφής.

Στο πρανές αυτό έχει αναπτυχτεί κατολίσθηση με την οριζόντια επιφάνεια ολίσθησης στο δάπεδο της λιγνιτοφόρου στοιβάδας. Καθώς απολαμβάνεται η τέταρτη βαθμίδα, η

προσφερόμενη αντιστήριξη απ' αυτήν παύει να υπάρχει και το πρανές τίθεται σε κίνηση. Οι κινήσεις θα αρχίζουν να επιβραδύνονται μόλις η πέμπτη βαθμίδα αρχίσει να αντιδρά και να λάβει την αντιστήριξη που προσέφερε προηγουμένως η τέταρτη βαθμίδα, εφόσον βέβαια το πρανές με μόνη την πέμπτη βαθμίδα έχει επαρκή συντελεστή ασφαλείας.

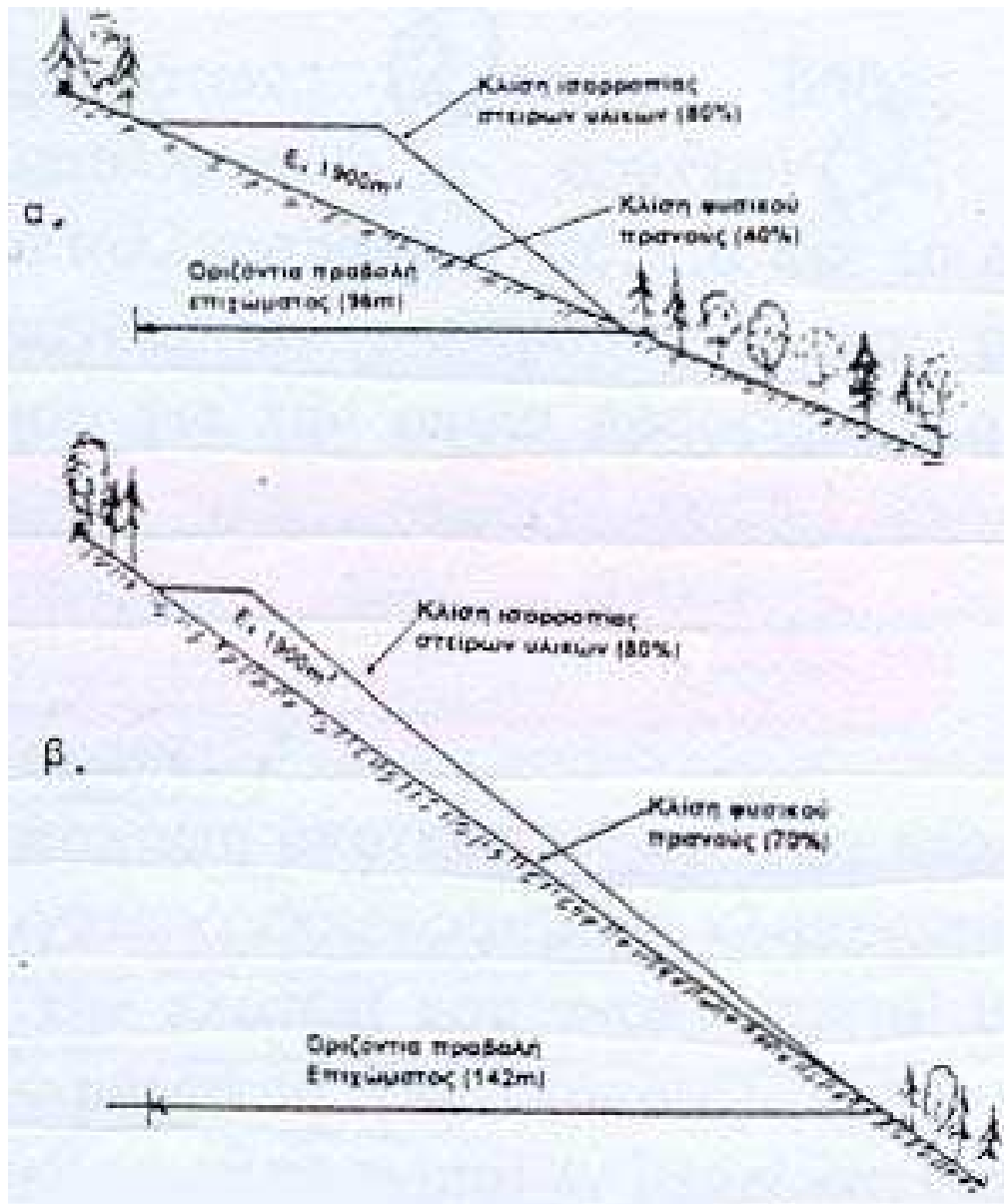
Η τροφοδοσία των ρωγμών με νερό υποβιβάζει ταχύτητα το συντελεστή ασφαλείας σε επίπεδα κάτω της μονάδας, με αποτέλεσμα την άμεση εμφάνιση υψηλών ταχυτήτων μετακίνησης. Όταν η τροφοδοσία των ρωγμών με τα επιφανειακά νερά σταματήσει, λόγω της διεύρυνσης των ρωγμών από τις μετακινήσεις η στάθμη των νερών στις ρωγμές θα πέσει και το πρανές θα σταθεροποιηθεί.

Στο πρανές του Σχ. 10 αναπτύσσεται επιφάνεια ολίσθησης στο δάπεδο του εκμεταλλεύσιμου λιγνίτη. Το πρανές αυτό, υπολογισμένο με την αργή παραμένουσα τάση στην επιφάνεια ολίσθησης, είναι οριακά ευσταθές όταν αποληφθεί και η τέταρτη βαθμίδα και ασταθές με την απόληψη και της πέμπτης βαθμίδας.

Η εξόρυξη του λιγνίτη συνήθως, πραγματοποιείται από καδοφόρους εκσκαφείς με τη μέθοδο των ορθών βαθμίδων και τη δημιουργία ανοιχτών, υπαίθριων ορυχείων. Οι διαστάσεις των βαθμίδων ποικίλουν, όταν το βάθος εντοπισμού του λιγνίτη δεν είναι σταθερό σε όλη την περιοχή εκμετάλλευσης.

Επίσης, κατά τη διάρκεια εκμετάλλευσης των λιγνιτικών κοιτασμάτων, τα στείρα υλικά από την εξόρυξη του λιγνίτη στην περιοχή μελέτης, μεταφέρονται συνήθως, σε χώρους εσωτερικής και εξωτερικής απόθεσης. Οι εξωτερικές αποθέσεις είναι αυτές που απαιτούν μεγαλύτερη προσοχή και μελέτη των συνθηκών που επικρατούν για τη σωστή τους χωροθέτηση. Η τοπογραφική διαμόρφωση των χώρων απόθεσης και κυρίως η κλίση, επηρεάζουν το μέγεθος της καταλαμβανόμενης επιφάνειας. Επιφάνειες με μεγάλη κλίση (Σχ. 11) δεν είναι κατάλληλες για απόθεση. Για μια δεδομένη ποσότητα στείρων υλικών, η καταλαμβανόμενη επιφάνεια μεγαλώνει σημαντικά με την αύξηση της κλίσης.

Επιπλέον, λόγω της δυναμικής και κινητικής ενέργειας των στείρων υλικών κατά την εκφόρτωση, η απόθεση γίνεται ανεξέλεγκτη, με αποτέλεσμα η επιφάνεια που καταλαμβάνεται να γίνεται ακόμη μεγαλύτερη. Το πρόβλημα γίνεται τόσο περισσότερο έντονο, όσο η κλίση της επιφάνειας πλησιάζει τη γωνία ισορροπίας των στείρων υλικών.



Σχ. 11: Επίδραση της κλίσης στο μέγεθος της καταλαμβανόμενης επιφάνειας φυσικού εδάφους από την ίδια ποσότητα στείρων υλικών (Χοινίδου, Ε., 2007).

6. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

6.1. ΓΕΝΙΚΑ-ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Ο όρος “κατολίσθηση” αναφέρεται, συνήθως, σε εκείνες τις αποσπάσεις από φυσικά ή τεχνητά πρηνή που εκδηλώνονται σχεδόν πάντοτε με καταπτώσεις περισσότερο ή λιγότερο αιφνίδιες και ταχείες, ευδιάκριτων όγκων πετρωμάτων ή εδαφικών μαζών, με μερική ή πλήρη καταστροφή της δομής τους. Σε αυτό τον όρο δεν περιλαμβάνονται στις κατολισθήσεις οι μετακινήσεις εδαφών και πετρωμάτων που γίνονται με πολύ μικρή ταχύτητα, δηλαδή μερικά εκατοστά το χρόνο. Οι μετακινήσεις αυτού του τύπου είναι γνωστές με την ονομασία *ερπυσμός* (creeping).

Οι ερπυστικές κινήσεις είναι συχνά συνεχείς, επειδή όμως γίνονται με πάρα πολύ μικρή ταχύτητα, μένουν απαρατήρητες μέσα στα πλαίσια της καθημερινής παρακολούθησης, είναι όμως αισθητές και μετρήσιμες στην κλίμακα του Μηχανικού. Γενικά από τη μελέτη των ερπυστικών κινήσεων έχουν προκύψει χρήσιμα συμπεράσματα όπως για παράδειγμα ότι στους αργιλικούς σχιστόλιθους πριν από την εκδήλωση μιας κατολίσθησης, παρατηρούνται πάντοτε φαινόμενα επιταχυνόμενου ερπυσμού μέχρι βάθους μεγαλύτερο από αυτό που επηρεάζεται από τις εποχιακές μεταβολές της υγρασίας και της θερμοκρασίας καθώς και ότι μόλις η ταχύτητα της ερπυστικής παραμόρφωσης φτάνει σε τιμή αρκετών εκατοστών ετησίως, εκδηλώνεται κατολίσθηση.

Μια αρχική και συγχρόνως σύντομη μελέτη μιας κατολίσθησης είναι περιγραφική – φυσιογνωμική, που δεν οδηγεί όμως τις περισσότερες φορές, στη ριζική λύση του προβλήματος, αφού δε μπορεί να προσδιορίσει όλες τις φορές τον ακριβή μηχανισμό του φαινομένου. Πραγματικά μόνο η γνώση του μηχανισμού αυτού σε συνδυασμό με τη γνώση των αιτιών επιτρέπει την εφαρμογή των σωστών προστατευτικών ή επανορθωτικών μέτρων. Στην πορεία για την εύρεση των βαθύτερων αιτιών και για να διερευνηθεί και μελετηθεί ποσοτικά ο μηχανισμός αυτός, οπότε και η μελέτη γίνεται ολοκληρωμένη, συναντώνται πολλές δυσκολίες. Οι δυσκολίες αυτές, οφείλονται σε παράγοντες αδιόρατους, άγνωστους ή προσεγγιστικά εκτιμώμενους και στις γνωστές αδυναμίες που προβάλλουν τα υλικά της φύσης (ετερογένεια - ανισοτροπία). Τα καλύτερα αποτελέσματα εξασφαλίζονται με αρκετό αριθμό ερευνητικών έργων, δοκιμών και μετρήσεων – παρατηρήσεων του εδάφους και του υπεδάφους στη μεγαλύτερη δυνατή χρονική διάρκεια.

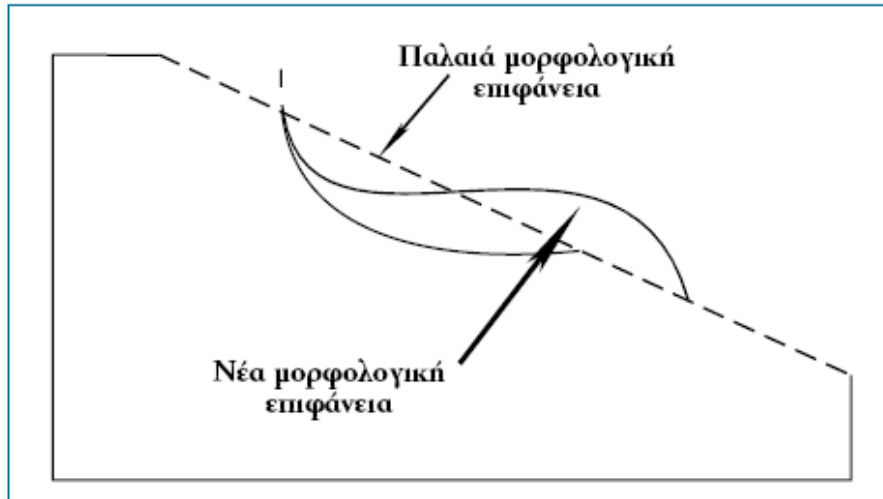
Μια κατολίσθηση μπορεί να εκδηλωθεί απρόοπτα ή με βαθμιαία προοδευτική απόσπαση μέρους του πρανούς. Η κίνηση των αποσαθρωμένων υλικών μπορεί να γίνει με μεγάλη ή μικρή ταχύτητα, ή και να διακόπτεται κατά χρονικά διαστήματα, περισσότερο ή λιγότερο μεγάλα. Όταν η ανακοπή της κίνησης διαρκεί πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα (χρόνια), τότε νέες μετακινήσεις χαρακτηρίζονται σαν επαναδραστηριοποιημένες κατολισθήσεις από ενεργοποίηση παλαιών.

Με κριτήριο την ηλικία διακρίνουμε κατολισθήσεις σύγχρονες και παλιές. Στις πολύ παλιές κατολισθήσεις δύσκολα διακρίνονται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά που τις κάνουν εμφανείς, ωστόσο με βάση τα γεωλογικά κριτήρια ο εντοπισμός τους από ένα έμπειρο γεωλόγο είναι δυνατός.

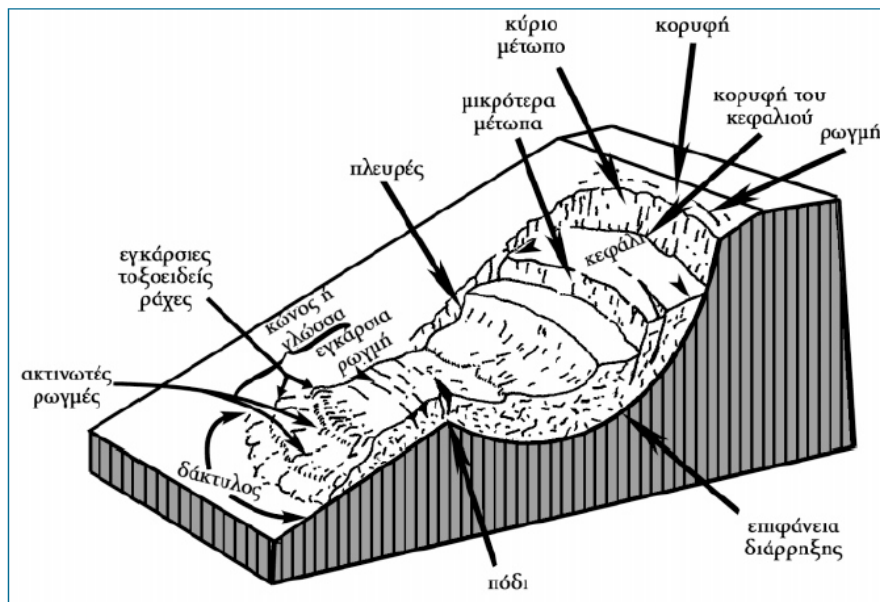
Εκτός από τις κατολισθήσεις που συμβαίνουν στην επιφάνεια της γης και που γίνονται εύκολα αντικείμενο παρατήρησης και έρευνας, υπάρχουν και *υποθαλάσσιες κατολισθήσεις*, η εκδήλωση των οποίων δε γίνεται πάντα αντιληπτή. Οι κατολισθήσεις αυτές είναι ένας από τους σοβαρότερους κινδύνους για τα υποθαλάσσια έργα (π.χ. αγωγούς, καλώδια, σήραγγες).

Οι διαστάσεις των κατολισθήσεων μπορεί να ποικίλουν από μερικά εκατοστά μέχρι μερικά τετραγωνικά χιλιόμετρα. Το μέγεθος μιας κατολίσθησης εξαρτάται από τις διαστάσεις της επιφάνειας κλιτύος που προσβάλλεται από αυτή και από το πάχος της μάζας που αποκολλάται και μετακινείται. Το πάχος αυτό εξαρτάται από το βάθος που η κατολίσθηση έχει προσβάλει το πέτρωμα ή την εδαφική μάζα, δηλαδή από τη θέση της επιφάνειας ολίσθησης. Ανάλογα με τις διαστάσεις της επιφάνειας της κλιτύος που προσβάλλεται από μια κατολίσθηση, διακρίνουμε κατολισθήσεις μεγάλου και μικρού πλάτους, μεγάλου και μικρού μήκους, ανάλογα δε με το βάθος μέχρι το οποίο η κατολίσθηση έχει προσβάλει το πέτρωμα, διακρίνουμε επιφανειακές, μικρού και μεγάλου βάθους κατολισθήσεις.

Οι τυπικές κατολισθήσεις που προσβάλλουν εδάφη ή πολύ πυκνοδιαρρηγμένα πετρώματα, που η συμπεριφορά τους μοιάζει πολύ με εκείνη των ασύνδετων αδρομερών υλικών, παρουσιάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, πριν από την εκδήλωση μιας κατολίσθησης, εμφανίζονται εφελκυστικές ρωγμές στο πάνω μέρος του πρανούς που πρόκειται να κατολισθήσει. Κατά τη διάρκεια της κατολίσθησης, το πάνω τμήμα της μετακινούμενης μάζας υποχωρεί σε σχέση με την αρχική επιφάνεια του πρανούς, ενώ το κάτω διογκώνεται πάνω από την αρχική επιφάνεια. Έτσι, αν η αρχική επιφάνεια του πρανούς ήταν επίπεδη, η νέα μορφολογική επιφάνεια που θα δημιουργηθεί, θα παρουσιάζεται σε κατακόρυφη τομή κατά μήκος του άξονα της κατολίσθησης, με τη μορφή σχήματος S (Σχ. 12). Τα τυπικά μέρη που διακρίνονται σε μια κατολίσθηση φαίνονται στο (Σχ. 13.)



Σχ. 12: Κάτοψη μιας κατολίσθησης και κατακόρυφη τομή κατά μήκος του άξονά της.



Σχ. 13: Στερεοδιάγραμμα στο οποίο φαίνονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά σημεία μιας κατολίσθησης (Varnes, 1978).

6.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες ταξινομήσεις κατολισθήσεων (A. Heim 1885, Bay 1939, Penta 1956 και Desio 1959), άλλοτε απλές και άλλοτε σύνθετες, στηριζόμενες σε ποικίλα κριτήρια, κάτι το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα, τα πιο πολλά συστήματα ταξινόμησης να διαφέρουν τελείως μεταξύ τους. Σαν τέτοια κριτήρια έχουν χρησιμοποιηθεί: το είδος των υλικών, η μορφή της επιφάνειας ολίσθησης, η ταχύτητα μετακίνησης, το πάχος της μάζας που κατολίσθησε κ.α.

Ο Desio το 1959 πρότεινε ένα σύστημα ταξινόμησης, το οποίο θεσπίζει και η Διεθνής Επιτροπή για τη Μελέτη της Υδραυλικής Διευθέτησης και Προστασίας του Εδάφους (1971).

Έχει γίνει γενικότερα αποδεκτή η ταξινόμηση σύμφωνα με τον τύπο της μετακίνησης και τον τύπο του υλικού (Varnes, 1958 και Schuster-Krizek ed 1978) καθώς και εκείνη σύμφωνα με τη φύση του υλικού που μετακινείται (Zaruba-Mencl, 1969 και 1976).

Οι Zaruba – Mencl (1969), εκφράζοντας τις απόψεις της Τσεχοσλοβάκικης Σχολής και τις ιδιομορφίες της γεωλογικής δομής της χώρας τους, διέκριναν δύο μεγάλες κατηγορίες μετακίνησης πρανών:

➤ Τις μετακινήσεις του Τεταρτογενούς καλύμματος, οι οποίες είναι και πολυπληθέστερες.

➤ Τις μετακινήσεις του προτεταρτογενούς υποβάθρου, τις οποίες υποδιαιρούν ανάλογα με το χαρακτήρα των πετρωμάτων και τον τύπο της μετακίνησης (Engineering Geology and Hydrogeology, 2005).

Η ταξινόμηση του Varnes έχει γίνει πλέον διεθνώς αποδεκτή και χρησιμοποιείται ευρέως για την περιγραφή όλων των εδαφικών μετακινήσεων, καθώς είναι αρκετά ευέλικτη και προσαρμόζεται εύκολα στις εκάστοτε συνθήκες. Αυτοί είναι και οι λόγοι που επιλέχθηκε σαν ταξινόμηση και για την παρούσα εργασία.

Η ταξινόμηση κατά Varnes (1978) περιλαμβάνει έξι τύπους μετακίνησης πρανών (Πίν. 1, Σχ.14) οι οποίοι είναι:

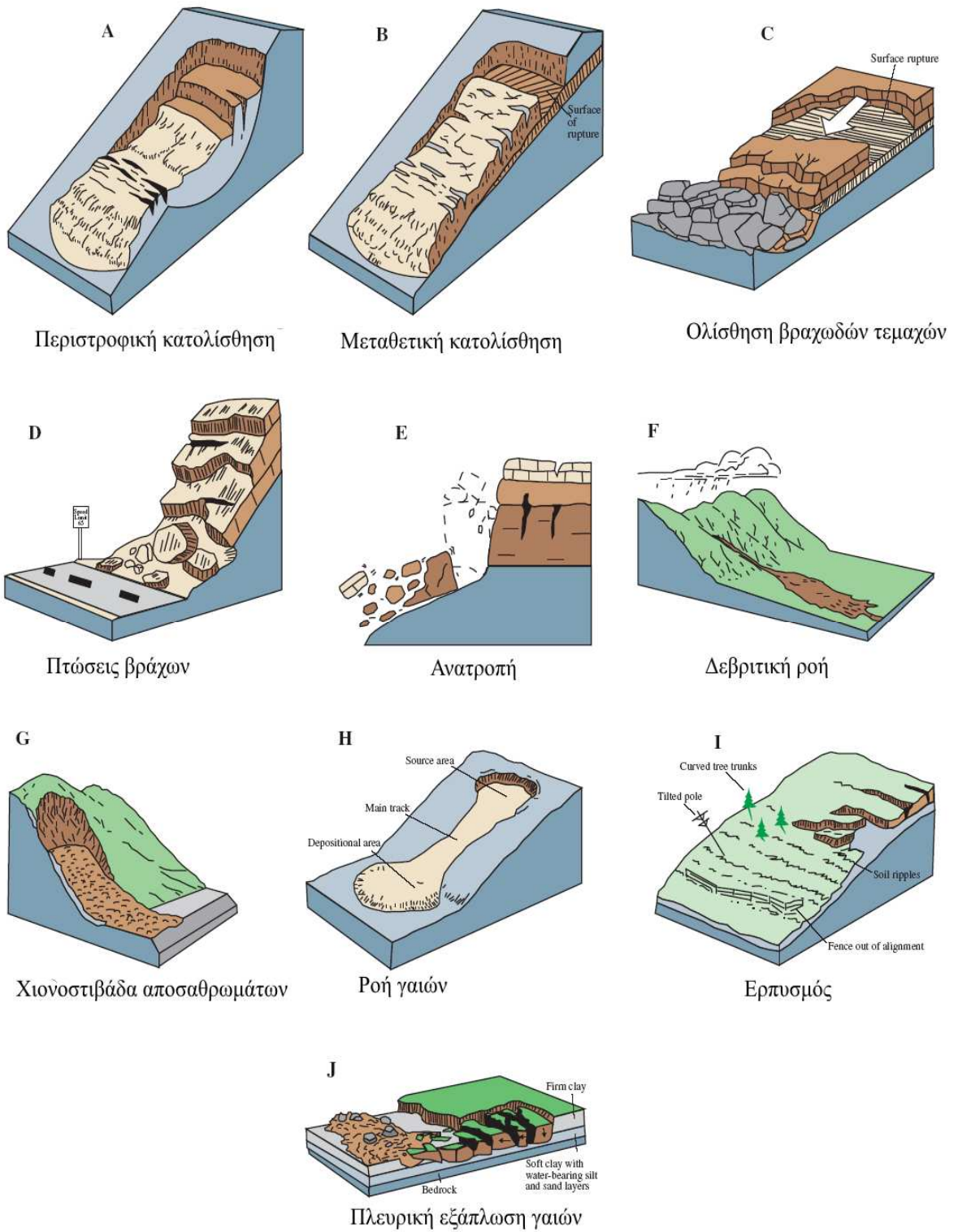
- 1) Καταπτώσεις (falls)
- 2) Ανατροπές (topplings)
- 3) Ολισθήσεις (slides)
- 4) Πλευρικές επεκτάσεις (lateral spreads)
- 5) Ροές (flows)
- 6) Σύνθετες μετακινήσεις (complex)

ΤΥΠΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ			ΤΥΠΟΣ ΥΛΙΚΟΥ (πριν την κίνηση)	
			Υπόβαθρο	Έδαφος
				Επικρατούν Επικρατούν τα αδρομερή υλικά λεπτό □ οκκ α υλικά
Πτώσεις			Καταπτώσεις βράχων	Καταπτώσεις κορημάτων Καταπτώσε ις γαιών
Ανατροπές			Ανατροπές βράχων	Ανατροπές κορημάτων Ανατροπές γαιών
Ολισθήσεις	Περιστροφικές	Λίγες ενότητες	Ολίσθηση βράχων	Ολίσθηση κορημάτων Ολίσθηση γαιών
	Μεταθετικές	Πολλές ενότητες	Ολίσθηση βραχωδών τεμαχών Ολίσθηση βράχων	Ολίσθηση αδρομερών υλικών Ολίσθηση βράχων κορημάτων Ολίσθηση τεμάχους γαιών Ολίσθηση βράχων γαιών
Πλευρικές εκτάσεις			Εξάπλωση βραχωδών μαζών	Εξάπλωση αδρομερών υλικών Εξαπλώσεις γαιών (εδαφών)
Ροές			Ροή βραχωδών μαζών(βαθύς ερπυσμός)	Ροή συνεκτικών αδρομερών υλικών Ροή γαιών (εδαφών) Ερπυσμός εδάφους

Σύνθετες

Συνδυασμός δύο ή περισσότερων κύριων
τύπων μετακίνησης

Πίν. 1: Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών (κατά Varnes, in Schuster- Krizek ed, 1978).



Σχ. 14: Τύποι μετακίνησης πρανών κατά Varnes (1978).

Ο τύπος τόσο της κίνησης όσο και του υλικού μπορεί να ποικίλει από θέση σε θέση και μπορεί να υπάρχει συνεχής διαβάθμιση και στα δύο. Έτσι, δεν είναι πρακτική και δυνατή μια αυστηρή ταξινόμηση.

Όσον αφορά στην ταχύτητα εκδήλωσης του φαινομένου ο Varnes (1978) προτείνει την πιο κάτω κλίμακα (Πίν. 2):

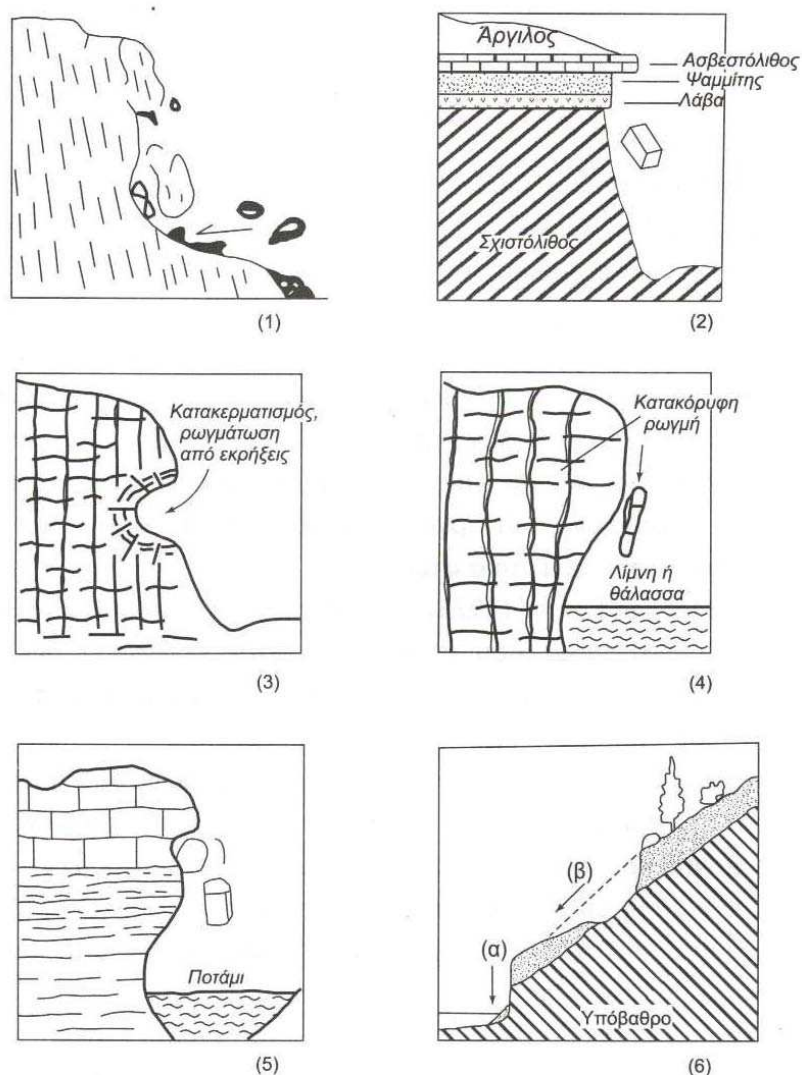
Ταχύτητα Μετακίνησης	Χαρακτηρισμός Μετακίνησης
3 m/sec	Εξαιρετικά γρήγορη
0,3 m/min	Πολύ γρήγορη
1,5 m/day	Γρήγορη
1,5 m/μήνα	Μέτρια
1.5 m/χρόνο	Αργή
0,6 m/χρόνο	Πολύ αργή
	Εξαιρετικά αργή

Πίν. 2: Κλίμακα ρυθμού μετακίνησης των πρανών (Varnes 1978).

Στη συνέχεια δίνεται συνοπτική περιγραφή κάθε τύπου μετακίνησης:

Καταπτώσεις

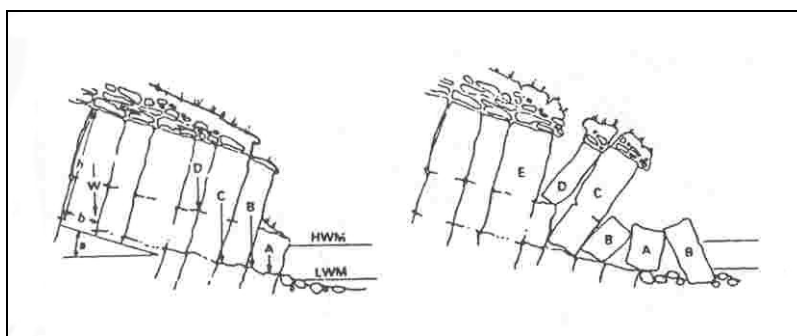
Στις πτώσεις (Σχ. 15), μια μάζα οποιουδήποτε μεγέθους αποσπάται, από ένα απότομο πρανές, κατά μήκος μιας επιφάνειας κατά την οποία συμβαίνει ελάχιστη ή καθόλου διατμητική μετατόπιση και κατέρχεται, ταξιδεύοντας στον αέρα κυρίως, με απλή πτώση, αναπήδηση ή κύλιση. Η μετακίνηση αυτού του είδους είναι πολύ μέχρι εξαιρετικά γρήγορη και είναι δυνατόν να έχουν προηγηθεί ή όχι μικρότερες μετακινήσεις, που οδήγησαν στον προοδευτικό αποχωρισμό της μετακινούμενης μάζας από το μητρικό πέτρωμα.



Σχ. 15: Καταπτώσεις βράχων, κορημάτων και γαιών: (1) τυπική κατάπτωση βράχων (VARNES 1978), (2) κατάπτωση λόγω διαφορετικής αποσάθρωσης (LETOURNEUR and MICHEL 1971), (3) λόγω φυσικού κατακερματισμού ή από εκρήξεις, (4) λόγω ρωγμών και διαφορετικής διάβρωσης από το κύμα, (5) λόγω ρωγμών και διαφορετικής διάβρωσης από το ποτάμι (VARNES 1978), (6) (α) άμεση κατάπτωση γαιών- εδάφους ή (β) μετά από ολίσθηση (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΙΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007).

Ανατροπές

Κατά τις ανατροπές (Σχ. 16) η κίνηση είναι περιστροφική προς τα εμπρός μίας ή περισσότερων μονάδων γύρω από ένα σημείο περιστροφής, που βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους του τεμάχου και προκαλείται από τη βαρύτητα και από τις δυνάμεις που ασκούνται από τα γειτονικά τεμάχια ή από τα ρευστά μέσα στις ρωγμές. Πρόκειται για κάμψη και ανατροπή χωρίς κατάρρευση.



Σχ. 16: Ανατροπές βράχων. Δύο στάδια ανάπτυξης της ανατροπής βράχων σε κερματισμένα συμπαγή πετρώματα (de Freitas – Watters, 1973).

Ολισθήσεις

Στις πραγματικές ολισθήσεις η μετακίνηση συνίσταται από διατμητική παραμόρφωση και μετατόπιση κατά μήκος μίας ή και περισσότερων επιφανειών. Η κίνηση μπορεί να είναι προοδευτική, δηλαδή η διατμητική θραύση μπορεί να μη συμβεί αρχικά ταυτόχρονα σε όλη την επιφάνεια, που ίσως αποτελέσει τελικά μια καθορισμένη επιφάνεια θραύσης, αλλά μπορεί να μεταδοθεί από μια περιοχή τοπικής θραύσης.

Η μάζα που μετατοπίζεται μπορεί να ολισθήσει πέρα από την αρχική επιφάνεια θραύσης, πάνω στην αρχική επιφάνεια του εδάφους που τώρα γίνεται μια επιφάνεια διαχωρισμού. Προκειμένου να αποδοθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια ο βαθμός της διάσπασης, συχνά χρησιμοποιείται ο όρος "τέμαχος" (ολίσθηση τεμάχου) ή "άθικτη" ολίσθηση προκειμένου για ολισθήσεις που αποτελούνται από μία ή λίγες μονάδες και ο όρος "κερματισμένη" στην περίπτωση της ολίσθησης που αποτελείται από πολλές μονάδες (ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007).

i. Περιτροφικές ολισθήσεις (Rotational slides)

Η πιο συνηθισμένη μορφή περιστροφικής ολίσθησης είναι η *slump* με μικρή παραμόρφωση. Πρόκειται για ολίσθηση κατά μήκος μιας επιφάνειας θραύσης που είναι κοίλη προς τα πάνω.

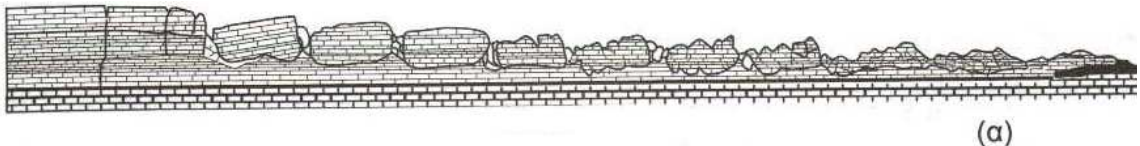
ii. Μεταθετικές ολισθήσεις (Translational slides)

Στις μεταθετικές ολισθήσεις η μάζα προχωρεί προς τα έξω ή προς τα κάτω και έξω, κατά μήκος μιας κατά προσέγγιση επίπεδης ή ομαλά κυματοειδούς επιφάνειας, με πολύ μικρή περιστροφική κίνηση ή κάμψη.

Πλευρικές επεκτάσεις (Lateral Spreads)

Στις επεκτάσεις η κίνηση που επικρατεί είναι η πλευρική διάταση που διευκολύνεται από διατμητικές ή εφελκυστικές ρωγμές. Διακρίνονται δύο κύριοι τύποι τέτοιων πλευρικών επεκτάσεων:

α. Εκείνες όπου η μετατόπιση κατανέμεται σε όλη την εκτεινόμενη μάζα, χωρίς όμως μια καλά καθορισμένη επιφάνεια διάτμησης ή ζώνη πλαστικής ροής που να ελέγχει τη μετακίνηση. Οι επεκτάσεις αυτές συμβαίνουν κυρίως στο υπόβαθρο (Σχ. 17).



Σχ. 17: Πλευρική εξάπλωση ασβεστολιθικών τεμαχών που υπέρκειται μαλακότερων σχηματισμών (VARNES 1978) (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007) .

β. Εκείνες όπου δημιουργείται κατακερματισμός και διάταση συνεκτικού υλικού, είτε του υποβάθρου είτε εδάφους, λόγω υγροποίησης ή πλαστικής ροής των υποκείμενων υλικών. Οι συνεκτικές ανώτερες μονάδες μπορεί να υποστούν καθίζηση, μεταθετική ολίσθηση, περιστροφή ή αποσύνθεση ή μπορεί να υγροποιηθούν και να ρεύσουν. Ο μηχανισμός θραύσης μπορεί να περιλαμβάνει στοιχεία όχι μόνο περιστροφής και μετάθεσης αλλά και ροής. Έτσι οι επεκτάσεις αυτού του είδους μπορεί να θεωρηθούν σαν σύνθετες μετακινήσεις.

Η ταχύτητα μετακίνησης των πλευρικών επεκτάσεων είναι εξαιρετικά μικρή αλλά η επιφάνειά τους κατά κανόνα πολύ μεγάλη, (λωρίδες μερικών μέχρι πολλών χιλιομέτρων).

Επεκτάσεις δημιουργούνται επίσης σε λεπτόκοκκα γαιώδη υλικά, σε πρανή μικρής κλίσης ιδιαίτερα στις ευαίσθητες αργίλους και ιλύες οι οποίες χάνουν ολόκληρη τη διατμητική τους αντοχή όταν διαταραχθούν.

Συχνά στις πλειστοκαινικές αποθέσεις παρατηρούνται μετακινήσεις του τύπου των πλευρικών επεκτάσεων χωρίς φανερή εξωτερική αιτία, απότομες θραύσεις, αστάθειες σε πρανή με μικρές κλίσεις, επικράτηση μεταθετικών κινήσεων, αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων ώστε να προκαλείται αστάθεια των υλικών τα οποία είναι ευπαθή. Μερικές φορές οι θραύσεις αποτελούνται εξολοκλήρου από μια πλάκα ή ένα λέπι (απολεπίωση), ενώ άλλοτε υγροποιούνται πλήρως σε λάσπη.

Ροές

Εκδηλώνονται κυρίως σε χαλαρά υλικά με την μετακινούμενη μάζα να υφίσταται έντονες παραμορφώσεις, ενώ όταν χαρακτηρίζονται από πολύ έως εξαιρετικά αργή ταχύτητα μετακίνησης τότε ταξινομούνται στον *ερπυσμό* (*creep*). Στον ερπυσμό η μετατόπιση είναι δυσδιάκριτη, ενώ σαν φαινόμενο αναγνωρίζεται από την κλίση δέντρων, στύλων ή ακόμα και από τη χαρακτηριστική θέση θραυσμάτων κάποιου γεωλογικού ορίζοντα.

α. Ροές του υποβάθρου

Περιλαμβάνουν παραμορφώσεις που κατανέμονται ανάμεσα σε πολλές και μικρές ή μεγάλες ρωγμές ή ακόμα και μικρορωγμές, χωρίς εντοπισμό της μετατόπισης κατά μήκος μιας ρωγμής. Οι μετακινήσεις είναι γενικώς εξαιρετικά αργές και είναι περισσότερο ή λιγότερο σταθερές στο χρόνο. Τέτοιες μετακινήσεις προέρχονται από πτυχώσεις, κάμψεις (π.χ. κάμψεις κεφαλών στρωμάτων), διογκώσεις ή άλλες εκδηλώσεις πλαστικής συμπεριφοράς.

β. Ροές αποσαθρωμάτων και γαιών

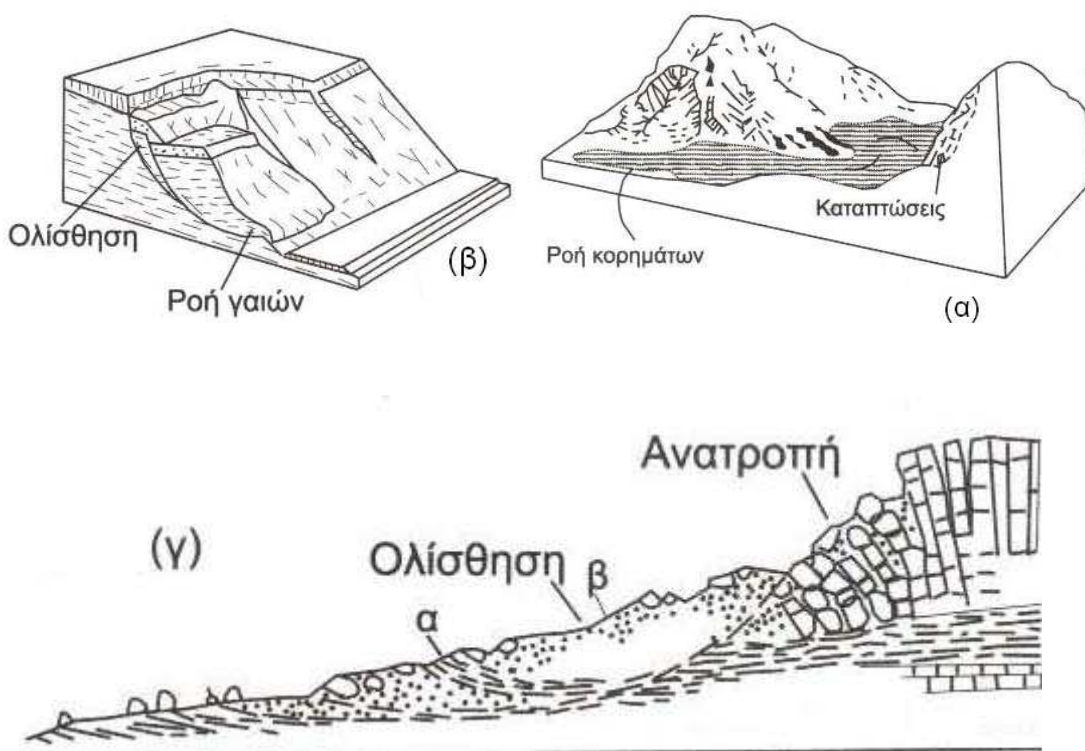
Στα υλικά αυτά οι ροές αναγνωρίζονται πιο εύκολα από εκείνες του υποβάθρου, γιατί οι μετατοπίσεις σε αυτά είναι συνήθως μεγαλύτερες και πιο ευκρινείς. Οι επιφάνειες ολίσθησης μέσα στη μετακινούμενη μάζα δεν είναι συνήθως ορατές ή διαρκούν πολύ λίγο και το όριο ανάμεσα στη μετακινούμενη μάζα και στο υλικό που δεν παίρνει μέρος στη μετακίνηση μπορεί να είναι μια επιφάνεια διαφορικής κίνησης ή μια ζώνη με κατανεμημένη διάτμηση.

Στις ροές γαιών ο Varnes (1978) εντάσσει και τις ροές λεπτόκοκκων υλικών όπως άμμων, ιλύος και αργίλου στις οποίες ένα μέρος της μετακίνησης γίνεται στον αέρα. Η μορφή αυτών των ροών ποικίλει και κυμαίνεται, από πλευράς περιεκτικότητας νερού, από

υπερκορεσμένη μέχρι ξηρά κατάσταση και από πλευράς ταχύτητας μετακίνησης από εξαιρετικά γρήγορη μέχρι εξαιρετικά αργή. Στη μια άκρη της κλίμακας βρίσκεται η *ροή λάσπης* που είναι το υδαρό μέλος της οικογένειας των ροών λεπτόκοκκων γαιών, και στο άλλο άκρο οι ξερές άμμοι.

Σύνθετες μετακινήσεις πρανών

Κατά κανόνα οι μετακινήσεις των πρανών είναι συνδυασμός περισσότερων κύριων τύπων μετακινήσεων από αυτούς που περιγράφηκαν πιο πάνω, είτε στα διάφορα τμήματα της μετακινούμενης μάζας είτε στα διάφορα στάδια της εξέλιξης της μετακίνησης. Μερικά παραδείγματα τέτοιων μετακινήσεων φαίνονται στο (Σχ. 18).



Σχ. 18: Σύνθετες μετακινήσεις:

(α) Καταπτώσεις – Ροή

(β) Ολίσθηση – Ροή

(γ) Ανατροπή – Ολίσθηση

(Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007)

7. ΑΙΤΙΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

7.1. ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Εξετάζοντας την Ελληνική αλλά και τη διεθνή βιβλιογραφία, διαπιστώνεται ότι λίγη προσοχή έχει δοθεί στη μελέτη και τον προσδιορισμό των γεωτεκτονικών δομών των περιοχών που χαρακτηρίζονται από κινήσεις πρανών. Αυτό για τη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρει και ο Nemec (1977), ο οποίος καλεί ολισθαίνουσες γεωλογικές δομές τους σχηματισμούς όπου επικρατούν κινήσεις πρανών. Κατά αυτόν, οι γεωλογικές – τεκτονικές δομές που ευνοούν κινήσεις πρανών αποτελούν τμήματα επιφανειακών ζωνών του γήινου φλοιού, που μπορεί να έχουν προκύψει είτε στο αρχικό τοπογραφικό ανάγλυφο σαν αποτέλεσμα της κορύφωσης των τεκτονικών κινήσεων είτε στο σημερινό τοπογραφικό ανάγλυφο από προχωρημένη διάβρωση βαθύτερων τμημάτων υποκείμενων ενοτήτων που ανυψώθηκαν από νεοτεκτονικές κινήσεις.

Οι Gzerny και Landa (1977) διαπιστώνουν ότι για τις μεγάλης υψομέτρου περιοχές του Καυκάσου, είναι εμφανής η στενή σχέση μεταξύ των φαινομένων της ολίσθησης και των νεοτεκτονικών κινήσεων.

Επίσης ο Slivovsky (1977), χαρακτηριστικά αναφέρει ότι σε τεκτονικά επαναδραστηριοποιημένους σχηματισμούς, οι θεμελιώδεις παράγοντες για την κατάσταση των τάσεων είναι η ορογένεση και οι γεωδυναμικές διεργασίες φυσικού και χημικού χαρακτήρα που συνδέονται με αυτή. Η απομάκρυνση βραχωδών μαζών επιφέρει ανακατανομή των τάσεων και αποσχηματισμό κοντά στην επιφάνεια. Έτσι, διαχωρίζονται μεγάλα τεμάχια και ερπυσμοί παρατηρούνται σε πρανή, που με την επίδραση, αργότερα, φυσικών ή ανθρωπογενών παραγόντων μετατρέπονται σε ολισθήσεις ή καταπτώσεις.

Αναφορικά με την Ελληνική πραγματικότητα, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι λίγες είναι και εδώ οι αναφορές στη σημασία των πρωτογενών παραγόντων στο μηχανισμό εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων.

Έτσι, ο Κούκης (1982), αναφέρει ότι στον Ελληνικό χώρο οι τελευταίες φάσεις της αλπικής ορογένεσης με τον έντονο κερματισμό και τις κατακόρυφες Τεταρτογενείς κινήσεις έχουν προκαλέσει τη δημιουργία πολυποίκιλης γεωμορφολογικής εικόνας με πολύπλοκη γεωλογική δομή και ιδιαίτερες τεχνικογεωλογικές συνθήκες. Όλα αυτά αντανακλούν στη συχνότητα, ένταση και κατανομή των γεωλογικών καταστροφικών φαινομένων όπως κατολισθήσεις και σεισμοί.

Οι Κούκης και Ρόζος (1982), αναφερόμενοι στα αίτια της εκδήλωσης των κατολισθητικών κινήσεων στον Ελληνικό χώρο διαπιστώνουν ότι είναι ποικίλα και κατά σύνθετο τρόπο αλληλοεξαρτώμενα, όπως παλιά και νέα τεκτονική δραστηριότητα, δομή, λιθολογία, τοπογραφία, κλιματικές συνθήκες, κατάσταση τάσεων, βλάστηση, κ.λπ. και διακρίνουν τρεις γεωτεκτονικές δομές στον Ελληνικό χώρο που ευνοούν την εκδήλωση κατολισθήσεων.

Εξάλλου και ο Ανδρονόπουλος (1982), μελετώντας τη γεωλογική δομή και την τεκτονική εξέλιξη σαν παράγοντας αστάθειας στη ζώνη της Πίνδου, διαπιστώνει ότι ορισμένοι χαρακτήρες, όπως η πολυπτυχωμένη δομή λεπτοστρωματώδων ή και με λιθολογική ετερογένεια πετρωμάτων (υψηλή ανισοτροπία), η εντατική και εκτεταμένη χαλάρωση και οι τοπικές συγκεντρώσεις ισχυρών παραμενουσών τάσεων, που οφείλονται είτε σε πρωτογενείς ιζηματογενείς χαρακτήρες είτε σε δευτερογενείς συνδεδεμένους με την τεκτονική εξέλιξη της ζώνης, αποτελούν πρωτογενείς παράγοντες αστάθειας που προετοιμάζουν δυναμικά την εκδήλωση κατολισθητικών κινήσεων, στις θέσεις δράσης εξωγενών διεργασιών (αποσάθρωση, διάβρωση κ.λπ.).

Η σημασία της γεωδυναμικής εξέλιξης, της λιθολογικής σύστασης αλλά και της σεισμικότητας σε περιοχές με νεοτεκτονική δραστηριότητα αναφορικά με την εκδήλωση σοβαρών κατολισθητικών κινήσεων στον Ελληνικό χώρο, διαπιστώνεται και από τον Κούκη (1988), που αναφέρει ότι οι πλέον σοβαρές κατολισθήσεις εντοπίζονται στους σχηματισμούς της Κεντρικής Ελλάδας (η οποία δομείται κυρίως από σχηματισμού της ζώνης Ωλονού Πίνδου) και ειδικότερα στους λεπτοστρωματώδεις Ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους, στη μεταβατική ζώνη προς το φλύσχη, αλλά και στους σχηματισμούς του φλύσχη.

Οι εν λόγω ασταθείς ζώνες, σύμφωνα με τον ίδιο ερευνητή, εμφανίζονται σε περιοχές με απότομα πρηνή και έντονη χαλάρωση από παλαιές τάσεις, ενώ σε άλλες περιοχές η επίδραση πρόσθετων τάσεων, οφειλόμενων σε νεοτεκτονικές κινήσεις, είναι προφανής.

Εξάλλου ο Grozier (1986) σχολιάζοντας τη σημασία των πρωτογενών παραγόντων, αναφέρει ότι για μακρές γεωλογικές περιόδους η εκδήλωση αστάθειας μπορεί να θεωρηθεί συνάρτηση του ανάγλυφου που δημιουργείται από τις μεγάλες τεκτονικές ανυψώσεις. Ο ίδιος συγγραφέας δέχεται ότι οι τεκτονικές ανυψώσεις των σχηματισμών σε μεγάλα υψόμετρα, αυξάνουν τη δυναμική ενέργεια βαρύτητας που διατίθεται για τις διεργασίες κίνησης, τα πρηνή γίνονται απότομα, οι σχηματισμοί υπόκεινται στις σοβαρές ατμοσφαιρικές μεταβολές των μεγάλων υψομέτρων ή στις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες που δημιουργούνται και υφίστανται τις συνέπειες της σεισμικότητας που συνδέονται με τις τεκτονικές ανυψώσεις.

Η γενική διαπίστωση από τις παραπάνω αναφορές είναι ότι σε κάθε περίπτωση αστάθειας πρανούς, προσεκτικότερη έρευνα αποκαλύπτει ότι και τα μικρής έκτασης φαινόμενα συνήθως εντάσσονται σε ευρύτερες ασταθείς ζώνες πρανών, που ανήκουν σε γεωτεκτονικές δομές επιρρεπείς στην ολίσθηση.

Την παρουσία τέτοιων γεωτεκτονικών δομών στον Ελληνικό χώρο, που ευνοούν την εκδήλωση κινήσεων πρανών, δέχονται οι Κούκης – Ρόζος (1982) και Κούκης (1988). Οι δομές αυτές εμφανίζονται με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

α) Μάζες πετρώματος μεγαλύτερης αντοχής καλύπτουν σχηματισμούς με μικρότερη αντοχή. Οι δομές αυτές παρουσιάζονται κυρίως με τις νεοτεκτονικές διαφορικές ανυψώσεις και τις επακόλουθες βαθιές διαβρώσεις, καθώς και τη νεοφαιστειακή δραστηριότητα.

β) Εναλλαγές στρωμάτων με διαφορετικές μηχανικές παραμέτρους. Οι κινήσεις εδώ ευνοούνται σε πρανή με δυσμενείς κλίσεις στρωμάτων ή και συστημάτων διαρρήξεων, με έκδηλη τη δράση βαθιών διαβρωτικών – αποσαθρωτικών διεργασιών.

γ) Ζώνες βραχωδών μαζών που έχουν επηρεαστεί σημαντικά από τη δράση της τεκτονικής δραστηριότητας, όπως τα ανώτερα τμήματα ορισμένων τεκτονικών δομών (πτυχώσεις κ.λπ.), τα επωθημένα τεμάχια κ.α. Η αρχική τεκτονική δραστηριότητα ή και η μεταγενέστερη νεοτεκτονική σε συνδυασμό με τις διαβρωτικές διεργασίες ευνοούν τις κινήσεις πρανών.

7.2. ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΕΥΝΟΟΥΝ ΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Με βάση τις παραπάνω αναφορές διαπιστώνεται η ανάγκη διερεύνησης, σε κάθε περίπτωση εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων, πέρα από τους παράγοντες που σχετίζονται με τη *γεωμηχανική συμπεριφορά των σχηματισμών* που εμπλέκονται (στενή περιοχή ενδιαφέροντος) και αποτελούν το έναυσμα των κινήσεων πρανών και των παραγόντων εκείνων που συνδέονται με τη *γεωτεκτονική εξέλιξη* και τη *λιθολογική διάθρωση* της ευρύτερης περιοχής.

Οι παράγοντες που συνδέονται με τη λιθολογική διάθρωση της περιοχής ονομάζονται “*πρωτογενείς*” ενώ εκείνοι που συνδέονται με τη γεωμηχανική συμπεριφορά και τη γεωτεκτονική εξέλιξη των σχηματισμών χαρακτηρίζονται “*δευτερογενείς*”. Οι δευτερογενείς παράγοντες διακρίνονται σε “*ενδογενείς*” (οι αναφερόμενοι σε μείωση της αντοχής) και “*εξωγενείς*” (οι αναφερόμενοι σε αύξηση των τάσεων).

Στους “*πρωτογενείς παράγοντες*” γίνεται αντιληπτό ότι περιλαμβάνονται:

- Η γεωλογική δομή και η τεκτονική της περιοχής.
- Η γεωδυναμική εξέλιξη που σημειώνεται σε περιοχές με νεοτεκτονική δραστηριότητα (π.χ. η τάφρος του Κορινθιακού).
- Η γενική λιθολογική διάρθρωση της περιοχής (έχει διαπιστωθεί ότι συγκεκριμένες δομές ευνοούν περισσότερο την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων).
- Η κινητικότητα του υποβάθρου, με την έννοια της επαναδραστηριοποίησης παλαιών ρηγμάτων.
- Η σεισμικότητα και η ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Οι “*δευτερογενείς παράγοντες*” αφορούν στη μείωση της διατμητικής αντοχής, ή στην αύξηση της διατμητικής τάσης των σχηματισμών συγκεκριμένης περιοχής (Ρόζος Δ., 2007).

Παράγοντες που συμβάλλουν στη μείωση ή εξάλειψη της διατμητικής αντοχής (Κούκης, Γ., 2002)

Οι παράγοντες που συμβάλλουν στη μείωση ή στο μηδενισμό της διατμητικής αντοχής μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες. Στην ομάδα εκείνη που περιλαμβάνει τους παράγοντες που προέρχονται από την αρχική κατάσταση ή τα συγγενετικά χαρακτηριστικά του υλικού, όπως η γεωλογική και τεκτονική δομή των υλικών, που παρουσιάζουν μικρή ή καθόλου μεταβολή στην κλίμακα της ζωής του τεχνικού έργου και μπορεί να δρουν για μακριά χρονική περίοδο, χωρίς να προκαλούν θραύση. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τη μεταβολή διαφόρων παραγόντων που τείνουν να υποβιβάσουν τη διατμητική αντοχή του υλικού.

α) Αρχική κατάσταση

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν παράγοντες που συντελούν στη διαμόρφωση μικρής διατμητικής αντοχής, ο δε ρόλος καθενός από αυτούς αναφέρεται πιο κάτω.

ι. Λιθολογική σύσταση: Τα υλικά είναι μικρής αντοχής είτε πρωτογενώς, δηλαδή από την κατασκευή τους, είτε δευτερογενώς, δηλαδή να γίνουν ασταθή λόγω μεταβολής της περιεκτικότητάς τους σε νερό ή άλλων μεταβολών. Στην κατηγορία αυτών των υλικών υπάγονται τα οργανικά υλικά, οι ιζηματογενείς σχιστόλιθοι, οι άργιλοι, τα αποσαθρωμένα πετρώματα, οι ηφαιστειακοί τόφφοι που μπορεί να εξαλλοιωθούν σε αργιλούχα υλικά (μπετονιτοποίηση, καολινιτίωση) και υλικά που αποτελούνται κατά κύριο λόγο από

φυλλώδη ορυκτά (μαρμαρυγίας-τάλκης-σερπεντίνης κ.α.), ιδιαίτερα δε οι μεταμορφωμένοι σχιστόλιθοι, οι οφιόλιθοι και τα πρασινοπετρώματα.

ii Υφή των υλικών: Η χαλαρή δόμηση και διάταξη μεμονωμένων σωματιδίων σε “ευαίσθητα” υλικά όπως οι άργιλοι, οι μάργες, η αιολική γη (ασβεστιτικός πηλός), οι άμμοι μικρής πυκνότητας και τα πυρώδη οργανικά υλικά, αποτελεί σύνδρομο της χαμηλής διατμητικής αντοχής. Η σφαιρικότητα ή αποστρογγύλωση των κόκκων των υλικών επηρεάζει επίσης την αντοχή τους, καθώς η συμπίεστικότητα και η εσωτερική τριβή αυξάνουν με τη γωνιώδη διαμόρφωση των υλικών.

iii Δομή των υλικών και γεωμετρία του πρανούς:

Στην κατηγορία αυτή των παραγόντων περιλαμβάνονται :

- Ασυνέχειες, ρήγματα, επίπεδα στρώσης, η φυλλώδης διάταξη των ορυκτών στους σχιστόλιθους, η σχιστότητα, οι ρωγμές, οι κατοπτρικές επιφάνειες των ρηγμάτων και οι ζώνες κατακερματισμού.
- Η παρουσία συμπαγών στρωμάτων πάνω σε ασθενή πλαστικά υλικά.
- Κλίση των στρωμάτων ομόρροπη με το πρανές. Όταν η κλίση των στρωμάτων είναι μικρότερη από την κλίση του πρανούς τα στρώματα στερούνται υποστήριξης στο πόδι τους.
- Η εναλλαγή διαπερατών (π.χ. άμμου ή ψαμμίτη) και λιγότερο διαπερατών (π.χ. άργιλοι, σχιστόλιθοι).
- Ο προσανατολισμός του πρανούς και η κλίση του.

β) Αποσάθρωση και άλλες φυσικοχημικές διαδικασίες

Η αποσάθρωση των υλικών καθώς και διάφορες φυσικοχημικές αντιδράσεις μπορεί να οδηγήσουν στις πιο κάτω μεταβολές:

- Αποσύνθεση αργίλων που έχουν κατακερματιστεί.
- Φυσική αποσύνθεση κοκκωδών πετρωμάτων, όπως οι γρανίτες, οι ψαμμίτες κ.α., κάτω από τη δράση του παγετού ή με θερμική διόγκωση.
- Ενυδάτωση των αργιλικών ορυκτών με τις πιο κάτω διαδικασίες και συνέπειες:

(i) Το νερό απορροφάται από αργιλικά ορυκτά, οπότε η υψηλή περιεκτικότητα του νερού ελαττώνει τη συνοχή του αργιλικού εδάφους.

(ii) Στις μοντομοριλονιτικές αργίλους προκαλείται διόγκωση και χαλάρωση της συνοχής τους.

(iii) Η αιολική γη (ασβεστιτικός πηλός) συμπαγοποιείται κατά τον κορεσμό της, λόγω καταστροφής των δεσμών των αργιλικών σωματιδίων.

- Ιοντοανταλλαγή στις αργίλους (π.χ. ανταλλαγή ιόντων Ca από ιόντα Na), με αποτέλεσμα την επίδραση των ιόντων της ανταλλαγής πάνω στις φυσικές ιδιότητες των αργίλων.
- Μετανάστευση του νερού προς το μέτωπο της αποσάθρωσης κάτω από την επίδραση ηλεκτρικού δυναμικού (ηλεκτρόσμωση).
- Ξήρανση των αργίλων που οδηγεί σε πρόκληση ρωγμών σε αυτές και απώλεια της συνοχής, επιτρέποντας έτσι στο νερό να διηθηθεί προς την κύρια μάζα τους.
- Ξήρανση των σχιστόλιθων που δημιουργούν ρωγμές στη στρώση καθώς και επίπεδα διάτμησης προκαλώντας έτσι την απολέπισή τους.
- Απομάκρυνση λόγω διάλυσης του συνδετικού υλικού.

γ) Μεταβολές των ενεργών τάσεων λόγω της περιεκτικότητας νερού και της προκαλούμενης απ' αυτό πίεσης στους πόρους και τις ρωγμές.

Η άνωση στην κορεσμένη κατάσταση ελαττώνει την ενεργό τάση και την τριβή. Η ενεργή τάση ελαχιστοποιείται κατά τον κορεσμό, λόγω της τριχοειδούς τάσης στα υγρά εδάφη. Μεταβολές μπορεί να συμβούν λόγω φυσικής δράσης όπως η βροχόπτωση και το λιώσιμο του χιονιού και λόγω διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως η εκτροπή υδρορευμάτων, η δημιουργία ταμιευτήρων, η άρδευση και η αποψίλωση.

δ) Μεταβολές της δομής των πετρωμάτων

Τέτοιες μεταβολές μπορεί να προκληθούν από ρωγμάτωση των σχιστόλιθων και προστερεοποιημένων αργίλων, καθώς και από ρωγμάτωση και χαλάρωση των πετρωμάτων στα πρηνή λόγω της απελευθέρωσής τους από κατακόρυφους ή πλευρικούς περιορισμούς στις πλευρές χαραδρών ή εκσκαφών. Η διαταραχή ή η επαναπόθεση μπορεί να επηρεάσουν τη διατμητική τάση των υλικών που αποτελούνται από σωματίδια μικρού μεγέθους, όπως ο ασβεστιτικός πηλός, η στεγνή ή κορεσμένη χαλαρή άμμος και οι ευαίσθητες άργιλοι.

ε) Άλλοι παράγοντες

Άλλοι παράγοντες που συντελούν στη μείωση της διατμητικής αντοχής είναι:

- Η εξασθένηση των πετρωμάτων λόγω προοδευτικού ερπυσμού.

- Η δράση του ριζικού συστήματος των δέντρων που συχνά προκαλούν κατακερματισμό των πετρωμάτων.
- Η δράση των ζώων που σκάβουν στο υπέδαφος.

στ) Ηφαιστειακή δραστηριότητα

Η κατανομή των τάσεων στις ηφαιστειακές δομές και τα τοιχώματα των κρατήρων μπορεί να μεταβληθεί με γενική διαστολή, οφειλόμενη στη διόγκωση ή συρρίκνωση των μαγματικών σωμάτων, στη διακύμανση της στάθμης της λάβας και στην αύξηση των αρμονικών δονήσεων.

Παράγοντες που συμβάλουν στην αύξηση της διατμητικής τάσης (Κούκης Γ., 2002)

α) Αφαίρεση της πλευρικής υποστήριξης

Η αφαίρεση της πλευρικής υποστήριξης είναι ο πιο συνηθισμένος από όλους τους παράγοντες που οδηγούν σε αστάθεια. Η αφαίρεση της πλευρικής υποστήριξης μπορεί να προκληθεί από τις πιο κάτω δράσεις:

(i) Διάβρωση από υδρόρευμα, παγετώνες, κύματα, παλιρροϊκά ρεύματα, ατμοσφαιρική αποσάθρωση, διαβροχή και ξήρανση.

(ii) Δημιουργία νέων πρानών από προηγούμενες πτώσεις, ολισθήσεις, καθιζήσεις και διαρρήξεις μεγάλης κλίμακας .

(iii) Ανθρώπινες δραστηριότητες όπως:

- Υποσκαφή στο πόδι των πρानών, ανάπτυξη λατομείων, εκσκαφές ορυγμάτων, καναλιών, δρόμων κλπ.
- Αφαίρεση ή καταστροφή τοίχων, πασσάλων και άλλων έργων αντιστήριξης,
- Δημιουργία λιμνών και ταμιευτήρων και κατακόρυφες διακυμάνσεις της στάθμης τους.

β) Επιφόρτιση

Η επιφόρτιση είναι αποτέλεσμα τόσο από τη φυσική όσο και από την ανθρώπινη δράση. Όσο πιο γρήγορη είναι δε η επιφόρτιση, τόσο πιο επικίνδυνη γίνεται.

(i) Επιφόρτιση προκαλούμενη από φυσική δράση, όπως :

- Το βάρος που προσθέτει στα υλικά το νερό γενικά των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και της απορροής.
- Η συγκέντρωση πλευρικών κορημάτων πάνω σε υλικά που ολισθαίνουν.

- Η κατάρρευση συγκεντρωμένων ηφαιστειακών υλικών που δημιουργούν “χιονοστιβάδες” και ροές αποσαθρωμάτων.
- Η βλάστηση, σε μερικές περιπτώσεις, όπως στα άκρα απότομων πρανών ημισυνεκτικών πετρωμάτων προκαλεί αύξηση του βάρους πέρα από την κρίσιμη φόρτιση, αυξάνοντας έτσι τη διατμητική τάση.
- Οι πιέσεις του διηθούμενου νερού.

(ii) Επιφόρτιση προκαλούμενη από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως:

- Κατασκευή επιχωματώσεων
- Χώρος συγκέντρωσης μεταλλευμάτων ή λατομικών προϊόντων
- Σκουπιδότοποι σε πρανή
- Το βάρος από οικοδομές ή κατασκευές, από τρένα κ.λπ.
- Το βάρος του νερού από απώλειες αγωγών, βόθρων, υπονόμων και δεξαμενών.

γ) Παροδικές γήινες τάσεις

Οι σεισμικές δονήσεις έχουν διεγείρει πολλές μετακινήσεις πρανών, συχνά καταστροφικών. Η δράση τους είναι σύνθετη:

(i) Προκαλούν αύξηση της διατμητικής τάσης καθώς οι οριζόντιες επιταχύνσεις μπορεί να μεταβάλλουν σημαντικά το καθεστώς των τάσεων στα υλικά που αποτελούν το πρανές.

(ii) Σε μερικές περιπτώσεις προκαλούν μείωση της διατμητικής αντοχής, λόγω μείωσης της συνοχής των υλικών.

Οι δονήσεις από εκρήξεις, η λειτουργία βιομηχανικών συγκροτημάτων, η κυκλοφορία βαριών οχημάτων και η θραύση γειτονικών πρανών προκαλούν επίσης παροδικές γήινες τάσεις.

δ) Τοπική ανύψωση

Σε μερικές περιπτώσεις οι μετακινήσεις των πρανών προκαλούνται από προοδευτική αύξηση της γωνίας του πρανούς λόγω τοπικής ανύψωσης, όταν βέβαια η τελευταία βρίσκεται κοντά στο σημείο θραύσης, ώστε να είναι δυνατόν να παίξει ουσιαστικό ρόλο μια τόσο μικρή και αργή μεταβολή.

ε) Αφαίρεση υποστήριξης

Τέτοιες είναι:

(i) Η υποσκαφή των πάγκων πετρωμάτων από τα ποτάμια και τα κύματα.

(ii) Η ατμοσφαιρική αποσάθρωση, η διαβροχή και ξήρανση και η δράση του παγετού.

(iii) Η υπόγεια διάβρωση και διάλυση διαλυτών υλικών με παράλληλη αποκόμιση των υλικών της διάλυσης, όπως για παράδειγμα τα ανθρακικά πετρώματα, το ορυκτό αλάτι, οι εβαπορίτες καθώς και η απόπλυση κοκκώδους υλικού όπως άμμων, που βρίσκεται μέσα σε πιο ανθεκτικά υλικά.

(iv) Οι μεταλλευτικές και παρόμοιες δραστηριότητες.

(v) Η μείωση της αντοχής ή η θραύση του υποκείμενου υλικού.

(vi) Η σύνθλιψη και εξώθηση του υποκείμενου πλαστικού υλικού.

στ) Πλευρική πίεση

Η πλευρική πίεση μπορεί να προκληθεί από τις πιο κάτω δράσεις:

(i) Παρουσία νερού σε ρωγμές και κοιλότητες.

(ii) Πάγωμα νερού στις ρωγμές.

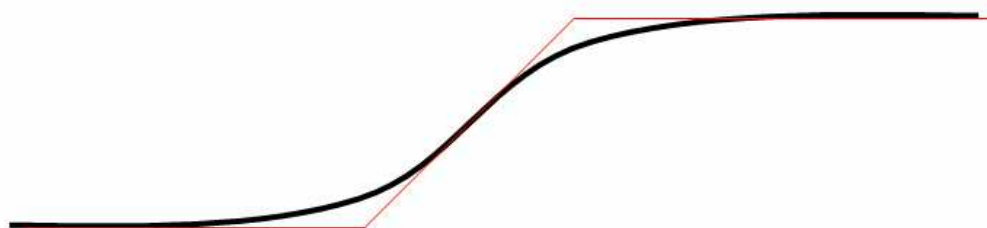
(iii) Διόγκωση των αργίλων ή του ανυδρίτη σαν συνέπεια της ενυδάτωσής τους.

(iv) Κινητοποίηση της παραμένουσας τάσης.

8. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΧΑΙΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

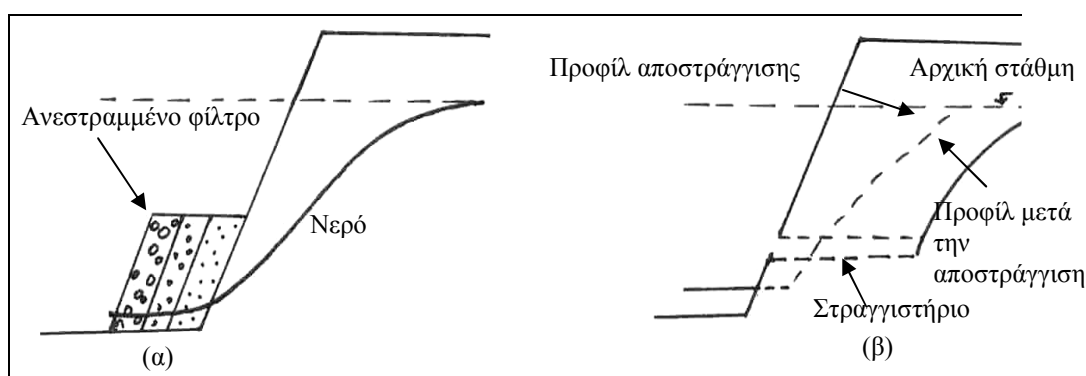
8.1. ΓΕΝΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΦΥΛΑΞΗΣ

Όλα τα προφυλακτικά μέτρα που μπορούν να παρθούν για να αποφευχθεί μια κατολίσθηση αποτελούν τα μέτρα πρόληψης, όλες δε οι παρεμβάσεις για να σταματήσει μια κατολισθητική κίνηση ή να εμποδιστεί η αναζωπύρωση μιας κατολίσθησης συνιστούν τα μέτρα αναχαίτισης. Για παράδειγμα, η διάστρωση των πρανών θα γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε η επιφάνεια που δημιουργείται να έχει σχήμα S (Σχ. 19), (Χοινίδου, 2007).

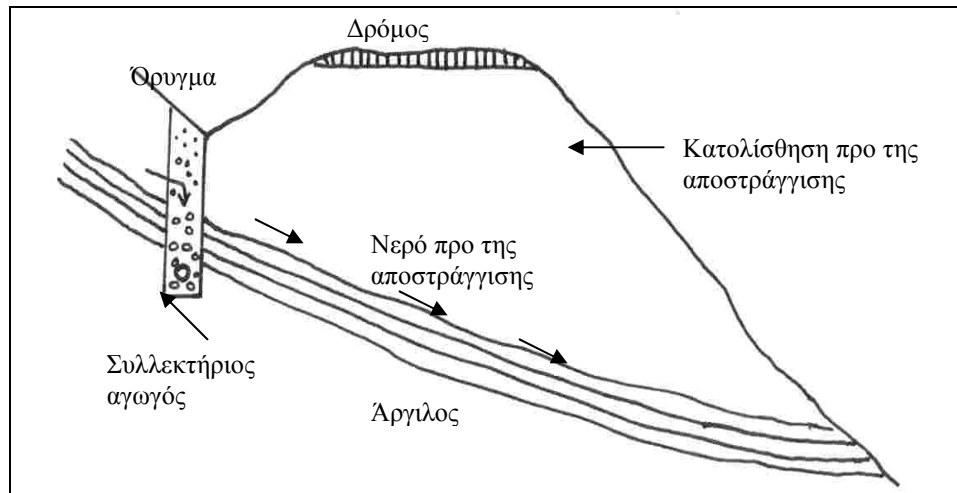


Σχ. 19: Ομαλοποίηση της κλίσης των πρανών

Στις προφυλάξεις περιλαμβάνονται όλα τα μέτρα που παίρνονται ώστε αφ' ενός μεν να μην αυξηθεί το βάρος ή να ελαττωθεί εάν είναι υπερβολικό, αφ' ετέρου δε να εμποδιστεί η διήθηση νερών ή αν υπάρχουν να γίνει αποστράγγιση τους (Σχ. 20) και (Σχ. 21).



Σχ. 20: Διατάξεις σταθεροποίησης πρανών, χρησιμοποιούμενες στις περιπτώσεις που η κατασκευή ενός ορύγματος οδηγεί στη γρήγορη αποστράγγιση των υπόγειων νερών της πίσω από το πρανές μάζας, με επακόλουθο: δημιουργία μεγάλης υδραυλικής κλίσεως → απομάκρυνση λεπτόκοκκου υλικού → χαλάρωση της μάζας → κατολίσθηση. Με το ανεστραμμένο φίλτρο (α) αφενός μεν εξασκείται πίεση στον πόδα του πρανού και αφετέρου εμποδίζεται η απομάκρυνση του λεπτόκοκκου υλικού από την αποστραγγιζόμενη μάζα. Η στραγγιστήρια στοά (β) απαλλάσσει την ευαίσθητη εδαφική μάζα από τις επιδράσεις των υπόγειων νερών (Letourneur – Michel, 1971).



Σχ. 21: Σταθεροποίηση ενός δρόμου με τη βοήθεια αποστράγγισης (Legget, 1965).

Η εκλογή του ή των μέτρων παρεμβάσεως για κάθε περίπτωση θα γίνει σωστά μόνο μετά από πλήρη γνώση των γεωλογικών και υδρογεωλογικών ιδιομορφιών της περιοχής, των αιτιών και των αφορμών που μπορούν να προκαλέσουν μια κατολίσθηση, καθώς και των διαστάσεων της ασταθούς μάζας. Έτσι π.χ.:

- ✓ Αν έντονες βροχοπτώσεις ανεβάσουν την πιεζομετρική επιφάνεια πίσω από ένα πρανές, ή καταστρέψουν τη συνοχή των υλικών εξ αιτίας της εξαφανίσεως των επιφανειακών τάσεων, θα πρέπει να γίνει επένδυση του πρανούς μ' ένα στεγανό κάλυμμα.
- ✓ Αν ο παγετός έχει σαν συνέπεια τη χαλάρωση του εδάφους, θα πρέπει να κατασκευαστεί ένα δίκτυο καλής αποστράγγισης των υλικών του επιφανειακού μανδύα από τα υπόγεια νερά.
- ✓ Αν μια άργιλος είναι δυνατόν να υποστεί βαθιές σχισμές λόγω συρρίκνωσης (σχιμές πολυγωνικής όψεως) το πρανές πρέπει να καλυφθεί από γκαζόν ή από ένα παχύ στρώμα άμμου.
- ✓ Αν μια άμμος κινδυνεύει να ρεύσει θα πρέπει να συμπυκνωθεί.
- ✓ Αν μια γρήγορη αποστράγγιση οδηγεί σε υπόγεια διάβρωση, πρέπει το κάτω τμήμα του πρανούς να καλυφθεί με ανεστραμμένο φίλτρο, ή να κατασκευαστούν στραγγιστήρια, τα οποία θα οδηγήσουν στη μετατόπιση της πιεζομετρικής επιφάνειας προς το εσωτερικό του πρανούς.
- ✓ Αν υδροπερατά πετρώματα, τα οποία βρίσκονται βαθύτερα από τη βάση του πρανούς, υπάρχει περίπτωση να τροφοδοτηθούν από κάποιο υδροφόρο

στρώμα, πρέπει να κατασκευαστούν βαθιά στραγγιστήρια για να μη τεθούν τα πετρώματα αυτά υπό πίεση κ.τ.λ.

Για τη μελέτη γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών και ιδιομορφιών, χρειάζεται λεπτομερής γεωλογική και εδαφοτεχνική διερεύνηση, για την εκπόνηση της οποίας απαιτούνται:

- ✓ Λεπτομερής τοπογραφικός χάρτης, κλίμακας 1:500, 1:1000, 1:2000, αναλόγως της διαστάσεως της κατολισθήσεως.
- ✓ Λεπτομερής γεωλογικός χάρτης, κλίμακας 1:500, 1:1000 ή 1:2000 όπως προηγουμένως.
- ✓ Λεπτομερείς γεωλογικές τομές κατά τον άξονα της κατολισθήσεως, καθώς και εγκάρσιες.
- ✓ Ερευνητικές δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, αποσκοπούσες στον προσδιορισμό της θέσεως της επιφάνειας ολισθήσεως, στη μελέτη των ιδιοτήτων των υλικών, καθώς και στη διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών (για τον τελευταίο αυτό σκοπό οι γεωτρήσεις μετατρέπονται σε πιεζόμετρα παρατηρήσεως της στάθμης των υπόγειων νερών).
- ✓ Γεωφυσική (πιθανώς) διασκόπηση (ως επί το πλείστον ηλεκτρική), για τον προσδιορισμό του βάθους και της μορφολογίας του υποβάθρου πάνω στο οποίο έχει γίνει η κατολίπηση.
- ✓ Διερεύνηση και εντοπισμός περιοχών διηθήσεων νερού μέσα στην επικίνδυνη μάζα.
- ✓ Μετρήσεις μέσα στις γεωτρήσεις της ταχύτητας μετακινήσεως της μάζας στα διάφορα βάθη.
- ✓ Εργαστηριακή έρευνα επί των πυρήνων των γεωτρήσεων για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των υλικών (c, φ, περιεκτικότητα σε νερό, όρια ATTERBERG, κοκκομετρική διαβάθμιση).

Τα χρησιμοποιούμενα σήμερα μέσα παρεμβάσεως για την αντιμετώπιση των κατολισθήσεων, προληπτικά ή αναγκαστικά, είναι τα εξής:

- i) Γεωλογική διερεύνηση
- ii) Αποχέτευση επιφανειακών νερών.
- iii) Στραγγιστήρια.
- iv) Σήραγγες και φρεάτια αποστραγγίσεως.
- v) Κεκλιμένα στραγγιστήρια.

- vi) Ηλεκτρική ώσμωση.
- vii) Αποφόρτιση.
- viii) Στηθαίο ανακοπής κινήσεως μαζών.
- ix) Δίκτυα προστασίας (συρματοπλέγματα).
- x) Τεχνητή σήραγγα (για συγκοινωνιακά έργα).
- xi) Ελάττωση των κλίσεων των πρανών.
- xii) Επένδυση με συρματοκιβώτια.
- xiii) Τοίχοι αντιστηρίξεως πρανών ανάντη.
- xiv) Τοίχοι αντιστηρίξεως πρανών ανάντη με θεμελίωση με φρέατα.
- xv) Φόρτιση στον πόδα του πρανούς.
- xvi) Τοίχος αντιστηρίξεως με ξηρολιθοδομή.
- xvii) Εμπόδια από λιθόρριπτο υλικό για ανακοπή της διάβρωσης.
- xviii) Αναβαθμοί.
- xix) Ελκυστήρες με δοκούς κατανομής.
- xx) Ελκυστήρες χωρίς δοκούς κατανομής.
- xxi) Ελκυστήρες χαμηλού εφελκυσμού.
- xxii) Συμπληρωματικά έργα (δέματα, καφάσια).
- xxiii) Φυτική επένδυση με χλόη.
- xxiv) Φυτική επένδυση με αναδάσωση.

8.2. ΓΕΝΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΩΝ ΕΚΣΚΑΦΩΝ

Για τον καθορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των εκσκαφών, κάθε είδους και τύπου, πρέπει να παίρνονται υπόψη, μεταξύ των άλλων, και τα παρακάτω:

- α) Το είδος και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών.
- β) Τα επίπεδα ολίσθησης στο χώρο της εκσκαφής και στο γειτονικό χώρο.
- γ) Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά του χώρου της εκσκαφής και του περιβάλλοντος χώρου.
- δ) Τα κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής.

Ιδιαίτερη προσοχή, πρέπει να δίνεται στον καθορισμό της γωνίας πρανού σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, σ' όλες τις φάσεις της εργασίας, εφόσον αυτή γίνεται σε μία μόνο βαθμίδα ή στις ενδιάμεσες και τελική φάση, αν η εργασία γίνεται σε περισσότερες βαθμίδες. Η γωνία πρανού πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μη δημιουργείται κίνδυνος κατολίσθησης ή κατακρήμνισης.

Απαγορεύεται, σε κάθε περίπτωση, η εκσκαφή με γωνία πρानούς μεγαλύτερη από 90 μοίρες (αρνητική κλίση πρानούς).

Η τελική γωνία πρानούς για συνεκτικά και υγιή πετρώματα, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 60 μοίρες. Κατ' εξαίρεση, η γωνία αυτή μπορεί να αυξάνεται μέχρι τις 70 μοίρες εφόσον εφαρμόζονται ειδικά μέτρα ή μέθοδοι (π.χ. προτίμηση απαλή όρυξη κλπ.).

Η γωνία πρानούς, σ' όλες τις φάσεις εργασίας, για σαθρά, αμμώδη, προσχωσιγενή και γενικά επιρρεπή σε κατολίσθηση πετρώματα, θα πρέπει να είναι μικρότερη από 45 μοίρες.

9. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΑΠΟΨΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η τάση των πετρωμάτων προς κατολίσθηση δεν εξαρτάται μόνο από τη φύση τους, αλλά από ένα σύνολο διαφόρων αιτιών που όλα μαζί συμβάλλουν στο να μεταβληθεί η ισορροπία.

Είναι γνωστό ότι οι κατολισθήσεις παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα σε ορισμένους τύπους γεωλογικών σχηματισμών, ενώ σε άλλους εκδηλώνονται σπάνια. Έχει διαπιστωθεί ότι οι συνηθέστεροι τύποι επικίνδυνων υλικών είναι τα κορήματα, η ομοιογενής μαλακή άργιλος, η άργιλος με ενστρώσεις άμμου και ιλύος, η υδροφόρος χαλαρή άμμος, οι αποσαθρωμένοι σχιστόλιθοι, η στιφρή ρωγματομένη άργιλος και τέλος οι μάζες συνεκτικών γεωλογικών σχηματισμών οι οποίες περιλαμβάνουν υδροφόρες ενστρώσεις και θύλακες από άμμο ή ιλύ.

Μια πρώτη λιθολογική διάκριση των γεωλογικών σχηματισμών από την άποψη της ευκολίας ή της δυσκολίας στο να κατολισθήσουν, θα τους ταξινομούσε σε μη συνεκτικούς και συνεκτικούς.

Στους μη συνεκτικούς σχηματισμούς ανήκουν τα χαλαρά μηχανικά ιζήματα που δεν έχουν φυσική συνδετική ύλη, όπως οι κροκάλες, τα αμμοχάλικα, οι άμμοι και οι λατύπες. Τέτοια υλικά συνθέτουν αποθέσεις αλλουβιακές, παγετώνων (μοραίνες), λιμναίες, θαλάσσιες και πυροκλαστικές.

Στη δεύτερη κατηγορία, των συνεκτικών σχηματισμών, ανήκουν όλα τα στερεά πετρώματα, εκρηξιγενή, ιζηματογενή και μεταμορφωμένα, που αποτελούν και τη μεγάλη πλειονότητα. Πολλές φορές όμως τα πετρώματα αυτά έχουν υποστεί τέτοια διάρρηξη και κατακερματισμό που χάνουν μεγάλο μέρος από τη στερεότητά τους και πλησιάζουν

περισσότερο ή λιγότερο στις συνθήκες ευστάθειας των μη συνεκτικών σχηματισμών. Οι διαφορές, όσον αφορά στην κατολισθητικότητα, που μπορεί να υπάρχουν μεταξύ μιας μάζας από χαλαρά μηχανικά ιζήματα και ενός βραχώδους πετρώματος έντονα κερματισμένου, είναι στην πραγματικότητα πολύ μικρές.

Ένας ενδιάμεσος τύπος αντιπροσωπεύεται από τα **αργιλικά πετρώματα**, που χαρακτηρίζονται σαν ψευδοσυνεκτικά, επειδή όταν είναι στεγνά συμπεριφέρονται σαν συνεκτικά και όταν είναι διαποτισμένα με νερό σαν μη συνεκτικά.

Γενικά, μπορούμε να διακρίνουμε από άποψη κατολισθητικότητας, τέσσερις κατηγορίες γεωλογικών σχηματισμών, σε κάθε μια από τις οποίες αντιστοιχούν διάφορες συνθήκες.

1. Συνεκτικοί: Οι σχηματισμοί αυτοί, ανεξάρτητα από τις συνθήκες κορεσμού, παραμένουν συνεκτικοί. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όλα τα συμπαγή πετρώματα που δεν έχουν διαρρήξεις (σπάνια κατολισθαίνουν).

2. Ψευδοσυνεκτικοί: Σε αυτούς, ο βαθμός συνεκτικότητας εξαρτάται από την περιεκτικότητά τους σε νερό. Είναι συνεκτικοί όταν είναι στεγνοί ή με μικρή περιεκτικότητα υγρασίας, αλλά όταν διαποτιστούν με νερό μεταπίπτουν σε μη συνεκτικούς σχηματισμούς. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται η άργιλος, η ιλύς και όλα τα πετρώματα που η συνδετική τους ύλη είναι αργιλική ή ιλυούχος (σε υγρά κλίματα τα πετρώματα αυτά κατολισθαίνουν πολύ συχνά).

3. Ημισυνεκτικοί: Εδώ ανήκουν πετρώματα που η συνδετική τους ύλη (συνήθως ασβεστιτική), είναι είτε κακής ποιότητας είτε ελλιπής, όπως οι μολάσες και τα πολύ εξαλλοιωμένα πετρώματα, όπως οι εξαλλοιωμένοι ψαμμίτες, τόφφοι, γρανίτες κ.α., τα κατακερματισμένα πετρώματα, τα πλούσια σε λεπτοκλαστικά υλικά και τα σχιστολιθικά πετρώματα που έχουν μεγάλη ικανότητα διαχωρισμού (fissilita).

4. Μη συνεκτικοί: Σχηματισμοί αποτελούμενοι από ελεύθερα ασύνδετα στοιχεία, συσσωρευμένα το ένα πάνω στο άλλο, όπως οι χάλικες, οι κροκάλες και οι άμμοι.

10. ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ

Στην παρούσα εργασία γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στα αργιλικά ορυκτά, δεδομένου ότι κρίνεται ιδιαίτερα καθοριστικός ο ρόλος τους στην ευστάθεια των πρανών.

10.1. ΓΕΝΙΚΑ

Ο όρος "*άργιλος*" (clay) δεν είναι μονοσήμαντος. Είναι δυνατό να σημαίνει, είτε ένα κλάσμα ορισμένου μεγέθους κόκκων (αργιλικό κλάσμα), είτε ένα ιζηματογενές πέτρωμα, με ορισμένο ποσοστό αργιλικού κλάσματος.

Ως "αργιλικό κλάσμα" χαρακτηρίζεται, συνήθως, το υλικό, το οποίο αποτελείται από κόκκους με διάμετρο $\delta < 2 \mu\text{m}$ και αυτός ο όρος είναι γενικότερα αποδεκτός, παρ' όλο που μερικές φορές χαρακτηρίζεται, έτσι, το κλάσμα με διάμετρο κόκκων $\delta < 4 \mu\text{m}$. Σε κάθε αργιλικό πέτρωμα, εκτός από το "*αργιλικό κλάσμα*", απαντούν και "*ιλύς*" και "*άμμος*" (Σχ. 22).

Ως "ιλύς", ορίζεται το υλικό με διάμετρο κόκκων $\delta : 0.002 - 0.020 \text{ mm}$, σύμφωνα με το διεθνές σύστημα ταξινόμησης, ενώ σύμφωνα με το Αμερικάνικο σύστημα ταξινόμησης, ως ιλύς, ορίζεται το κλάσμα με διάμετρο κόκκων $\delta : 0.002 \text{ mm} - 0.050 \text{ mm}$.

Ως "άμμος", ορίζεται το υλικό με διάμετρο κόκκων πάνω από $20 \mu\text{m}$ (0.02 mm), ή πάνω από $53 \mu\text{m}$ (0.053 mm , Αμερικάνικο σύστημα ταξινόμησης).

Συνήθως, ακολουθείται το Αμερικάνικο σύστημα ταξινόμησης σύμφωνα με το οποίο ορίζονται:

Άργιλος: κλάσμα με διάμετρο κόκκων $\delta < 2 \mu\text{m}$.

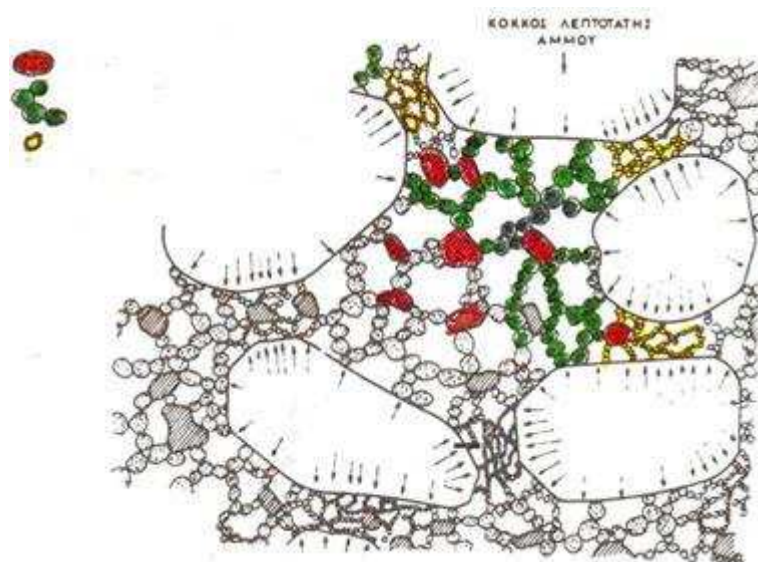
Ιλύς: κλάσμα με διάμετρο κόκκων $\delta < 2 - 53 \mu\text{m}$.

Άμμος: κλάσμα με διάμετρο κόκκων $\delta > 53 \mu\text{m}$.

Στη Γεωλογία γενικότερα, ως "*άργιλος*" χαρακτηρίζεται κάθε ιζηματογενές πέτρωμα με μεγάλα ποσοστά υλικού που έχουν διάμετρο κόκκων $\delta < 2 \mu\text{m}$, ενώ στην Κεραμική, "*άργιλοι*" λέγονται όλα τ' αργιλοχώματα που χρησιμοποιούνται, ως πρώτες ύλες, για κατασκευή κεραμικών προϊόντων και τα οποία έχουν, τουλάχιστον, δύο από τις ιδιότητες:

- α) μεγάλη πλαστικότητα
- β) μικρό μέγεθος κόκκων και
- γ) σκλήρυνση κατά το ψήσιμο.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 22), δίδεται μία τομή αργιλικού πετρώματος, όπου διακρίνονται τα κύρια συστατικά του.



Σχ. 22: Τομή αργιλικού πετρώματος , με “αργιλικό κλάσμα”, “ιλό” και “άμμο”.

10.2. ΟΡΥΚΤΑ ΤΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ

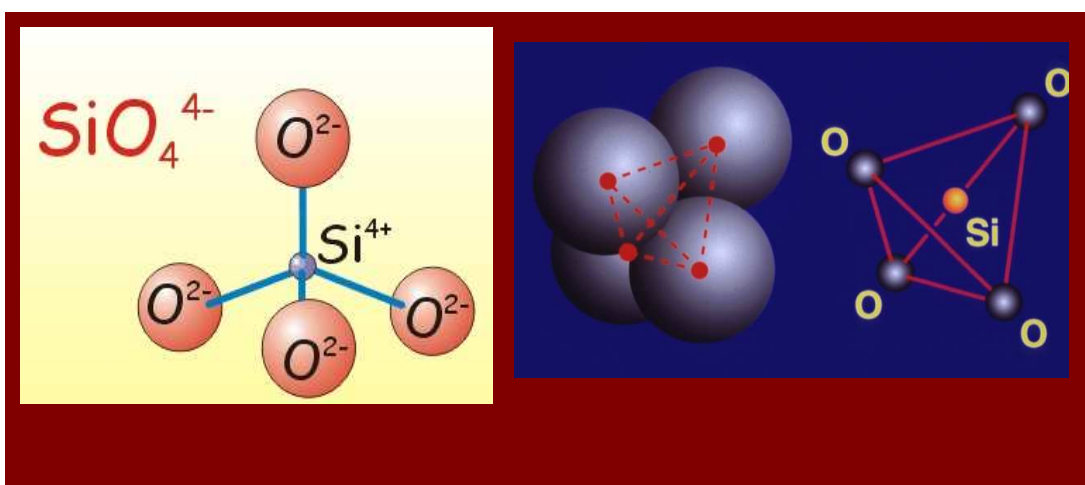
Τα ορυκτά των αργίλων διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- α) Τα **αργιλικά ορυκτά** (*clay minerals*) (κύρια: καολινίτης, ιλλίτης, μοντμοριλλονίτης, σαπονίτης, εκτορίτης) και
- β) Τα **μη αργιλικά ορυκτά** (*non clay minerals*), όπως π.χ. ο χαλαζίας, οι άστριοι, τα ανθρακικά ορυκτά (ασβεστίτης, δολομίτης), οξείδια και υδροξείδια του Fe, Ti, Mn, θειούχες ενώσεις, οργανικά υλικά.

10.2.1. ΤΑ ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΙ Η ΚΡΥΣΤΑΛΙΚΗ ΤΟΥΣ ΔΟΜΗ

Τα αργιλικά ορυκτά υποδιαιρούνται στις παρακάτω ομάδες:

- ✓ Την ομάδα του *καολινίτη*, με αντιπροσωπευτικό ορυκτό τον καολινίτη $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$ ή $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.
- ✓ Την ομάδα του *ιλλίτη*, με κύριο ορυκτό τον ιλλίτη $[K_yAl_4(Si_{8-y})O_{20}(OH)_4]$ ή $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$.
- ✓ Την ομάδα του *μοντμοριλλονίτη* ή των *σμεκτιτών*, με κύριο ορυκτό τον μοντμοριλλονίτη $[Al_4Si_8O_{20}(OH)_4 \cdot nH_2O]$ ή $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$.

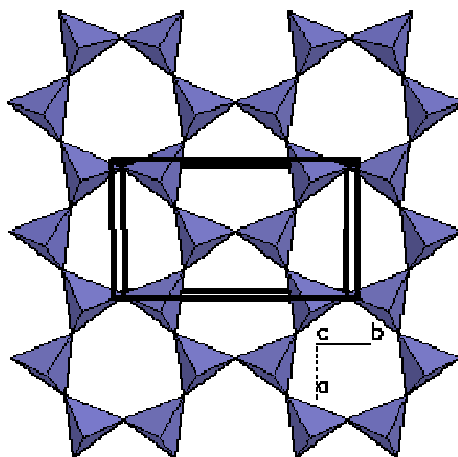


Σχ. 23: Τετράεδρο $[SiO_4]^{4-}$

Τα ορυκτά και των τριών ομάδων χαρακτηρίζονται από παρόμοια χημική σύσταση και παρόμοιες φυσικοχημικές ιδιότητες.

Είναι υδρο-αργιλο-πυριτικά ορυκτά και ανήκουν στην κατηγορία των φυλλοπυριτικών, στα οποία βασική δομική μονάδα είναι το τετράεδρο $[SiO_4]^{4-}$ (Σχ. 23).

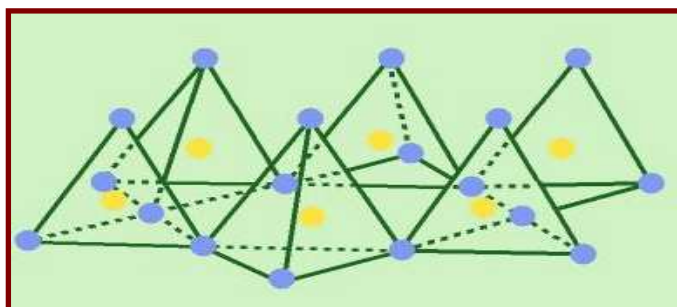
Τετράεδρα $[SiO_4]^{4-}$ ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν εξαμελείς δακτυλίους (Σχ. 24).



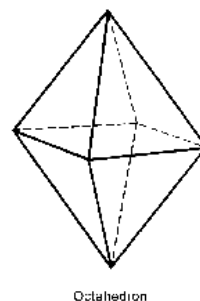
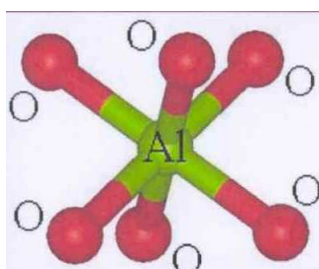
Σχ. 24: Εξαγωνική διάταξη τετραέδρων στο χώρο

Στο Σχ. 25 φαίνεται η εξαγωνική διάταξη τετραέδρων στο χώρο. Με τη διάταξη αυτή δημιουργούνται οκταεδρικά κενά, το κέντρο των οποίων καταλαμβάνεται, συνήθως, από Al^{3+} (ή Mg^{2+} ή Fe^{2+}), ενώ οι κορυφές τους καταλαμβάνονται από οξυγόνα ή υδροξύλια.

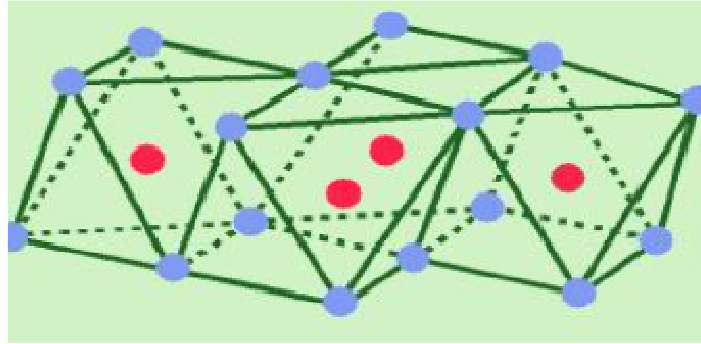
Έτσι, δημιουργούνται φύλλα τετραέδρων $[SiO_4]^{4-}$ και φύλλα οκταέδρων Al^{3+} .



Σχ. 25: Εξαγωνική διάταξη τετραέδρων στο χώρο



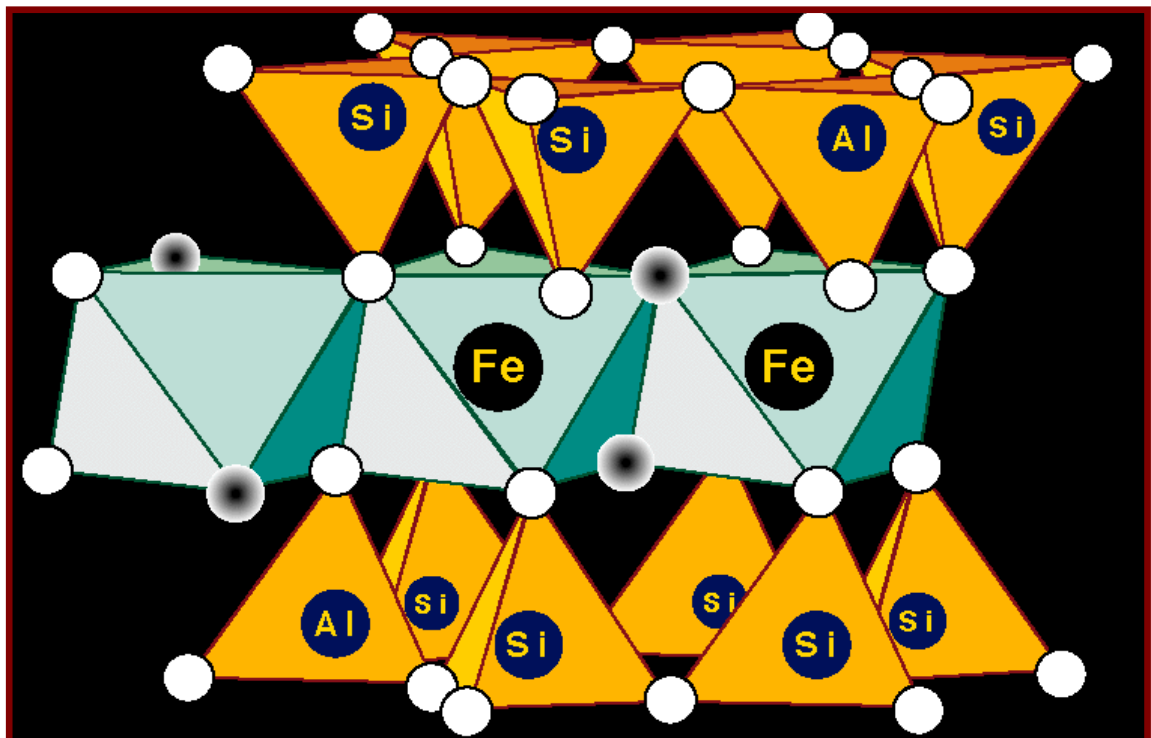
Σχ. 26: Οκτάεδρα Al^{3+} .

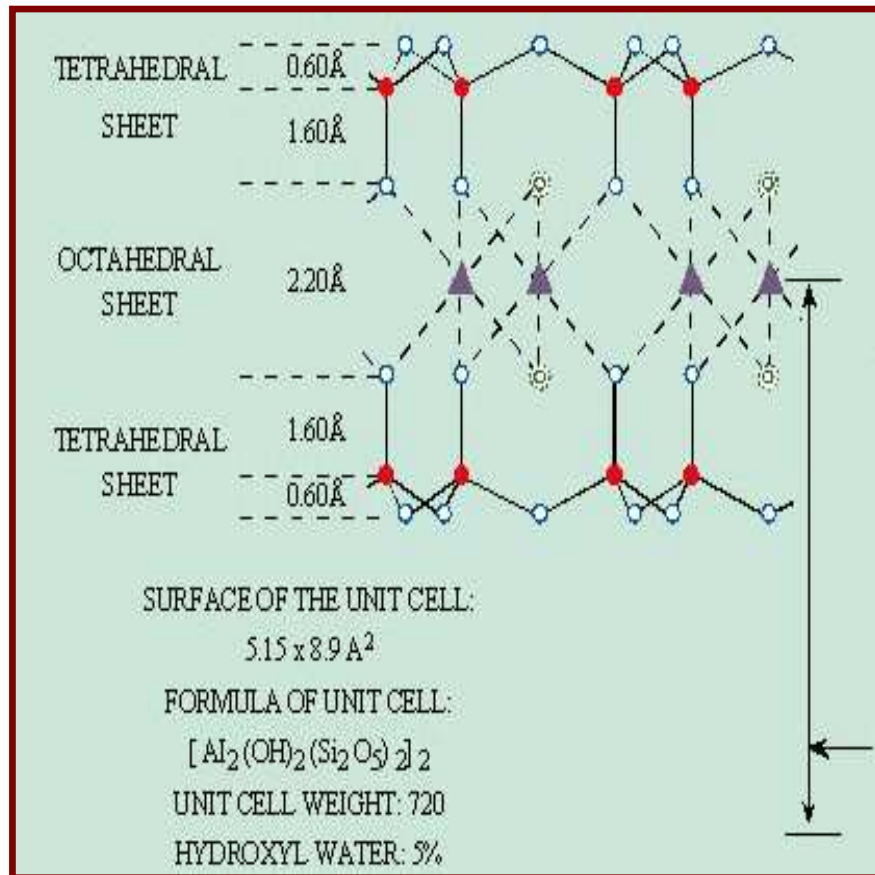


Σχ. 27: Εξαγωνική διάταξη οκταέδρων στο χώρο.

10.3. ΟΡΥΚΤΑ ΔΙΟΚΤΑΕΔΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΡΙΟΚΤΑΕΔΡΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ

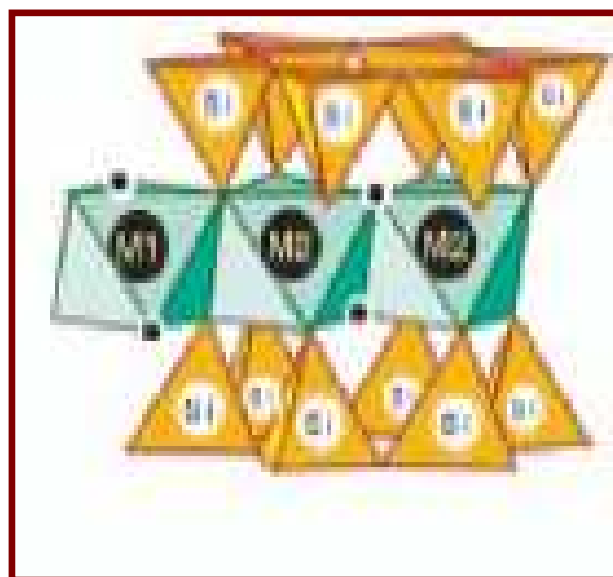
Όταν οι οκταεδρικές θέσεις του πλέγματος των αργλικών ορυκτών καταλαμβάνονται από δύο τρισθενή κατιόντα (ως επί το πλείστον Al^{3+}), τότε καλύπτονται, μόνο, τα 2/3 αυτών των θέσεων με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ορυκτά διοκταεδρικής δομής (Σχ. 28).

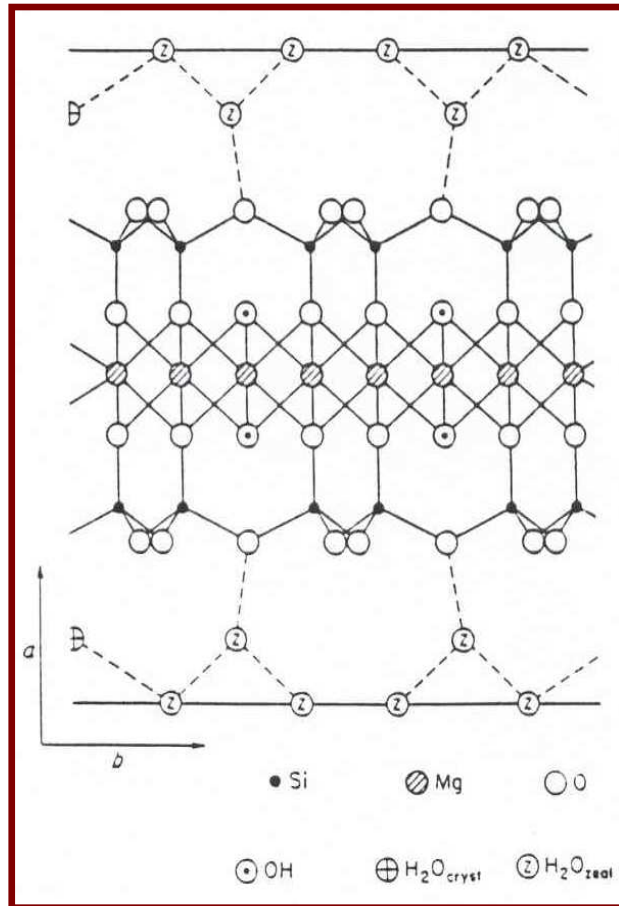




Σχ. 28: Ορυκτά διοκταεδρικής δομής.

Αντίθετα, όταν οι οκταεδρικές θέσεις καταλαμβάνονται από τρία δισθενή κατιόντα (Mg²⁺ ή Fe²⁺ κ.λπ.), τότε καλύπτονται όλες οι διαθέσιμες θέσεις με αποτέλεσμα τη δημιουργία ορυκτών *τριοκταεδρικής* δομής (Σχ. 29).



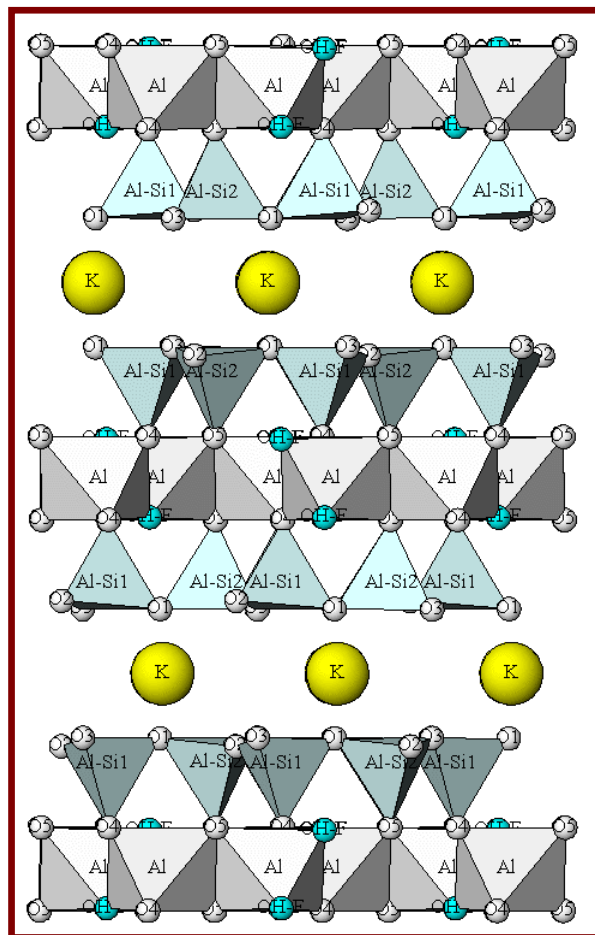
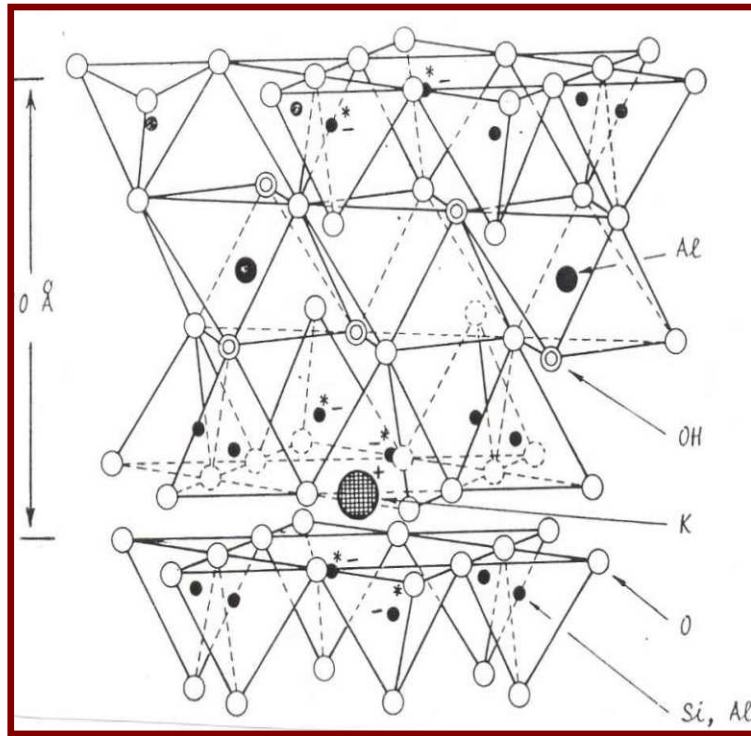


Σχ. 29: Ορυκτά τριοκταεδρικής δομής.

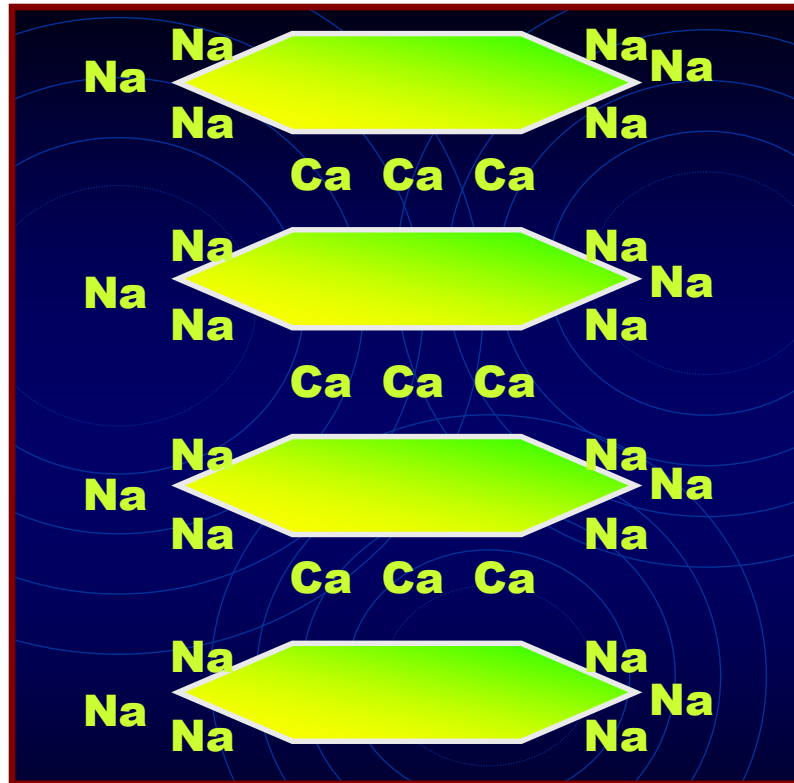
10.4. ΙΣΟΜΟΡΦΕΣ ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Το κρυσταλλικό πλέγμα των αργιλικών ορυκτών χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ηλεκτρικών φορτίων, κύρια *αρνητικών*, η δημιουργία των οποίων ερμηνεύεται ως εξής:

Στο πλέγμα των αργιλικών ορυκτών, συμβαίνουν ισόμορφες υποκαταστάσεις, τόσο του Si^{4+} των τετραεδρικών θέσεων, όσο και του Al^{3+} των οκταεδρικών θέσεων, από ιόντα μικρότερου σθένους (Al^{3+} , Fe^{3+} και Mg^{2+} , Fe^{2+}). Με τις υποκαταστάσεις αυτές δημιουργείται *περίσσεια αρνητικών φορτίων*, τα οποία εξουδετερώνονται, είτε με *δέσμευση* ορισμένων κατιόντων π.χ. K^+ , όπως συμβαίνει στα ορυκτά της ομάδας του ιλλίτη-μοσχοβίτη (Σχ. 30), είτε με *προσρόφηση*, κατιόντων υπό *ανταλλάξιμη μορφή*, π.χ. Na^+ , Ca^{++} , τόσο από τις εσωτερικές, όσο και από τις εξωτερικές επιφάνειες του κρυστάλλου, όπως συμβαίνει (Σχ. 31) στα ορυκτά της ομάδας του μοντμοριλλονίτη.

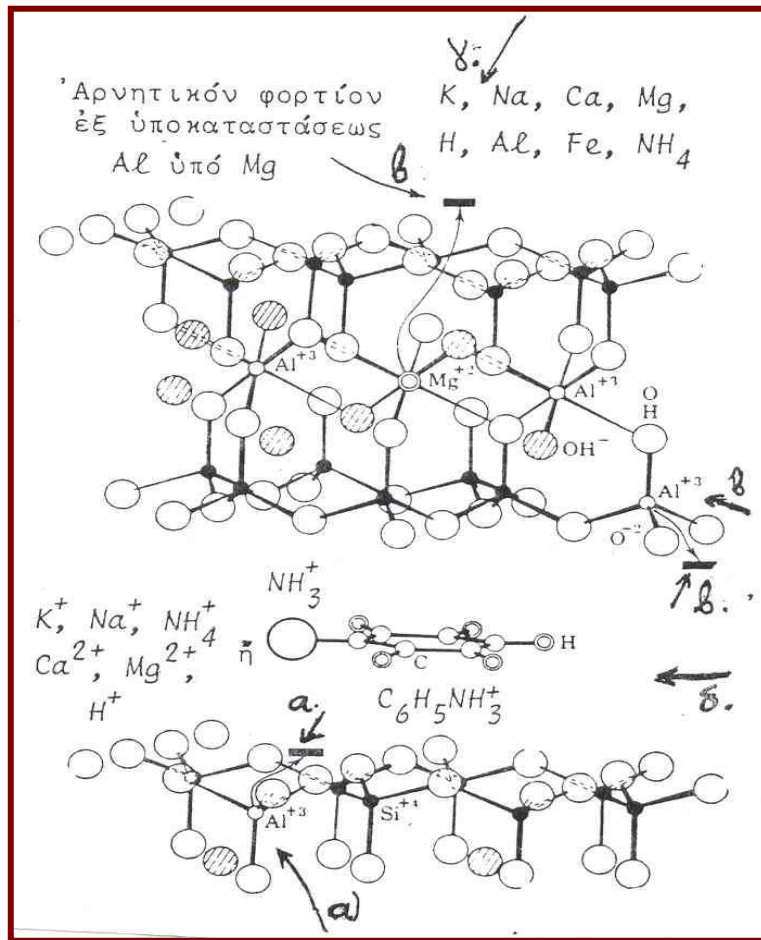


Σχ. 30: Κρυσταλλική δομή ιλλίτη-μοσχοβίτη



Σχ. 31: Προσρόφηση Na^+ , Ca^{++} στις εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες του κρυστάλλου

Η διαφορά *ιλλίτη-μοντιμοριλλονίτη* έγκειται στο ότι, στον *ιλλίτη* η περίσσεια αρνητικών φορτίων που προκύπτει από υποκαταστάσεις Si από Al^{iv} εξουδετερώνεται, με *δέσμευση* K^+ , στο διαστρωματικό του χώρο, ενώ στον *μοντιμοριλλονίτη* η περίσσεια αρνητικών φορτίων που προκύπτει, κύρια, από υποκαταστάσεις Al^{vi} από Mg εξουδετερώνεται με προσρόφηση, υπό *ανταλλάξιμη μορφή*, κατιόντων Na^+ , Ca^{++} κλπ, τόσο από τις εσωτερικές, όσο και από τις εξωτερικές επιφάνειες του κρυστάλλου (Σχ. 32).



Σχ. 32: Κρυσταλλικό πλέγμα μοντμοριλλονίτη

- α) Υποκατάσταση Si^{4+} από Al^{3+} και δημιουργία αρνητικών φορτίων.
- β) Υποκατάσταση Al^{3+} από Mg^{2+} , και δημιουργία αρνητικών φορτίων.
- γ) Κατιόντα υπό ανταλλάξιμη μορφή, προσροφημένα στην εξωτερική επιφάνεια του κρυστάλλου.
- δ) Οργανικές ενώσεις και κατιόντα προσροφημένα στο διαστρωματικό χώρο του ορυκτού.

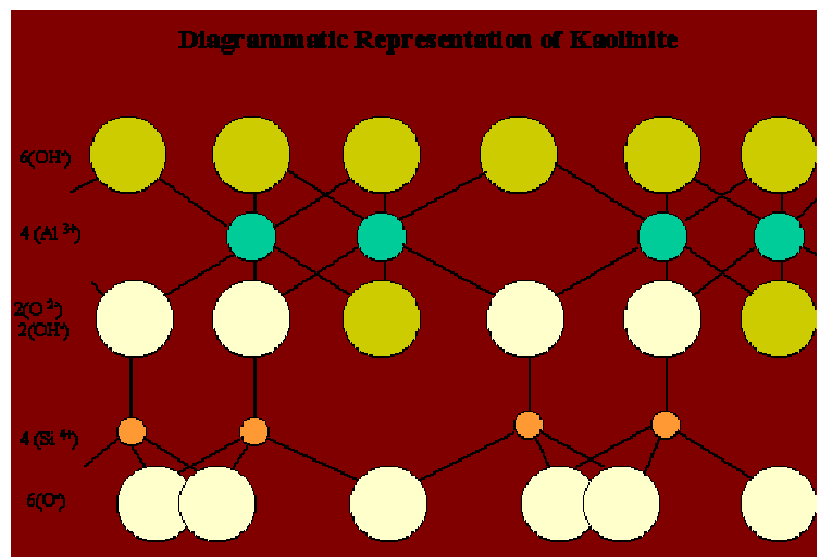
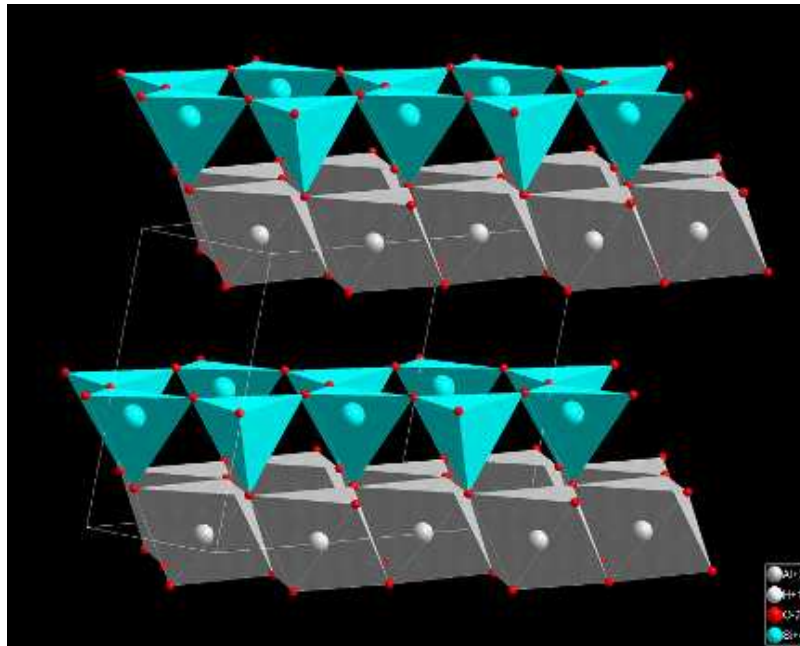


Σχ. 33: Υποκατάσταση Mg από Zn.

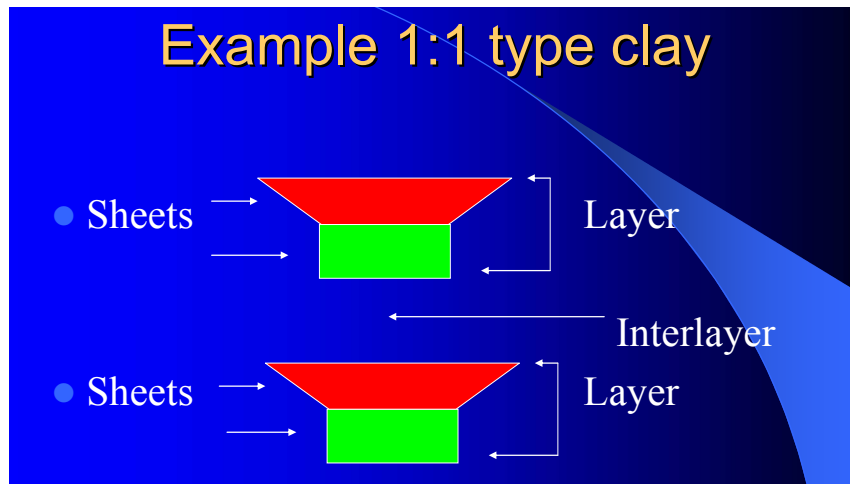
10.5. ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ

Τα αργιλικά ορυκτά, σύμφωνα με τη διάταξη των τετραεδρικών και των οκταεδρικών φύλλων στο πλέγμα τους, υποδιαιρούνται:

1. *Ορυκτά δομής 1:1.* Σχηματίζονται από την εναλλαγή ενός φύλλου τετραέδρων και ενός φύλλου οκταέδρων, τα οποία εκτείνονται στο επίπεδο που ορίζεται από τις διευθύνσεις των κρυσταλλογραφικών αξόνων *a* και *b* και εναλλάσσονται το ένα επί του άλλου κατά τη διεύθυνση του άξονα *c* (Σχ. 34).



Σχ. 34: Ορυκτά δομής 1:1.



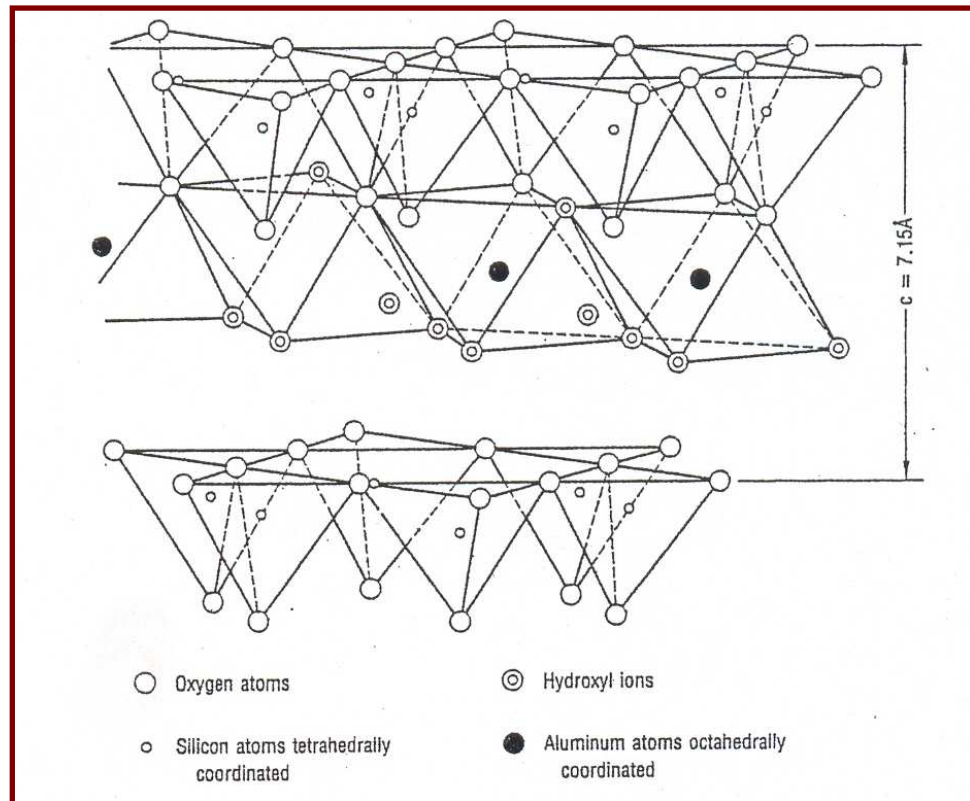
Σχ. 35: Σχηματική διάταξη Ορυκτών δομής 1:1.

Τα ορυκτά δομής 1:1 διακρίνονται σε:

- ❖ **Διοκταεδρικά ορυκτά δομής 1:1**, με αντιπροσωπευτικό ορυκτό τον καολινίτη (Σχ. 36) και
- ❖ **Τριοκταεδρικά ορυκτά δομής 1:1**, με αντιπροσωπευτικό ορυκτό τον σερπεντίνη.

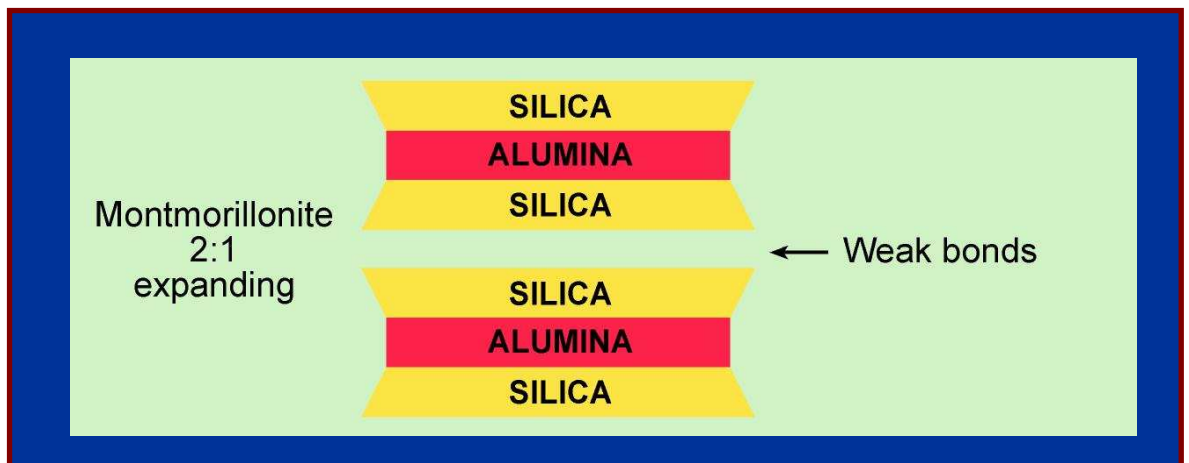
Στα **διοκταεδρικά ορυκτά δομής 1:1**, ανήκουν τα ορυκτά της ομάδας του καολινίτη $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$ (Kaolinite group). Παλαιότερα τα ορυκτά αυτά ήταν γνωστά και ως “ομάδα των καντιτών” (candites group), αλλά ο όρος αυτός δεν ισχύει σήμερα. Τα σπουδαιότερα ορυκτά της ομάδας αυτής είναι τα:

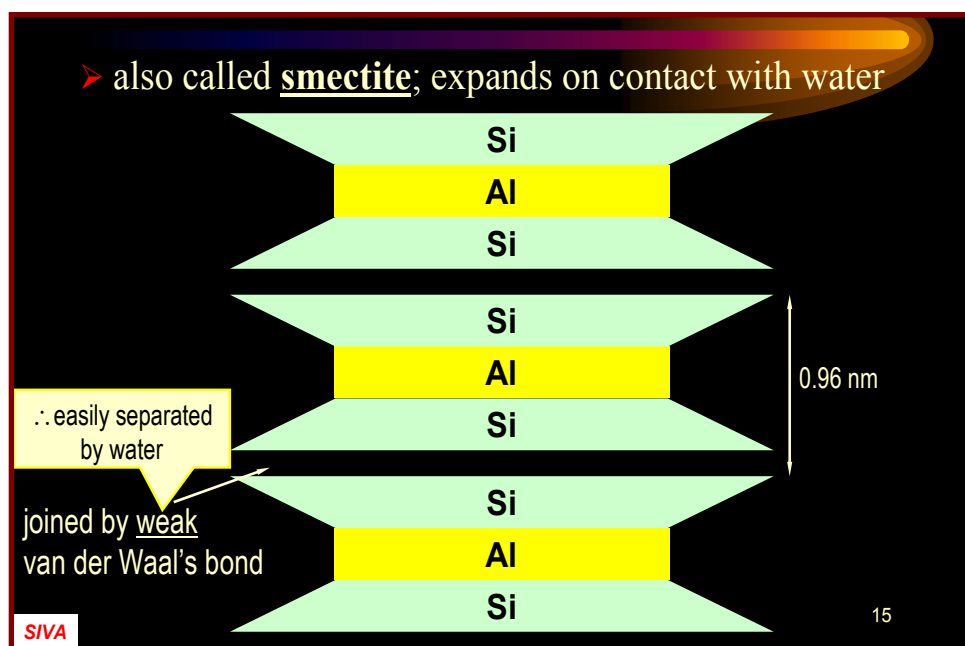
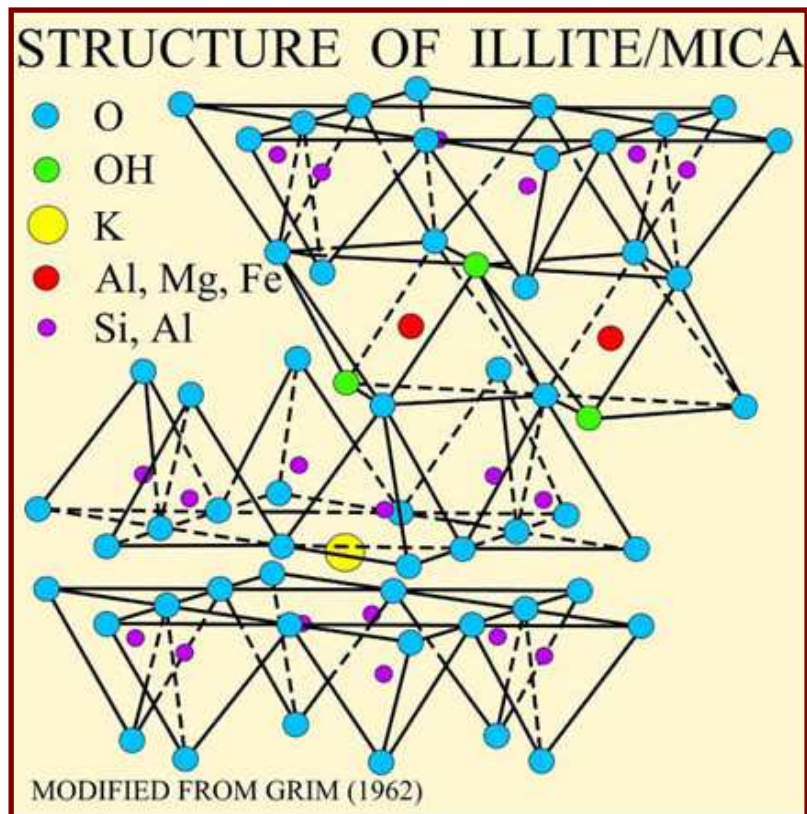
καολινίτης:	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$
αλλοϋσίτης:	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8 \cdot 4H_2O$.
μετα-αλλοϋσίτης:	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8 \cdot 2H_2O$].
ντικίτης:	$2[Al_4Si_4O_{10}(OH)_8]$
νακρίτης:	$6[Al_4Si_4O_{10}(OH)_8]$



Σχ. 36: Διοκταεδρικό ορυκτό δομής 1:1 (πλέγμα καολινίτη).

Τα ορυκτά δομής **2:1** αποτελούνται από ένα φύλλο οκταέδρων που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο φύλλα τετραέδρων (Σχ. 37).





Σχ. 37: Ορυκτά δομής 2:1.

Αντιπροσωπευτικό διοκταεδρικό ορυκτό της δομής 2:1, είναι ο πυροφυλλίτης $[Al_2Si_4O_{10}(OH)_2]$, από τον οποίο, προκύπτουν τόσο τα ορυκτά της ομάδας του ιλλίτη, όσο και τα ορυκτά της ομάδας των διοκταεδρικών σμεκτιτών έπειτα από τις κατάλληλες υποκαταστάσεις, αφ' ενός μεν Si από Al^{IV} , αφ' ετέρου δε Al^{VI} από Mg ή Fe^{2+} (Brindley et

al, 1984). Με τις υποκαταστάσεις αυτές δημιουργείται περίσσεια ηλεκτρικών φορτίων, τα οποία εξουδετερώνονται με δέσμευση $(x+y)$ κατιόντων M (όπου $M:Ca, Na, Mg, K$ κ.λπ.), υπό ανταλλάξιμη μορφή, προκειμένου να επέλθει ηλεκτροστατική ισορροπία (Σχ. 38).

Στα ορυκτά δομής **2:1**, ανήκουν εκτός από τα ορυκτά της ομάδας των σμεκτιτών $Al_4Si_8O_{20}(OH)_4 \cdot nH_2O$, και τα ορυκτά της ομάδας του ιλλίτη $K_yAl_4(Si_{8-y},Al_y)O_{20}(OH)_4$, όπου $1 < y < 1.5$, καθώς και οι βερμικουλίτες (vermicullite group)

Διακρίνονται σε:

Διοκταεδρικά ορυκτά δομής 2:1 (π.χ. ιλλίτης, μοντμοριλλονίτης)

Τριοκταεδρικά ορυκτά δομής 2:1 (π.χ. σαπονίτης)

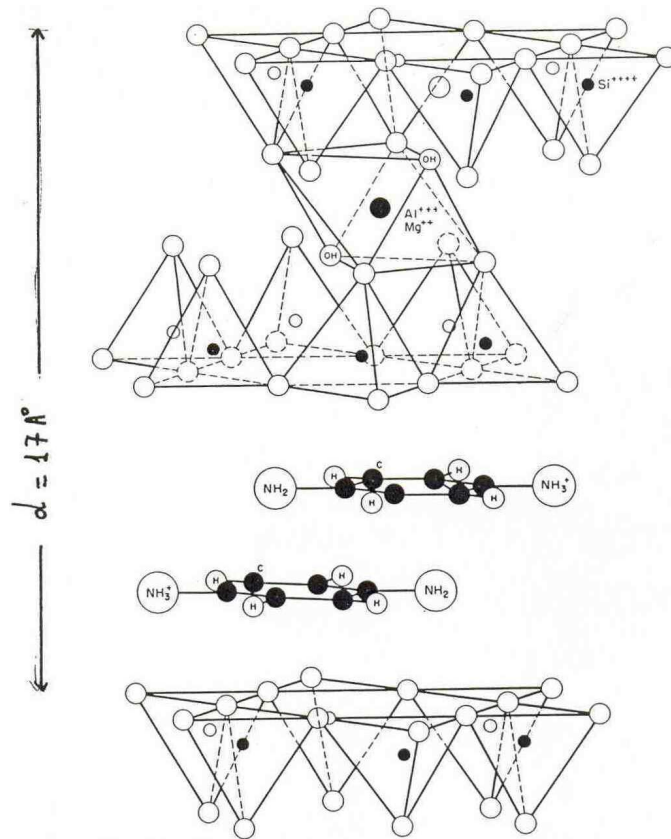
Τα ορυκτά της ομάδας των σμεκτιτών είναι:

1. Οι διοκταεδρικοί σμεκτίτες:

- μοντμοριλλονίτης: $(Mg_yAl_{2-y})Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$
- μπαϊντελλίτης: $Al_2(Al_xSi_{4-x})O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$
- νοντρονίτης: $Fe_2^{3+}(Al_xSi_{4-x})O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$

2. Οι τριοκταεδρικοί σμεκτίτες:

- σαπονίτης: $(Si_{3.67}Al_{0.33})MgO_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$
- εκτορίτης: $Si_4(Mg_{2.67}Li_{0.33})O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$



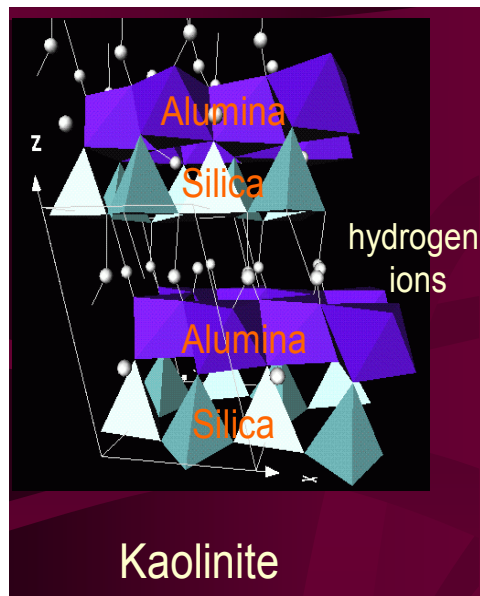
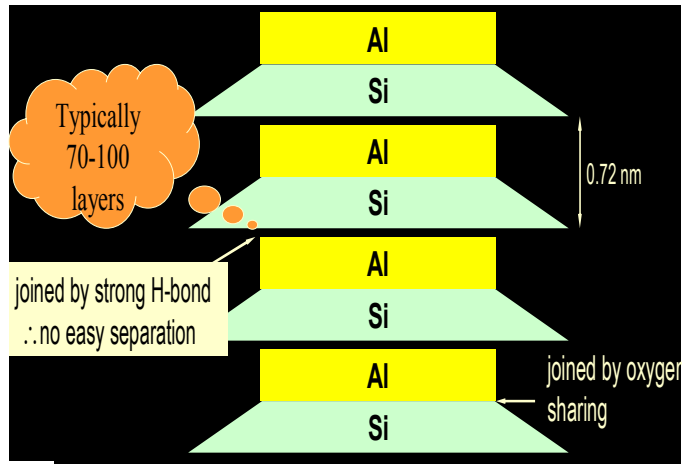
Σχ. 38: Κρυσταλλική δομή του μοντμοριλλονίτη, με μεγαλομόρια οργανικών ενώσεων προσροφημένα στο διαστρωματικό του χώρο.

Οι τρεις ομάδες των αργιλικών ορυκτών διαφέρουν ως προς το είδος και ως προς τη διάταξη στο χώρο, των ατόμων από τα οποία αποτελούνται.

Αποτέλεσμα της διαφοράς αυτής είναι και η ανάπτυξη διαφορετικών τρόπων σύνδεσης μεταξύ των στρωμάτων των διαφόρων ομάδων.

Γενικά, στα αργιλικά ορυκτά τα στρώματα συγκρατούνται μεταξύ τους, με ασθενείς δεσμούς (δεσμό υδρογόνου και δεσμό *van deer waals*).

Ο δεσμός υδρογόνου είναι ένας ασθενής δεσμός ηλεκτροστατικής φύσεως μεταξύ H^+ και O^{2-} . Στα ορυκτά της ομάδας του καολινίτη, τα άτομα του υδρογόνου (του επιπέδου των OH^- , που ανήκει στο φύλλο των οκταέδρων), τείνουν να σχηματίσουν δεσμούς υδρογόνου με τα οξυγόνα των παρακείμενων οκταεδρικών φύλλων (Σχ. 39).

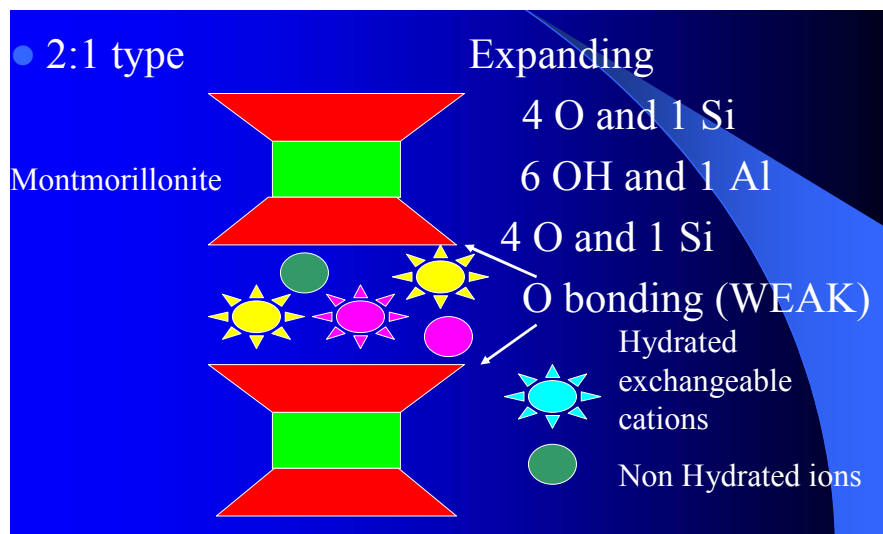


Σχ. 39: Δεσμοί υδρογόνου σε ορυκτά δομής 1:1.

Ο δεσμός “*van deer waals*” είναι ο ασθενέστερος απ’ όλους τους δεσμούς (Σχ. 40-41) και δεν συναντάται πολύ συχνά στα ορυκτά. Αναπτύσσεται μεταξύ ουδέτερων μορίων, τα οποία επιφανειακά και στιγμιαία παρουσιάζουν μικρά υπολειμματικά φορτία δημιουργώντας, έτσι, δίπολα.



Σχ. 40: Δεσμοί “*van deer waals*” σε ορυκτά δομής 2:1.



Σχ. 41: Δεσμοί “van deer waals” σε ορυκτά δομής 2:1.

Οι δεσμοί υδρογόνου σχηματίζουν ισχυρότερο σύνδεσμο από τους δεσμούς *van deer waals*.

Ο τρόπος σύνδεσης επηρεάζει πολύ τις ιδιότητες των ορυκτών. Έτσι, όσο ασθενέστερος είναι ο δεσμός τόσο μικρότερη η σκληρότητα τους, ασθενέστερος ο σχισμός τους κλπ.

10.6. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ

1. Πλαστικότητα

Είναι η ιδιότητα του μείγματος αργίλου-νερού να μορφοποιείται κάτω από την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων και να διατηρεί αυτή τη μορφή μετά την ξήρανση και το ψήσιμο. Κατά την επαφή με το νερό τ' αργιλικά ορυκτά, περιβάλλονται από ένα λεπτό υδάτινο υμένιο, εξ αιτίας του οποίου εξασθενίζουν οι δυνάμεις συνοχής και ελαττώνεται η τριβή, με αποτέλεσμα το μίγμα αργίλου-νερού να γίνεται πλαστικό.

Η πλαστικότητα εξαρτάται από:

- Τη μορφή των σωματιδίων (φυλλώδης ή πρισματική).
- Τις δυνάμεις που συνδέουν τα σωματίδια μεταξύ τους (ασθενέστερες στον μοντοριλλονίτη, ισχυρότερες στον καολινίτη).

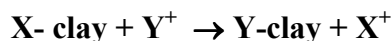
- Το είδος των προσροφημένων ιόντων (Na^{1+} , Ca^{2+} , ...).
- Το πάχος των υδάτινων υμενίων.

Μέτρο της πλαστικότητας είναι η ποσότητα του νερού που χρειάζεται μια άργιλος για ν' αποκτήσει τη μέγιστη πλαστικότητά της. Λέγεται *νερό πλαστικότητας* και εκφράζεται σε cm^3 επί τοις %. Η πλαστικότητα μιας άργιλου ποικίλλει ανάλογα με την περιεκτικότητά της σε αργιλικό κλάσμα, σε μοντμοριλλονίτη, σε οργανική ουσία κλπ.

2. Ιοντοανταλλακτική ικανότητα (Ion Exchange Capacity I.E.C).

Είναι η ικανότητα που έχουν τα αργιλικά ορυκτά να προσροφούν και να συγκρατούν ορισμένα ιόντα, τα οποία κάτω από ειδικές συνθήκες είναι δυνατό ν' ανταλλάγουν με ιόντα άλλων στοιχείων που βρίσκονται στο περιβάλλον τους. Διακρίνεται σε κατιοντοανταλλακτική και ανιοντοανταλλακτική ικανότητα, ανάλογα με το εάν, το υπό ανταλλαγή ιόν είναι κατιόν ή ανιόν. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατιοντοανταλλακτική ικανότητα, η οποία μετριέται σε χιλιοστοϊσοδύναμα ανταλασσόμενου ιόντος ανά 100 gr προσροφητικού μέσου (meq/100 gr).

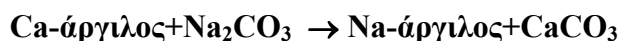
Αν μία άργιλος τοποθετηθεί σε διάλυμα ενός ηλεκτρολύτη, τότε συμβαίνει ανταλλαγή μεταξύ των ιόντων της άργιλου και των ιόντων του ηλεκτρολύτη:



Η παραπάνω αντίδραση εξαρτάται από τη φύση των ιόντων X και Y, τη σχετική τους συγκέντρωση, το είδος της άργιλου. Ακόμα και για ισοδύναμες συγκεντρώσεις κατιόντων η σειρά προσρόφησής τους είναι η ακόλουθη :



Η ιοντοανταλλακτική ικανότητα έχει μεγάλη σημασία για τις ιδιότητες των άργιλων. Αν, π.χ. σε μια ασβεστούχο άργιλο προστεθεί Na_2CO_3 , τα ιόντα Ca^{2+} θα ανταλλάγουν με τα ιόντα Na^+ , με βάση την αντίδραση:



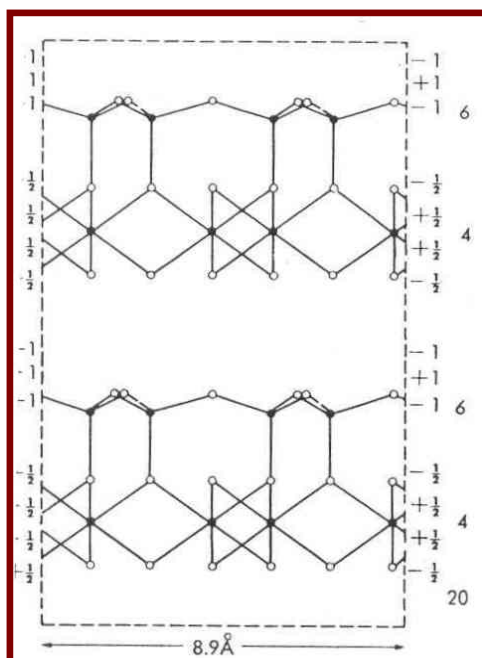
Έτσι προκύπτει Na-άργιλος, που είναι περισσότερο πλαστική. Στην παρασκευή κεραμικών, η ιοντοανταλλακτική ικανότητα επιδρά στην αντοχή του μορφοποιημένου αργλικού υλικού, διότι επηρεάζει την ανάπτυξη των δυνάμεων συνοχής μεταξύ των αργλικών κόκκων.

Επίσης, η ιοντοανταλλακτική ικανότητα επηρεάζει τις ρεολογικές ιδιότητες (διογκωσιμότητα, ιξώδες κλπ.), όταν πρόκειται για μπεντονίτες και άλλα παρόμοια υλικά.

Η τιμή της ιοντοανταλλακτικής ικανότητας είναι χαρακτηριστική για τις διάφορες ομάδες των αργλικών ορυκτών και μετριέται σε meq/gr.

Είναι μεγάλη για την ομάδα του μοντμοριλλονίτη (80-150 meq/100 gr), ενδιάμεση για τον ιλλίτη (10-40 meq/100 gr) και μικρή για τα ορυκτά της ομάδας του καολινίτη (3-5 meq/100 gr), ενώ οι βερμικουλίτες παρουσιάζουν μεγαλύτερη ιοντοανταλλακτική ικανότητα (>160 meq/100 gr).

Η ιοντοανταλλακτική ικανότητα, εκτός από τις ισόμορφες υποκαταστάσεις, επηρεάζεται και από το ποσοστό των θραυσιγενών επιφανειών (broken bonds), που είναι, συνήθως, παράλληλες προς τον άξονα C (Σχ. 42) και στις οποίες αναπτύσσονται, επίσης, ακόρεστα ηλεκτρικά φορτία. Τα φορτία αυτά εξουδετερώνονται δια προσροφήσεως, υπό ανταλλάξιμη μορφή, κατιόντων.



Σχ. 42: Ακόρεστα ηλεκτρικά φορτία στις θραυσιγενείς επιφάνειες του καολινίτη

Έτσι, η ιοντοανταλλακτική ικανότητα των ορυκτών της ομάδας του καολινίτη, όπως και της ομάδας των χλωριτών, οφείλεται κατά ένα μεγάλο ποσοστό (>80%) στα αρνητικά φορτία που προέρχονται από τις θραυσιγενείς επιφάνειες (δεδομένου ότι στο διαστρωματικό χώρο αυτών των ορυκτών δύσκολα προσροφώνται κατιόντα).

Αντίθετα, στα ορυκτά της ομάδας του μοντμοριλλονίτη, όπως και στο βερμικουλίτη, μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό της ιοντοανταλλακτικής τους ικανότητας (<10%), οφείλεται στα φορτία τα προερχόμενα από τις θραυσιγενείς επιφάνειες.

Η ιοντοανταλλακτική ικανότητα ενός υλικού, εξ άλλου, εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως π.χ. την κοκκομετρία του, την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και ιδιαίτερα, από το pH (η μεγαλύτερη τιμή ικανότητας ανταλλαγής σε κατιόντα βρίσκεται στην περιοχή pH ~10).

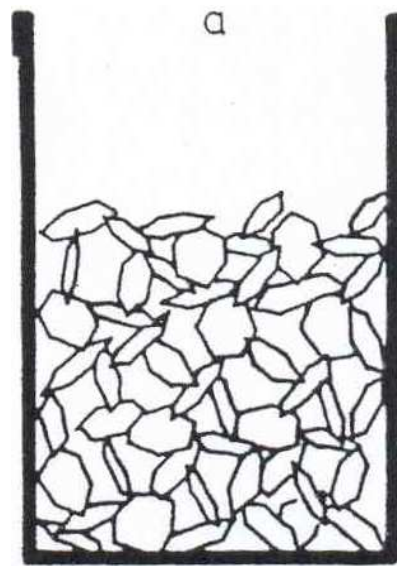
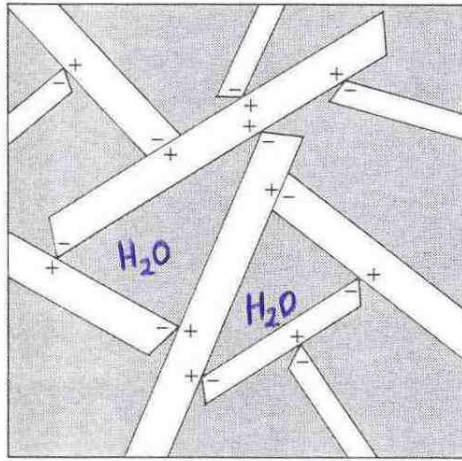
3. Θιξοτροπία

Αν αναμιχθεί κάποια άργιλος με περίσσεια νερού, είναι δυνατόν εφ' όσον το μέγεθος των αργιλικών ορυκτών είναι μικρό, να σχηματισθεί ένα αιώρημα, το οποίο μετά από λίγο πήζει, δημιουργώντας ένα πήκτωμα. Το πήκτωμα αυτό δεν ρέει όταν υποστεί κλίση, εάν όμως ανακινηθεί, μετατρέπεται ξανά σε αιώρημα.

Η ιδιότητα αυτή, αναστρέψιμη και επηρεαζόμενη από τον χρόνο, είναι γνωστή ως **θιξοτροπία** και οφείλεται στο ότι, τα αιωρούμενα αργιλικά σωματίδια, σταδιακά, παίρνουν τέτοιες θέσεις, έτσι ώστε τα μόρια του νερού να εγκλωβίζονται στα κενά που δημιουργούνται ανάμεσα στ' αργιλικά ορυκτά και να μην μπορούν να κινηθούν ελεύθερα (Σχ. 43). Πρόκειται για την ονομαζόμενη δομή "house of cards", όπου τα αργιλικά σωματίδια είναι συνδεδεμένα σ' ένα τρισδιάστατο δίκτυο. Κάθε δυνατό χτύπημα μπορεί να χαλάσει αυτό το σκελετό και το αιώρημα μπορεί να κινηθεί, πάλι, ελεύθερα.

Ο μοντμοριλλονίτης αναπτύσσει θιξοτροπία σε μεγάλο βαθμό. Θιξοτροπία σε μικρό βαθμό είναι δυνατό να αναπτύξουν μερικοί καολίνες ιζηματογενούς προέλευσης, όταν είναι επεξεργασμένοι με Na_2CO_3 .

Στη θιξοτροπία βασίζεται η διαδικασία καθαρισμού των γεωτρήσεων, με τη βοήθεια κατάλληλων δονητών. (Μετατροπή του πήκτοματοποιημένου μπεντονιτικού πολφού των τοιχωμάτων των γεωτρήσεων σε ρευστή μορφή).



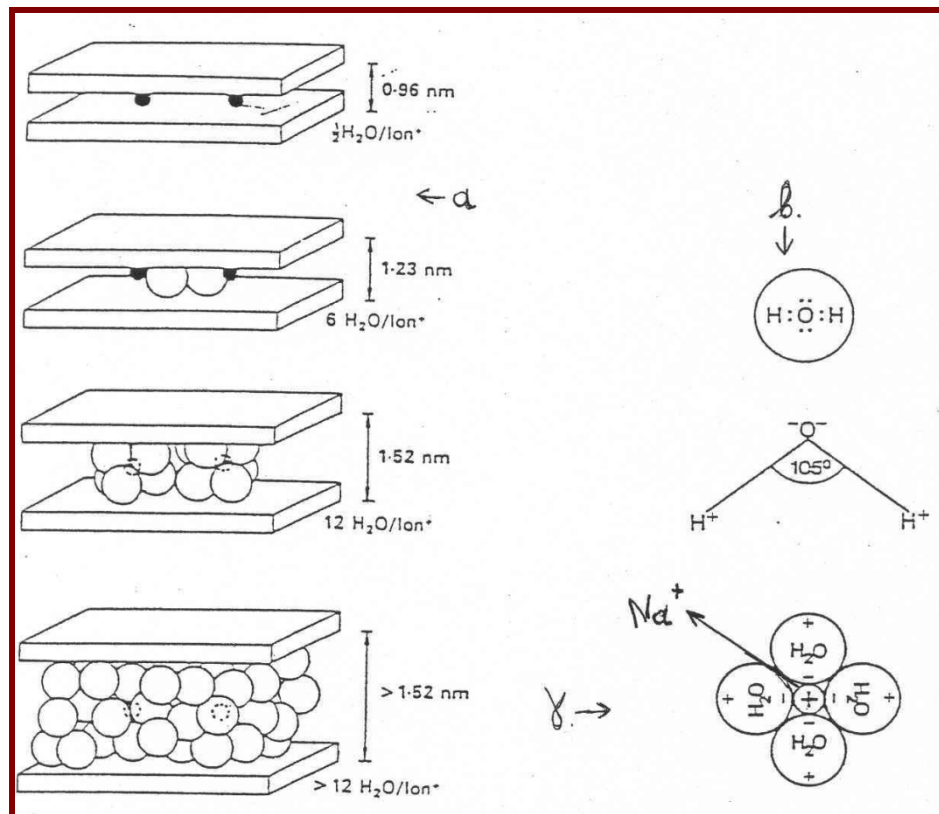
Σχ. 43: Δομή “house of cards

4. Προσρόφηση του ύδατος

Τα αργιλικά ορυκτά έχουν την ικανότητα να προσροφούν H_2O στο διαστρωματικό τους χώρο και να διογκώνονται. Το ποσοστό του H_2O που προσροφάται εξαρτάται, κύρια, από το είδος του αργιλικού ορυκτού και από την κοκκομετρία του. Είναι π.χ. μεγάλο για τον μοντμοριλλονίτη, λόγω των ασθενών δεσμών που αναπτύσσονται μεταξύ των διαδοχικών του στρωμάτων, σε αντίθεση με τον καολινίτη μεταξύ των στρωμάτων του οποίου αναπτύσσονται ισχυροί δεσμοί, που δεν επιτρέπουν την προσρόφηση του νερού .

Προκειμένου για το μοντμοριλλονίτη, το ποσοστό του νερού που προσροφάται εξαρτάται, εκτός από το από το είδος των δεσμών και από το είδος των κατιόντων (Ca^{+2} , Na^{+1} κ.λπ.), τα οποία βρίσκονται προσροφημένα στο διαστρωματικό του χώρο.

Όπως φαίνεται στο σχ. 44, τα μόρια H_2O σχηματίζουν δίπολα (β) και περιβάλλουν τα ιόντα Na^{+1} (γ). Με αυτόν τον τρόπο ενυδατώνονται τα ιόντα Na^{+1} που βρίσκονται προσροφημένα στο διαστρωματικό χώρο του ορυκτού (α) και αυξάνεται η πλεγματική του απόσταση.



Σχ. 44: Διαδοχικά στάδια προσρόφησης H_2O

5. Υδατοπερατότητα

Δεδομένου του πολύ μικρού μεγέθους των κόκκων των αργιλικών ορυκτών, όπως και της διόγκωσης που δημιουργείται σ' αυτά έπειτα από προσρόφηση νερού, τα στρώματα τα οποία αποτελούνται από αργιλικά ορυκτά είναι μη υδατοπερατά.

6. Διασπορά και θρόμβωση

Με την προσθήκη ορισμένων ηλεκτρολυτών είναι δυνατό, ένα αιώρημα αργιλικών ορυκτών να διατηρηθεί σε διασπορά, ή να θρομβωθεί και να καθιζήσει ως ίζημα.

11. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

11.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σημαντικό κίνητρο για την εκπόνηση της εργασίας αυτής υπήρξε το ενδιαφέρον για τη μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης στείρων υλικών από διάφορα Λιγνιτωρυχεία, δεδομένου ότι κρίνεται ιδιαίτερα καθοριστικός ο ρόλος της στην ευστάθεια των πρανών.

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η ορυκτολογική σύσταση δειγμάτων, τα οποία ελήφθησαν από μέτωπο εκσκαφής και διερευνητικές γεωτρήσεις, σε Λιγνιτωρυχεία της Δ. Μακεδονίας.



Εικ. 1: Άποψη του λιγνιτικού κοιτάσματος της Αγλάδας, όπου διακρίνονται οι χαρακτηριστικές αναβαθμίδες.

11.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Προκειμένου να προσδιοριστεί η ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων, τα οποία ελήφθησαν από μέτωπο εκσκαφής και διερευνητικές γεωτρήσεις, σε Λιγνιτωρυχεία της Δ. Μακεδονίας εφαρμόστηκαν οι ακόλουθες μέθοδοι έρευνας:

11.2.1. ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ-X

Τα δείγματα εξετάστηκαν με περιθλασιμετρία ακτίνων X (X- rays diffraction). Για τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο τύπου Siemens D-5000, με τις ακόλουθες συνθήκες λειτουργίας: ακτινοβολία CuK α ($\lambda=1.5405 \text{ \AA}$), φίλτρο Ni, ένταση 30 mA, τάση 40 Kv και ταχύτητα γωνιόμετρου $1^{\circ}2\theta/\text{min}$. Η ταυτοποίηση των διαφόρων ορυκτολογικών φάσεων και των προϊόντων που προέκυψαν από τις μεταξύ τους αντιδράσεις, πραγματοποιήθηκε με βάση τις χαρακτηριστικές τους ανακλάσεις.

11.2.2. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (TG/DTG/DTA)

Η διαφορική θερμική (DTA) και θερμοβαρυτομετρική (TG/DTG) ανάλυση έγινε με όργανο Mettler Toledo 851. Τα δείγματα πυρώθηκαν έως τους $1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$, με ταχύτητα αύξησης της θερμοκρασίας $10 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Η αξιολόγηση των καμπυλών έγινε με βάση τα δεδομένα της βιβλιογραφίας (Mackenzie, R., 1957, Smykatz-Kloss, W., 1974).

Η μέθοδος της διαφορικής θερμικής ανάλυσης (Differential Thermal Analysis ή D.T.A.), βασίζεται στο γεγονός ότι, όταν μια ουσία θερμαίνεται, υφίσταται διάφορες μετατροπές. Οι μετατροπές αυτές συνοδεύονται από πρόσληψη ή απώλεια θερμότητας, με αποτέλεσμα την εμφάνιση χαρακτηριστικών peaks (κορυφών) στο διάγραμμα D. T. A.

11.2.3. ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (FT-IR)

Η φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας (Infrared spectroscopy), βασίζεται στο γεγονός ότι, όταν οι δεσμοί μιας κρυσταλλικής φάσης εκτεθούν σε υπέρυθρη ακτινοβολία, θα απορροφήσουν από το φάσμα IR, εκείνες τις συχνότητες, τις οποίες εκπέμπουν και οι

ίδιοι δονούμενοι και θα αφήσουν να περάσει η υπόλοιπη ακτινοβολία. Η απορροφούμενη (absorbed) ή η διερχόμενη (transmitted) ακτινοβολία είναι, επομένως, χαρακτηριστική του ορυκτού που την προκαλεί. Έτσι, ένα διάγραμμα FT-IR είναι δυνατό να δώσει πληροφορίες αφ' ενός μεν για το είδος ενός ορυκτού (καολινίτης, κ.λπ.) και αφ' ετέρου για τους χαρακτηριστικούς δεσμούς στο κρυσταλλικό του πλέγμα (Si-O-Si, Si-O-Al^{VI}, κλπ) (Farmer, 1974, Madejova J., 2003).

Η μελέτη με υπέρυθη ακτινοβολία (FT-IR), έγινε με τη χρήση φασματόμετρου (Perkin Elmer GX-1).

Το δοκίμιο (παστίλια), το οποίο ακτινοβολούμε, έχει πάχος 1-15 μm και παρασκευάζεται ως ακολούθως:

Κονιοποιούμε ένα ελάχιστο τμήμα του υλικού μας (<50 mgr). Αναμιγνύουμε ένα μικρό τμήμα του κονιοποιημένου υλικού με KBr (αναλογία 1:200) και αφού το βάλουμε σε ειδική μήτρα του εξασκούμε πίεση (8 tn/cm²) προκειμένου να μετατραπεί σε παστίλια.

Ένα διάγραμμα IR, έχει ως τετμημένη, την σχετική ένταση της ακτινοβολίας που απορροφάται ή διέρχεται από το δοκίμιο και ως τεταγμένη το μήκος κύματος ή τη συχνότητα (cm⁻¹) της υπέρυθρης ακτινοβολίας (σύνηθες φάσμα, από 400 cm⁻¹ έως 4.000 cm⁻¹).

11.3. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

11.3.1. Γενικά

Η ορυκτολογική σύσταση δειγμάτων από τις θέσεις “Λόφοι” και “Αχλάδα” “LF και Ach” από την περιοχή της Φλώρινας, όπως επίσης και δειγμάτων από την περιοχή του Νοτίου Πεδίου της Πτολεμαΐδας “KNP 7”, προσδιορίστηκε με περιθλασιμετρία ακτίνων - X (X- rays diffraction), με Θερμική Ανάλυση (TG, DTG, DTA) και με φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR).

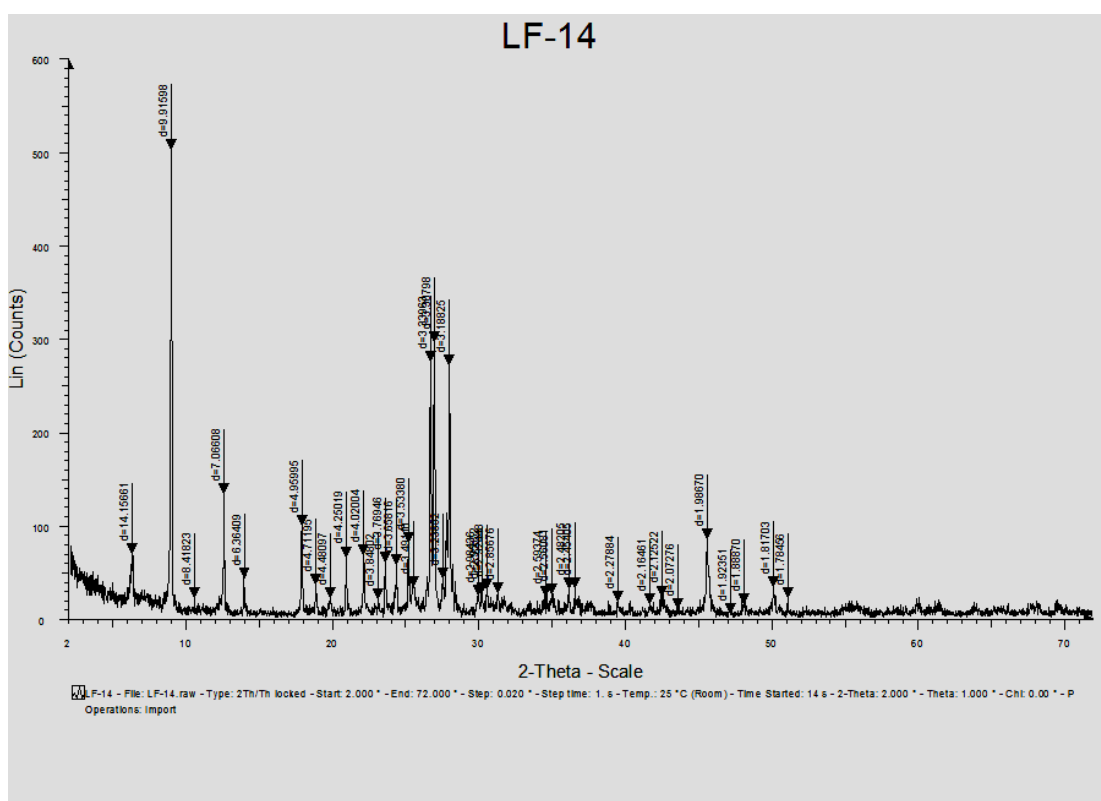
11.3.1.1. Εξέταση με περιθλασιμετρία ακτίνων-X

Η εξέταση των δειγμάτων έγινε σε προσανατολισμένα παρασκευάσματα. Τα ακτινοδιαγράμματα, τα οποία ελήφθησαν από μη προσανατολισμένα παρασκευάσματα χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για την ημιποσοτική εκτίμηση της ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων, σύμφωνα με τους Cook et al., (1980).

Κάθε δείγμα εξετάστηκε:

1. Μετά από ξήρανση στους 65 °C, ώστε να είναι απαλλαγμένο από την υγρασία.
2. Μετά από κορεσμό με γλυκόλη, προκειμένου να γίνει έλεγχος για πιθανή ύπαρξη διογκούμενων ορυκτών (σμεκτίτες).
3. Μετά από θέρμανση στους 500 °C, για δύο ώρες, προκειμένου να διακριθούν τα ορυκτά καολινίτης και χλωρίτης των οποίων οι ανακλάσεις 001 και 002, αντίστοιχα, συμπίπτουν (Grim 1968, Thorez 1975, Brindley & Brown 1980).

Η ταυτοποίηση των διαφόρων ορυκτών δειγμάτων από τις προαναφερθείσες περιοχές, έγινε με βάση τις χαρακτηριστικές τους ανακλάσεις (Σχ. 46). Οι παραπάνω επεξεργασίες είναι απαραίτητες προκειμένου να διακριθούν τα αργιλικά ορυκτά, των οποίων οι ανακλάσεις συμπίπτουν.



Σχ. 45 : Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X αντιπροσωπευτικού δείγματος “ως έχει” από τους Λόφους “LF 14”.

*Qz=Χαλαζιάς, Fe=Άστριοι, Cc=Ασβεστίτης, Ill-Mu=Ιλλίτης-Μοσχοβίτης, Ka=Καολινίτης, Chl=Χλωρίτης.

- Στα δείγματα από τους Λόφους και την Αγλάδα, τα οποία εξετάστηκαν επικρατεί ο ιλλίτης/μοσχοβίτης, που προσδιορίστηκε με βάση τις κύριες ανακλάσεις του στα $d_{001}=10 \text{ \AA}$ και $d_{003}=3.34 \text{ \AA}$. Από τα αργιλικά ορυκτά ταυτοποιήθηκαν, επίσης, καολινίτης ($d_{001}=7.1 \text{ \AA}$, $d_{002}=3.5 \text{ \AA}$) και χλωρίτης ($d_{001}=14 \text{ \AA}$, $d_{002}=7 \text{ \AA}$), η συνύπαρξη των οποίων επιβεβαιώθηκε έπειτα από θερμική επεξεργασία των δειγμάτων (Σχ. 47). Σε κανένα από τα δείγματα δεν προσδιορίστηκε σμεκτίτης.

- Από τα μη αργιλικά ορυκτά επικρατούν ο χαλαζίας, για τον προσδιορισμό του οποίου χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις (1011) στα $d=3.33 \text{ \AA}$, και (1010) στα $d=4.26 \text{ \AA}$. Επειδή, η ισχυρότερη ανάκλαση του χαλαζία στα $d=3.33 \text{ \AA}$, συμπίπτει, σχεδόν, με την ισχυρή ανάκλαση (003) του ιλλίτη, για τον ημιποσοτικό προσδιορισμό, ως σχετικό μέτρο, για την περιεκτικότητα του χαλαζία, χρησιμοποιήθηκε η ανάκλαση στα $d=4.26 \text{ \AA}$.

- Προσδιορίστηκαν, επίσης, άστριοι (αλβίτης) σε πολύ μικρό ποσοστό από την χαρακτηριστική τους ανάκλαση (002) στα $d=3.19 \text{ \AA}$.

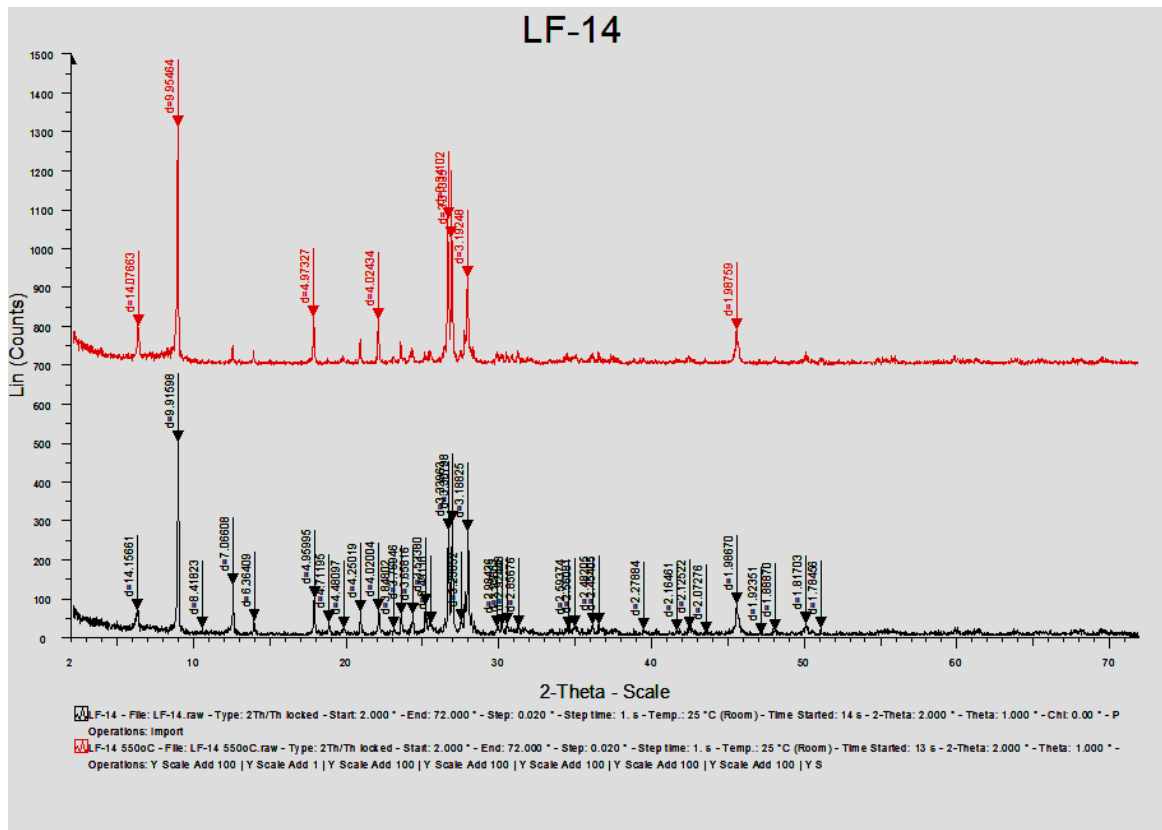
- Σε μερικά δείγματα προσδιορίστηκε και σιδηρίτης (FeCO_3), για την ταυτοποίηση του οποίου, χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις hkl (104) στα $d=2.79 \text{ \AA}$, (116) στα $d=1.73 \text{ \AA}$ και (012) στα $d=3.59 \text{ \AA}$.

Στις παραπάνω περιοχές, ιδιαίτερα έντονη είναι η παρουσία αργιλικών ορυκτών από τα οποία επικρατεί ο ιλλίτης. Ο όρος “ιλλίτης” χρησιμοποιείται ως ένα συλλογικό όνομα για όλα τα μη διογκούμενα αργιλικά ορυκτά με ανάκλαση (001) στα $d=10 \text{ \AA}$, περίπου.

- Ο ιλλίτης-μοσχοβίτης προσδιορίστηκε, με βάση τις κύριες ανακλάσεις του (001) στα $d \sim 10 \text{ \AA}$ και (003) $d \sim 3.34 \text{ \AA}$.

- Η παρουσία του καολινίτη στα εξετασθέντα δείγματα διαπιστώθηκε από το peak (001) στα $d=7.15 \text{ \AA}$, όπως επίσης και από τη συμπεριφορά του κατά τη θέρμανση.

Όπως φαίνεται από το ακτινοδιάγραμμα, το οποίο ελήφθη έπειτα από έψηση του δείγματος στους $\sim 500 \text{ }^\circ\text{C}$ για 2 h (Σχ. 46), η ανάκλαση στα $d=7.15 \text{ \AA}$ μειώνεται σημαντικά. Η μείωση αυτή υποδηλώνει τη συνύπαρξη καολινίτη και χλωρίτη στο συγκεκριμένο υλικό.

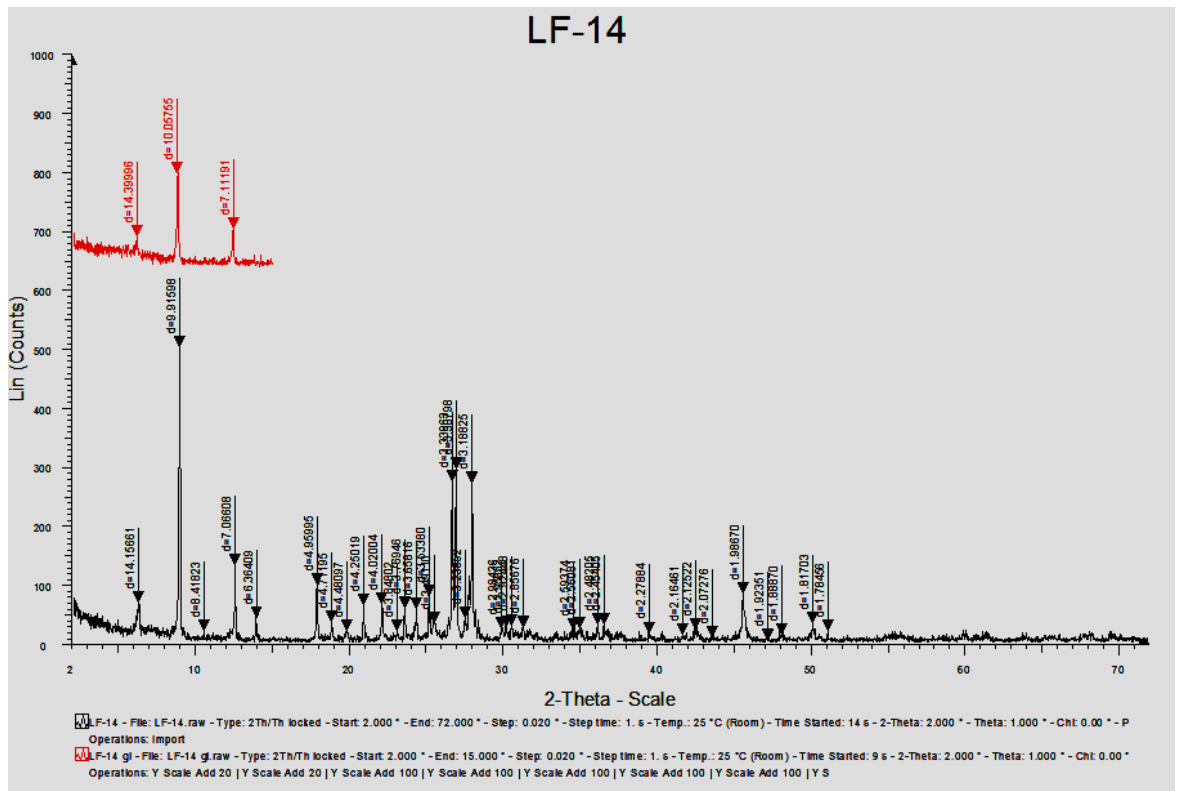


Σχ. 46: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X δείγματος από Λόφους “LF 14”, έπειτα από έψηση του υλικού στους 500 °C.

Ας σημειωθεί ότι στο υλικό “ως έχει” η ανάκλαση 001 του καολινίτη συμπίπτει με την ανάκλαση 002 του χλωρίτη. Έπειτα από έψηση του δείγματος στους ~500 °C για 2 h, οι ανακλάσεις του χλωρίτη παραμένουν αμετάβλητες, ενώ του καολινίτη εξαφανίζονται.

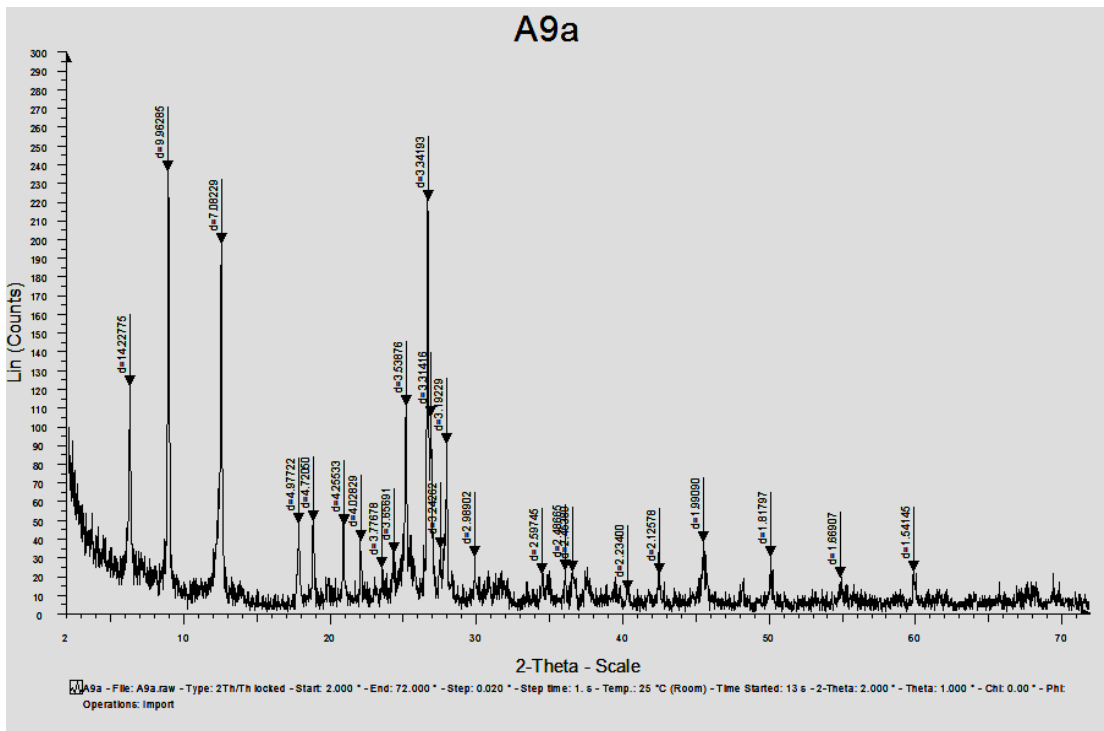
Σε περίπτωση που μετά τη θέρμανση γίνεται σμίκρυνση της συγκεκριμένης ανάκλασης, σημαίνει ότι συνυπάρχουν και τα δύο ορυκτά και η αναλογία τους υπολογίζεται από τη διαφορά των εντάσεων πριν και μετά τη θέρμανση.

- Η παρουσία ή μη διογκούμενων ορυκτών διαπιστώνεται με βάση την χαρακτηριστική ιδιότητα του μοντμοριλλονίτη (κύριου ορυκτού της ομάδας των σμεκτιτών) να διογκώνεται κατόπιν επεξεργασίας του με γλυκόλη. Μοντμοριλλονίτης κορεσμένος με γλυκόλη παρουσιάζει μετατόπιση της κύριας ανάκλασης του (100) από τα $d \sim 14 \text{ \AA}$ στα $d \sim 17 \text{ \AA}$. Δεδομένου ότι, μετά τον κορεσμό των δειγμάτων με γλυκόλη δε διαπιστώθηκε μετατόπιση της συγκεκριμένης ανάκλασης του μοντμοριλλονίτη (Σχ. 47), προς τις μικρότερες γωνίες ($d=16.7 \text{ \AA}$), συμπεραίνεται ότι τα δείγματα που εξετάστηκαν δεν περιέχουν διογκούμενα ορυκτά.

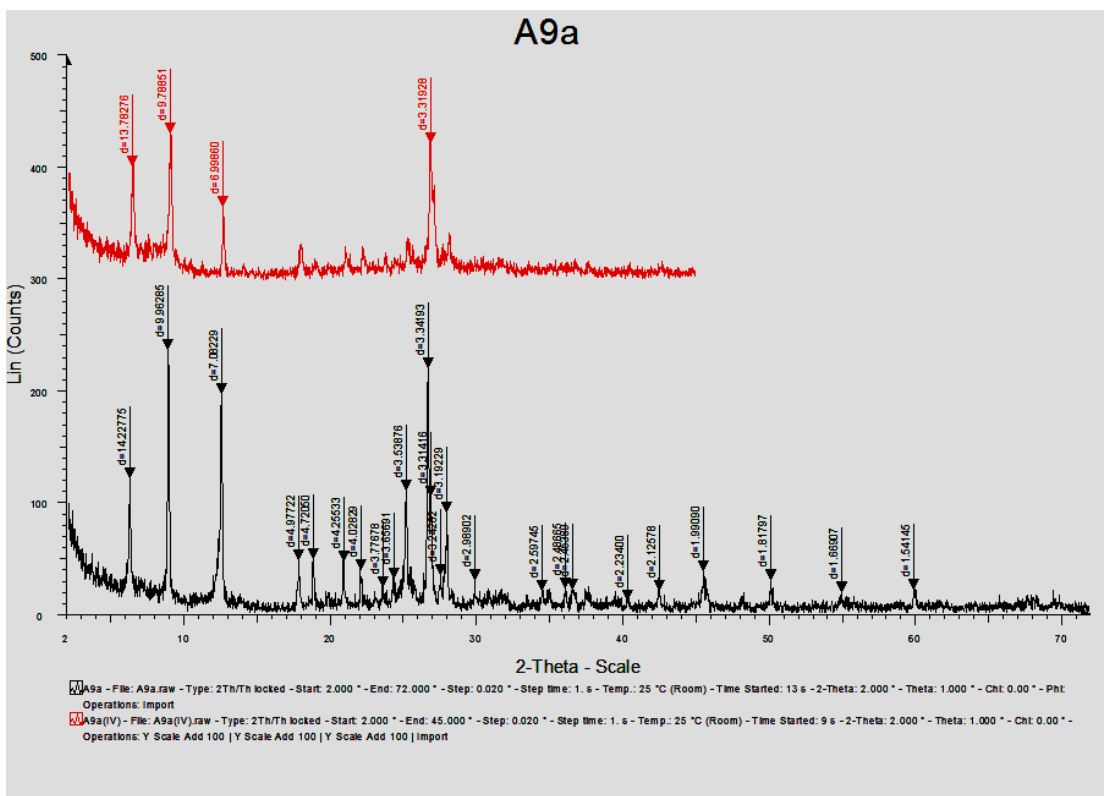


Σχ. 47: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X δείγματος από Λόφους “LF 14”, έπειτα από επεξεργασία του υλικού με γλυκόλη.

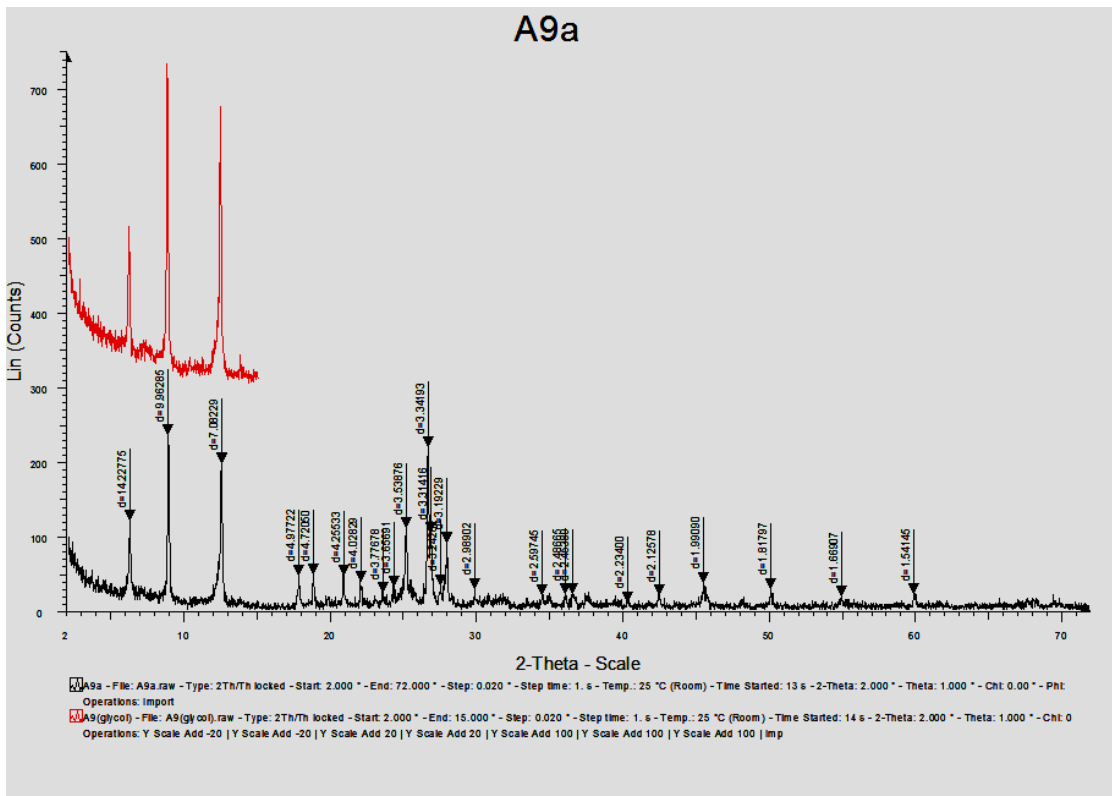
Στα παρακάτω διαγράμματα (Σχ. 48, 49 και 50) φαίνεται ότι και τα δείγματα από την περιοχή της Αχλάδας, τα οποία εξετάστηκαν με περιθλασιμετρία ακτίνων-X, έπειτα από αντίστοιχες επεξεργασίες, περιέχουν ιλλίτη/μοσχοβίτη, καολινίτη, χλωρίτη, χαλαζία και άστριους. Στη συγκεκριμένη περιοχή (Αχλάδα) είναι πιο έντονη η παρουσία του σιδηρίτη, σε σχέση με την περιεκτικότητά του στα δείγματα από τους Λόφους.



Σχ. 48: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X αντιπροσωπευτικού δείγματος “ως έχει” από Αχλάδα “Ach –A9”.



Σχ. 49: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X δείγματος από Αχλάδα “Ach –A9”, έπειτα από έψηση του υλικού στους 500 °C.



Σχ. 50: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X δείγματος από Αχλάδα “Ach –A9”, έπειτα από επεξεργασία του υλικού με γλυκόλη.

- Ας σημειωθεί ότι στα δείγματα από τις θέσεις “Λόφοι” και “Αχλάδα” από την περιοχή της Φλώρινας, ελλείπει εντελώς ο ασβεστίτης ή, απαντά σε πολύ μικρά ποσοστά.

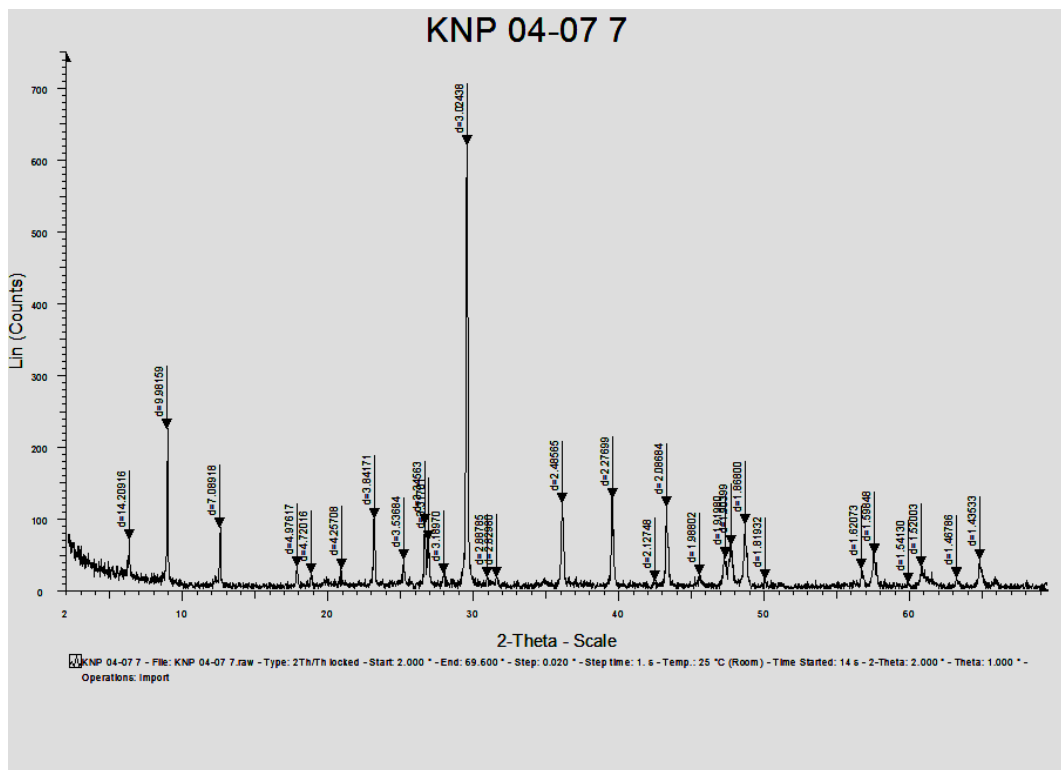
Οι παραπάνω επεξεργασίες έγιναν και για την αξιολόγηση των δειγμάτων από την περιοχή του Νοτίου Πεδίου της Πτολεμαΐδας “KNP 7”.

Στα συγκεκριμένα δείγματα, η επικρατέστερη ορυκτολογική φάση είναι ο ασβεστίτης. Σε μικρότερα ποσοστά απαντούν τα αργιλικά ορυκτά (ιλλίτης-μοσχοβίτης, χλωρίτης και καολινίτης) και σε ακόμη πιο χαμηλά ποσοστά ο χαλαζίας και οι άστριοι (Σχ. 51, 52 και 53).

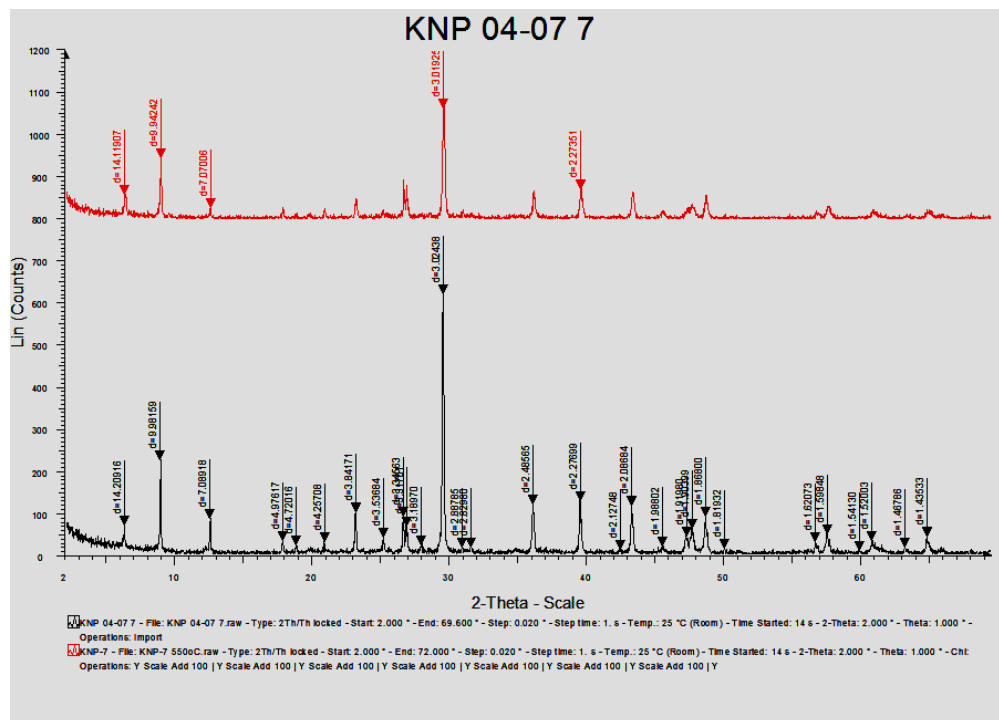
- Για τον προσδιορισμό του ασβεστίτη, ο οποίος απαντά σε ποσοστό 60%, περίπου, χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις hkl: (104) στα $d=3.03 \text{ \AA}$, (113) στα $d=2.28 \text{ \AA}$, (202) στα $d=2.09 \text{ \AA}$, (102) στα $d=3.84 \text{ \AA}$ κ.λπ. (Σχ. 52).

- Τα αργιλικά ορυκτά (ιλλίτης-μοσχοβίτης, χλωρίτης και καολινίτης), ο χαλαζίας και οι άστριοι ταυτοποιήθηκαν, σύμφωνα με τον τρόπο που αναφέρθηκε για τις άλλες δύο

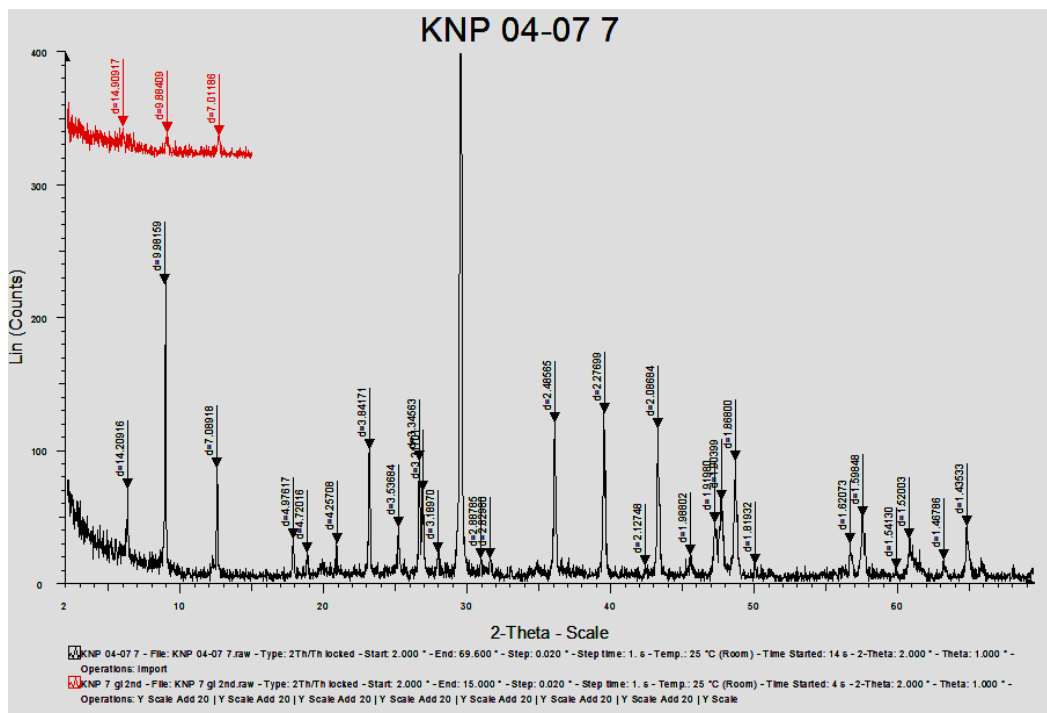
περιοχές (Σχ. 52 και 53). Ας σημειωθεί ότι και από αυτή την περιοχή ελλείπουν τα διογκούμενα ορυκτά.



Σχ. 51: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X αντιπροσωπευτικού δείγματος “ως έχει” από το Νότιο Πεδίο “KNP 7”.



Σχ. 52 : Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X δείγματος από το Νότιο Πεδίο “KNP 7”, έπειτα από έγνηση του υλικού στους 500 °C.



Σχ. 53 : Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ δείγματος από το Νότιο Πεδίο “ΚΝΡ 7”, έπειτα από επεξεργασία του υλικού με γλυκόλη.

Από την αξιολόγηση των ακτινοδιαγραμμάτων που προέκυψαν από την εξέταση με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ, διαπιστώθηκε ότι, τα δείγματα από τα λιγνιτικά κοιτάσματα που μελετήθηκαν, παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις όσον αφορά στην ορυκτολογική τους σύσταση.

Συγκεκριμένα:

- Τα δείγματα από τις περιοχές “Λόφοι” και “Αχλάδα” “LF και Ach” από τη λεκάνη της Φλώρινας, χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά (ιλλίτη-μοσχοβίτη, γλωρίτη και καολινίτη). Η περιεκτικότητα σε χαλαζία και άστριους είναι σχετικά χαμηλή, ενώ από τα ανθρακικά ορυκτά, τα οποία εμφανίζονται σε πολύ μικρό ποσοστό, ταυτοποιήθηκε κύρια ασβεστίτης. Σε ακόμα μικρότερο ποσοστό συμμετέχει, επίσης και σιδηρίτης. Ας σημειωθεί ότι, τα εξετασθέντα δείγματα, τα οποία έχουν πολύ μικρή περιεκτικότητα σε ανθρακικά ορυκτά χαρακτηρίζονται ως “αργιλοϋλιώδη”. Η συγκεκριμένη ορυκτολογική σύσταση, θεωρείται ότι συμβάλλει καθοριστικά, από κοινού με τους άλλους παράγοντες (νερό, κλίση, φόρτιση κλπ.), στην εκδήλωση της κατολίσθησης, εξαιτίας των ιδιοτήτων των αργιλικών ορυκτών.

- Όσον αφορά στα δείγματα από το κοιτάσμα του Νοτίου Πεδίου της λεκάνης της Πτολεμαΐδας “ΚΝΡ 7”, η ορυκτολογική σύσταση διαφοροποιείται. Στα δείγματα αυτής της

περιοχής, επικρατούν τα ανθρακικά ορυκτά και, συγκεκριμένα, ο αβεστίτης (CaCO₃) σε ποσοστό 60%, περίπου. Τα αργιλικά ορυκτά (ιλλίτης - μοσχοβίτης, γλωρίτης και καολινίτης) απαντούν σε μικρότερα ποσοστά, σε σχέση με τις δύο άλλες περιοχές και με ακόμη πιο χαμηλά ποσοστά συμμετέχουν ο χαλαζίας και οι άστριοι.

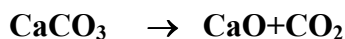
- Χαρακτηριστική είναι, εξάλλου και η έλλειψη διογκούμενων ορυκτών από όλες τις εξετασθείσες περιοχές, όπως διαπιστώθηκε έπειτα από τον κορεσμό των δειγμάτων με γλυκόλη.

Οι παραπάνω διαφοροποιήσεις της ορυκτολογικής σύστασης των εξετασθέντων δειγμάτων επιβεβαιώνονται και από τη μελέτη τους, με διαφορική θερμική (DTA) και θερμοβαρυτομετρική (TG/DTG) ανάλυση, όπως επίσης και με φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR).

11.3.1.2. Εξέταση με Θερμική Ανάλυση (TG, DTG και DTA).

Η μέθοδος της θερμικής ανάλυσης βασίζεται στο γεγονός ότι, όταν μία ουσία, θερμαίνεται, εμφανίζει διάφορες μετατροπές. Οι μετατροπές αυτές συνοδεύονται από πρόσληψη ή απώλεια θερμότητας, με αποτέλεσμα την εμφάνιση χαρακτηριστικών peaks στο διάγραμμα της D.T.A. (κόκκινη καμπύλη).

Η καμπύλη T.G. (μαύρη καμπύλη) μας δίνει τις, τυχόν, μεταβολές βάρους που εκδηλώνονται κατά τη διάρκεια κάθε φαινομένου. Από τη μεταβολή αυτή του βάρους, όπως, π.χ. από την έκλυση του CO₂, είναι δυνατό να υπολογίσουμε τον περιεχόμενο, στο δείγμα μας, ασβεστίτη, σύμφωνα με την αντίδραση:

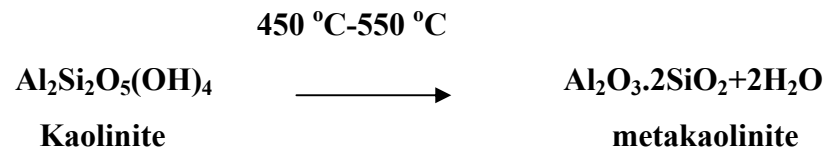


Το εύρος της θερμοκρασίας διάσπασης, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες (κρυσταλλικότητα, κοκκομετρία κ.λπ.).

Οι καμπύλες T.G. και D.T.G. και D.T.A ελήφθησαν, έπειτα από πύρωση αντιπροσωπευτικών δειγμάτων, έως τους 1200 °C, με ταχύτητα αύξησης της θερμοκρασίας 10 °C/min. Η αξιολόγηση των καμπυλών έγινε με βάση τα δεδομένα της βιβλιογραφίας (Mackenzie, R., 1957; Smykatz-Kloss, W., 1974).

Από τη αξιολόγηση των παραπάνω καμπυλών (Σχ. 55), διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα:

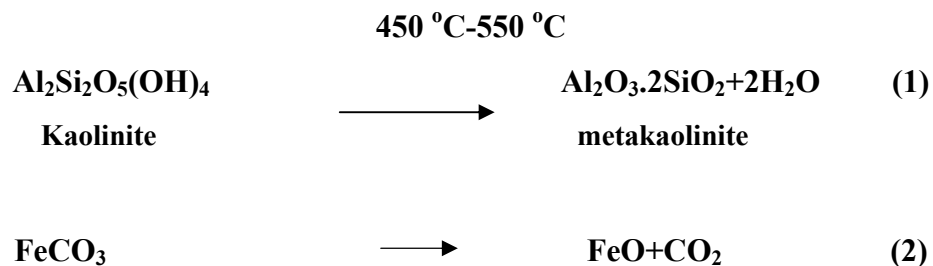
- Στη θερμοκρασία μεταξύ 25 °C και 100 °C, το υλικό παρουσιάζει μικρή απώλεια βάρους, η οποία οφείλεται στο υγροσκοπικό νερό.
- Από τους 450 °C έως τους 550 °C, παρατηρείται, επίσης, μικρή απώλεια βάρους, η οποία οφείλεται στη μετατροπή του καολινίτη σε μετακαολινίτη, με βάση την αντίδραση:



- Από τους ~600 °C έως τους 850 °C, παρατηρείται σημαντική απώλεια βάρους. Ας σημειωθεί ότι, σ' αυτήν τη θερμοκρασιακή περιοχή, συνυπάρχουν και μικρά ενδόθερμα peaks (Σχ. 55), τα οποία οφείλονται στη διάσπαση του χλωρίτη, του μοντοριλλονίτη, του ιλλίτη, όπως επίσης και στη διάσπαση του πλέγματος του ασβεστίτη.

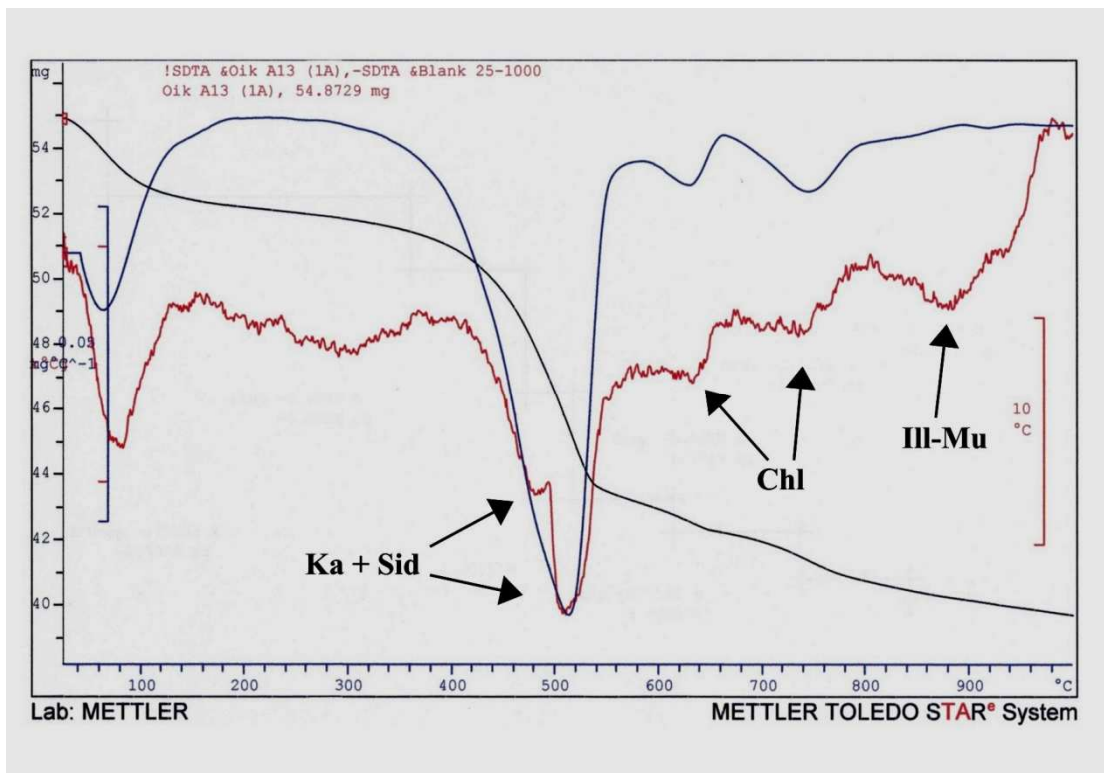
Συγκεκριμένα, από τη μελέτη με θερμική ανάλυση (TG/DTG και DTA) αντιπροσωπευτικού δείγματος “ως έχει” από Αχλάδα “Ach –A9” (Σχ. 54) (Smykatz-Kloss, 1974) διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα:

- Απότομη απώλεια βάρους (~13.3%) στη θερμοκρασιακή περιοχή μεταξύ 400 και 650 °C (καμπύλη TG) και ένα ενδόθερμο peak στους ~550 °C (καμπύλη DTA), τα οποία οφείλονται τόσο στην αφυδροξυλίωση του καολινίτη, όσο και στη διάσπαση του πλέγματος του σιδηρίτη, σύμφωνα με τις αντιδράσεις 1 και 2:



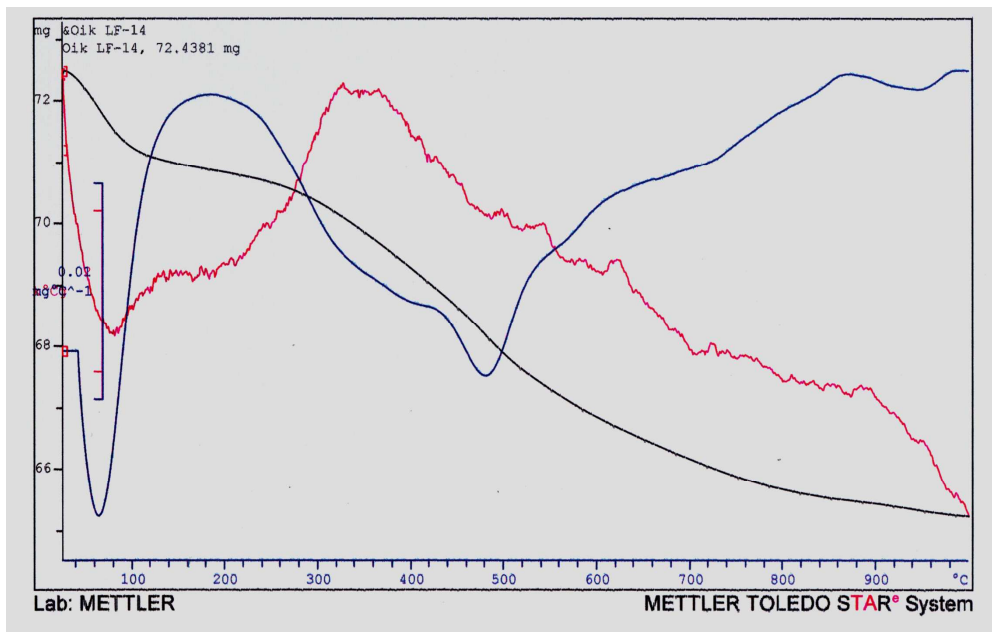
- Τα ενδόθερμα peaks στις υψηλότερες θερμοκρασίες οφείλονται στη διάσπαση του χλωρίτη και του μοσχοβίτη.

- Το εξώθερμο peak στους ~980 °C, με βάση την καμπύλη DTA, υποδηλώνει το μετασχηματισμό των κρυσταλλικών φάσεων.



Σχ. 54: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης (TG/DTG και DTA) αντιπροσωπευτικού δείγματος “ως έχει” από Αγλάδα “Ach -A9”.

Με τη μέθοδο της θερμικής ανάλυσης εξετάστηκαν και τα δείγματα από τις περιοχές Λόφοι “LF” και Νότιο Πεδίο της Πτολεμαΐδας “KNP 7”.

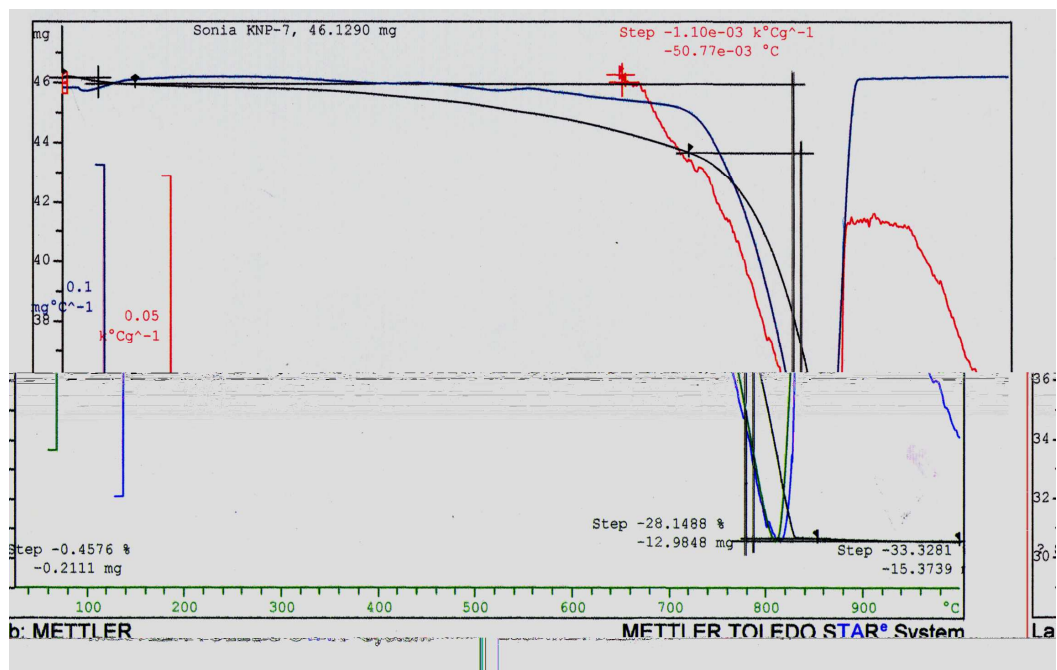


Σχ. 55: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης (TG/DTG και DTA) αντιπροσωπευτικού δείγματος “ως έχει” από τους Λόφους “LF 14”.

Από τη μεταβολή του βάρους που προέρχεται από την έκλυση του CO₂ του ασβεστίτη, είναι δυνατό να υπολογίσουμε την περιεκτικότητα του υλικού σε ασβεστίτη, σύμφωνα με την αντίδραση:



Έτσι, από το ενδόθερμο peak στους ~820 °C στην καμπύλη DTA (Σχ. 56), με απώλεια βάρους ~25 %, επιβεβαιώνεται η παρουσία του ασβεστίτη σε ποσοστό 60%, περίπου.



Σχ. 56: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης (TG/DTG και DTA) αντιπροσωπευτικού δείγματος “ως έχει” από το Νότιο Πεδίο “KNP 7”.

11.3.1.3. Εξέταση με φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR)

Η αξιολόγηση φασμάτων FT-IR δειγμάτων από τις περιοχές “Λόφοι” και “Αχλάδα” “LF και Ach”, όπως επίσης και από το κοίτασμα του Νοτίου Πεδίου της λεκάνης της Πτολεμαΐδας “KNP 7”, έγινε με βάση τα δεδομένα της βιβλιογραφίας (Van der Marel, 1976, Van Olphen and Fripiat, 1979).

Από τη μελέτη με φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας της καμπύλης FT-IR δειγμάτων από την περιοχή της Αχλάδας “Ach”, (Σχ. 57) διαπιστώθηκε, επίσης, η παρουσία των ορυκτών ιλλίτη, καολινίτη και χλωρίτη με βάση τις χαρακτηριστικές τους δονήσεις.

Συγκεκριμένα:

- Τα ίχνη των peaks στα $\sim 649, 534 \text{ cm}^{-1}$ οφείλονται στις δονήσεις Si-O-Al^{VI} (το Al σε οκταεδρική διάταξη), ενώ το ίχνος στα $\sim 468 \text{ cm}^{-1}$ οφείλεται στις δονήσεις τάσης Si-O-Si του πλέγματος των αργιλικών ορυκτών (Van Jaarsveld et al, 2002, Madejova J., 2002).

- Οι δονήσεις στα 1032 cm^{-1} και 1013 cm^{-1} οφείλονται στους δεσμούς Si-O-Si και Si-O-Al^{VI}, αντίστοιχα.

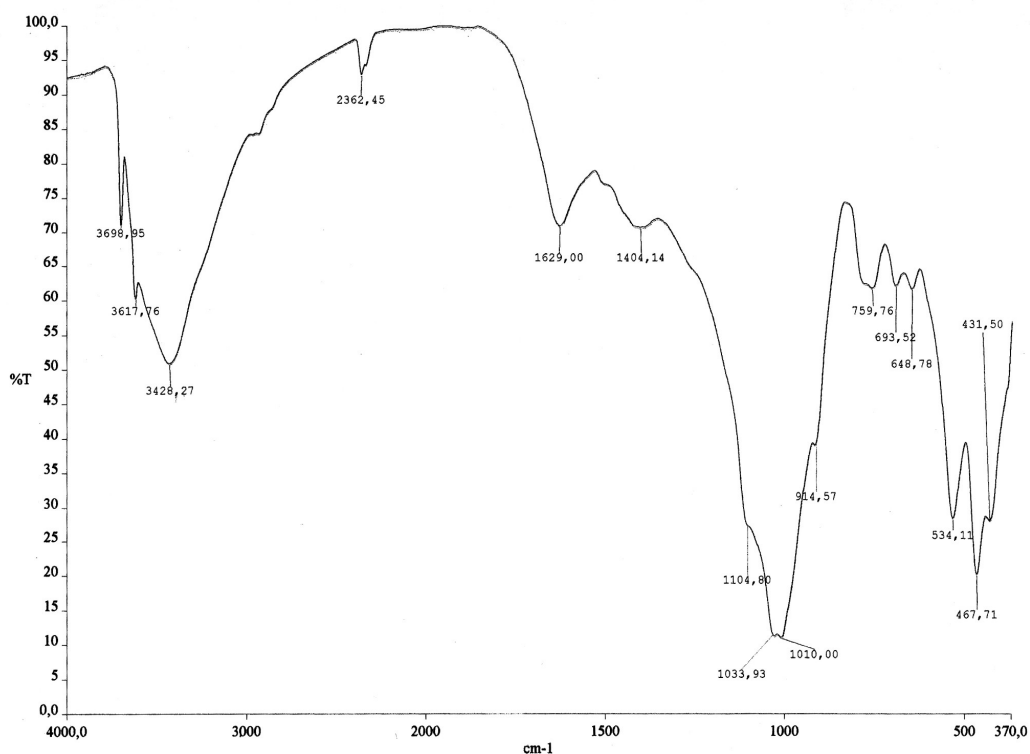
- Το peak στα $\sim 1104 \text{ cm}^{-1}$ οφείλεται στη δόνηση τάσης Si-O_{apical}.

• Οι δονήσεις στα 937 cm^{-1} και 915 cm^{-1} οφείλονται στις εξωτερικές και εσωτερικές OH-ομάδες του πλέγματος (Al-OH-Al), αντίστοιχα (Madejona, J., 2002, Deng et al, 2002).

• Το ισχυρό peak στα 3699 cm^{-1} αποδίδεται στις, εντός επιπέδου, συμμετρικές δονήσεις τάσης των OH-ομάδων, των οκταεδρικών φύλλων, τα οποία σχηματίζουν ασθενείς δεσμούς υδρογόνου με τα οξυγόνα της βάσης του επόμενου στρώματος (Balan et al., 2001), ενώ αυτό στα 3618 cm^{-1} αποδίδεται δονήσεις τάσης των OH-ομάδων που βρίσκονται μεταξύ των τετραεδρικών και οκταεδρικών φύλλων (Madejona, J., 2002).

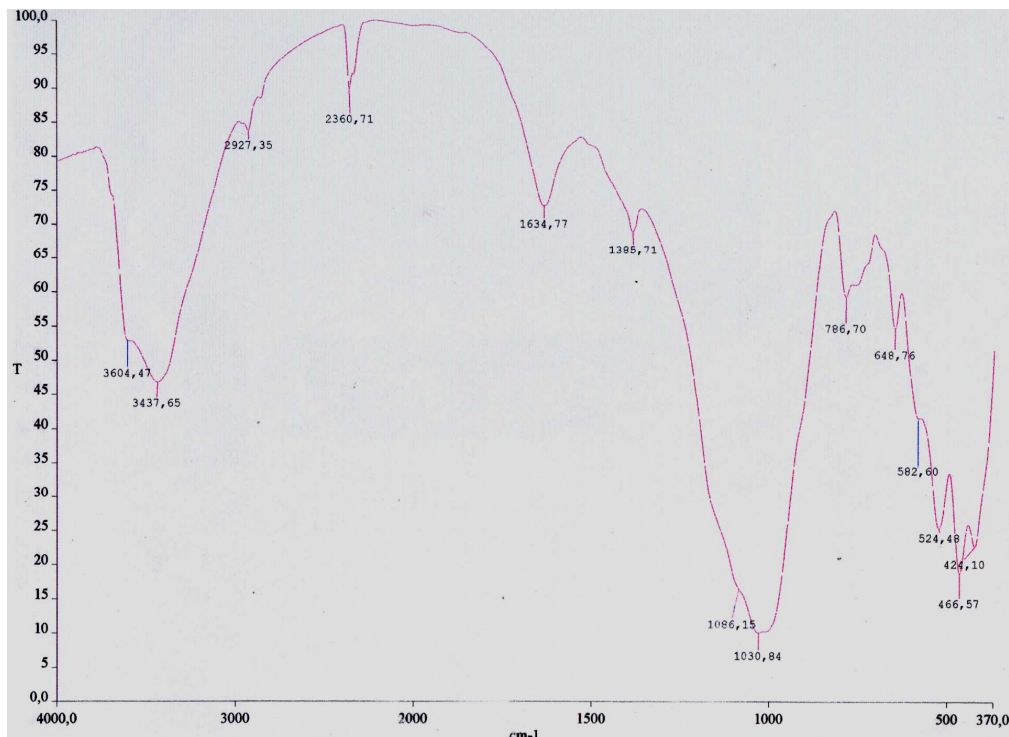
• Οι δονήσεις τάσης και κάμψης των OH του προσροφημένου νερού απαντούν στα 3428 και 1629 cm^{-1} , αντίστοιχα.

• Τέλος, οι δονήσεις στα ~ 1405 και $\sim 780\text{ cm}^{-1}$ αποδίδονται στην παρουσία του σιδηρίτη και του χαλαζία, αντίστοιχα.



Σχ. 57: Διάγραμμα υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR) αντιπροσωπευτικού δείγματος από την Αχλάδα “Ach-A9”.

Με βάση τα παραπάνω αξιολογούνται και τα φάσματα FT-IR δειγμάτων από τους Λόφους (Σχ. 57), δεδομένου ότι έχουν παρόμοια ορυκτολογική σύσταση με αυτή των δειγμάτων από την Αχλάδα.



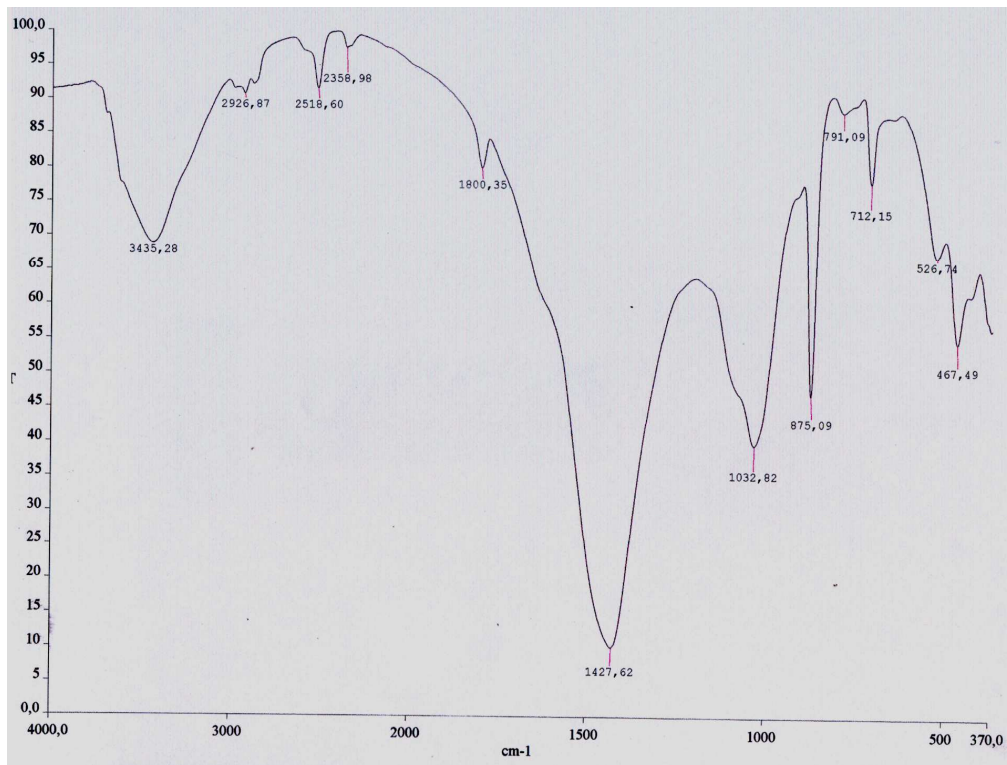
Σχ. 58: Φάσμα υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR) αντιπροσωπευτικού δείγματος από τους Λόφους “LF”.

Αντίθετα, από τη μελέτη με φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας της καμπύλης FT-IR δειγμάτων το κοίτασμα του Νοτίου Πεδίου της λεκάνης της Πτολεμαΐδας “KNP 7” (Σχ. 58), επιβεβαιώνεται η επικράτηση ανθρακικών ορυκτών, δεδομένου ότι:

Γενικά, οι ανθρακικές ρίζες δίνουν, κυρίως, μία ισχυρή δόνηση τάσης (ν_3) στα $\sim 1440 \text{ cm}^{-1}$ και μία δόνηση κάμψης (ν_2) στα $\sim 880 \text{ cm}^{-1}$.

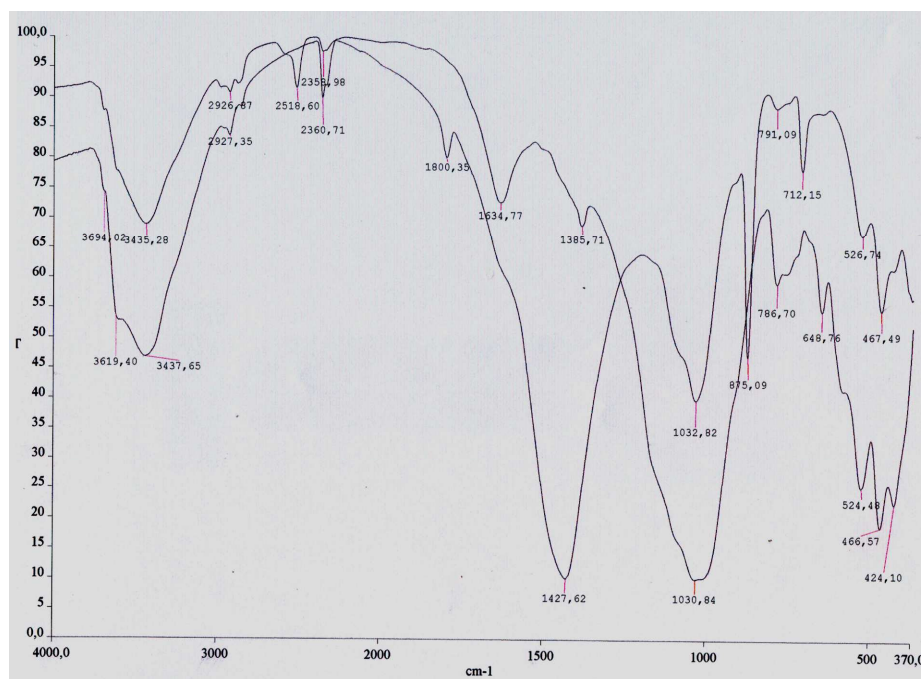
Στην συγκεκριμένη περιοχή, οι δονήσεις στα ~ 1427 και $\sim 875 \text{ cm}^{-1}$ αποδίδονται στην παρουσία του ασβεστίτη.

Τα υπόλοιπα peaks αποδίδονται στις χαρακτηριστικές δονήσεις των συνοδών ορυκτών (αργιλικών) και αξιολογούνται, όπως και στα δείγματα από την Αχλάδα.



Σχ. 59: Φάσμα υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR) αντιπροσωπευτικού δείγματος από το Νότιο Πεδίο “ΚΝΡ 7”.

Δεδομένου ότι, τα δείγματα από τους Λόφους “LF 14” και από το Νότιο Πεδίο “ΚΝΡ 7” παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις όσον αφορά στην ορυκτολογική τους σύσταση, δίνουν και διαφορετικά φάσματα υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR) (Σχ. 59).



Σχ. 60: Φάσματα υπέρυθρης ακτινοβολίας (FT-IR) αντιπροσωπευτικού δείγματος από Λόφους “LF-14” και “ΚΝΡ-7”.

12. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από όσα αναλυτικά εκτέθηκαν ανωτέρω, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Τα δείγματα από τους Λόφους και την Αχλάδα “LF και Ach” από την περιοχή της Φλώρινας, όπως επίσης και τα δείγματα από το κοίτασμα του Νοτίου Πεδίου της Πτολεμαΐδας “KNP 7”, διαφοροποιούνται όσον αφορά την ορυκτολογική τους σύσταση.

Συγκεκριμένα:

Τα δείγματα “LF” και Ach” από τη λεκάνη της Φλώρινας:

- Χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά (ιλλίτη-μοσχοβίτη, γλωρίτη και καολινίτη) από τα οποία επικρατεί ο ιλλίτης-μοσχοβίτης.

- Η περιεκτικότητα σε χαλαζία και άστριους είναι σχετικά χαμηλή.

- Από τα ανθρακικά ορυκτά, τα οποία εμφανίζονται σε πολύ μικρό ποσοστό, ταυτοποιήθηκε, κύρια, ασβεστίτης. Σε ακόμα μικρότερο ποσοστό συμμετέχει και ο σιδηρίτης.

Ας σημειωθεί ότι τα δείγματα από τους Λόφους εμφανίζουν υψηλότερο ποσοστό οργανικού υλικού, σε σχέση με αυτά της Αχλάδας.

Η συγκεκριμένη ορυκτολογική σύσταση, θεωρείται ότι συμβάλλει καθοριστικά, από κοινού με τους άλλους παράγοντες (νερό, κλίση, φόρτιση κλπ.), στην εκδήλωση της κατολισθητικών φαινομένων, εξαιτίας των ιδιοτήτων των αργιλικών ορυκτών.

Τα δείγματα από το κοίτασμα του Νοτίου Πεδίου στη λεκάνη της Πτολεμαΐδας “KNP 7” έχουν διαφορετική ορυκτολογική σύσταση.

Συγκεκριμένα:

- Στα δείγματα αυτής της περιοχής, επικρατούν τα ανθρακικά ορυκτά, από τα οποία προσδιορίστηκε ο ασβεστίτης (CaCO_3) σε ποσοστό 60%, περίπου.

- Τα αργιλικά ορυκτά (ιλλίτης-μοσχοβίτης, γλωρίτης και καολινίτης) απαντούν σε μικρότερα ποσοστά, σε σχέση με τις δύο άλλες περιοχές και με ακόμη πιο χαμηλά ποσοστά συμμετέχουν ο χαλαζίας και οι άστριοι.

- Χαρακτηριστική είναι και η έλλειψη διογκούμενων ορυκτών από όλες τις εξετασθείσες περιοχές, όπως διαπιστώθηκε έπειτα από τον κορεσμό των δειγμάτων με γλυκόλη.

Η ορυκτολογική σύσταση από το κοίτασμα του Νοτίου Πεδίου με την επικράτηση των ανθρακικών, όπως επίσης και τη μικρότερη περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά θεωρείται ως ευνοϊκότερος παράγοντας στην ευστάθεια των πρανών, δεδομένου ότι τα ανθρακικά δρουν ως συνδετικό υλικό.

Ας σημειωθεί ότι ο ασβεστίτης, ο χαλαζίας και οι άστριοι, ως υδρόφοβα ορυκτά εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση με τα όρια πλαστικότητας, υδαρότητας κ.λπ. Αντίθετα, τα φυλλοπυριτικά ορυκτά ως υδρόφιλα, εμφανίζουν θετική συσχέτιση με τα παραπάνω όρια και ως εκ τούτου θεωρούνται αρνητικός παράγοντας στην ευστάθεια των πρανών.

Κρίσιμη, επίσης, παράμετρος για την ευστάθεια των πρανών θεωρείται και η παρουσία οργανικής ύλης, η οποία απαντά στα ενδιάμεσα στείρα των λιγνιτοφοριών.

Το ποσοστό της οργανικής ύλης είναι μεγαλύτερο στα δείγματα από τους Λόφους.

Κρίνεται σκόπιμο (επιβεβλημένο) να γίνεται προκαταρκτική ορυκτολογική μελέτη, σε περιοχές που πρόκειται να εκμεταλλευτούν λιγνιτικά κοιτάσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Andronopoulos, B., 1982: The geological structure and the tectonic evolution, as factors of instability in the Pindos zone area (Greece). *Rock Mechanics*, Vol. 15, pp 41 – 54. Austria.
2. Αντωνού Α., 2008: Διερεύνηση της περιοχής του Υετού στην ευστάθεια πρανών μετά από πυρκαγιά, Αθήνα.
3. Bishop, A., 1955: The use of the slip circle in the stability of slopes. *Geotechnique*, 5, pp7 – 17.
4. Brindley, G., Brown, G., 1980: Crystal structures of Clay Minerals and their Identification. Mineralogical Society Monograph No. 5. Mineralogical Society, London.
5. Bromhead E.N., (1992), The stability of slopes, 2d edition, Chapman and Hall, London
6. Coch, K., Geohazards, N., 1995: Natural and human, Printice Hall, New Jersey.
7. Desio, A., 1959: *Geologia applicata alla ingegneria*. Hoepli, Milano.
8. ΔΕΗ ΑΕ, (2005): Ειδική Τεχνική Μελέτη Εφαρμογής.
9. Δούτσος, Θ., 2000: Γεωλογία - Αρχές και Εφαρμογές. Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστημίου Πατρών. Εκδόσεις Leather Books.
10. *Engineering Geology and Hydrogeology*, 2005: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας 1, 6^η Διάλεξη, Αθήνα.
11. Farmer, V., 1974: Mineralogical Society Monograph 4: The Infrared Spectra of Minerals.
12. Farmer V. 1971: The characterization of adsorption bands in clays by infrared spectroscopy. *Soil Science*, pp: 112.
13. Freitas, M. H. and Watters, R. J., 1973: Some Field Examples of Toppling Failure. *Geotechnique*, Vol. 23, No 4, pp. 495 – 514.
14. Grim, R.E., 1968: *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill, Inc., New York.
15. Heim, A., 1932: *Bergsturz und Menschenleben*. Pretz and Wasmuth Verlag, pp 218. Zurich.
16. Hoek, E., and Bray, J. W., 1977: *Rock Slope Engineering*. Institution of Mining and Metallurgy, London.

17. ΙΓΜΕ, (1983): Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Τομέας Γεωλογικών και Κοιτασματολογικών Ερευνών 1:500.000, Αθήνα.
18. Καβουνίδης Σ., 1988: Περί της προοδευτικής αστοχίας αργιλικών πρηνών, 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Αθήνα, pp:213-218.
19. Καβουρίδης, Κ., 2005: Η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην Ελλάδα με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Σημερινή κατάσταση-Προοπτικές. Λιγνίτης και φυσικό αέριο στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας, ΤΕΕ, Αθήνα, 9-10 Ιουνίου.
20. Καβουρίδης Κ., Ακύλας Ν., Λεοντίδης Μ., Ρούμπος Χ. (2000). Η κατανομή της ποιότητας λιγνίτη πολυστρωματικών κοιτασμάτων και οι τεχνολογικές δυνατότητες αναβάθμισής της, 3^ο συνέδριο ορυκτού πλούτου, Αθήνα, 22-24/11/2000.
21. Koukis, G., 1982: Mass movements in the Greek territory: a critical factor for environmental evaluation and development.. Proc. IV Int., Congress, IAEEG, Vol. III, thema 1, 223 – 243, New Delphi.
22. Κούκης, Γ., Ζιούρκας, Κ. (1989). Κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό Χώρο – Στατική θεώρηση, Ορυκτός Πλούτος, τεύχος 58, σελ. 39-58, Αθήνα.
23. Κούκης, Γ., Ζιούρκας, Κ. (1990): Ανάλυση πολυμεταβλητού συστήματος δεδομένων σχετικά με τις κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό Χώρο, Ορυκτός Πλούτος, τεύχος 69, σελ. 17-24.
24. Koukis, G., Ziourkas, C., (1991): Slope Stability phenomena in Greece: A statistical analysis, Bulletin of the Int. Assoc. of engineering geology, no 43, pp. 48-59.
25. Koukis, G., Tsiabaos, G., Sabatakis, N., (1994): Slope movements in the Greek territory: A statistical approach, Proceedings of 7th International Congress I.A.E.G., 4621-4628, Lisboa Portugal, Balkema.
26. Κούκης, Γ., Ρόζος, Δ., 1982: Γεωτεχνικές συνθήκες και κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο σε σχέση με τη γεωλογική δομή και γεωτεκτονική εξέλιξη. Ορυκτός Πλούτος, τ. 16.
27. Κούκης, Γ., 2002: Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας (Από τις παραδόσεις του καθηγητή Γ. Κούκη). Πάτρα.
28. Lambe T. W., Whitman R. V., (1979), Soil Mechanics, SI Version, John Wiley & Sons, New York.
29. Legget, R., 1965: Geology and Engineering. Mc Graw – Hill, New York.

30. Leonardos & Terezopoulos, 2003, Rim slopes failure kinematics in the greek deep lignite mines, pp: 2-3
31. Letourneur J., Michel, R., 1971: Geologie du genie civil. Lib. Ar. Colin, Paris.
32. Λοϊζος, Α., 1982: Εδαφομηχανική και Θεμελιώσεις - 'Ευστάθεια Πρανών', Αθήνα.
33. Λυκούδη Ε., 2005: Κατολισθήσεις - Ταξινόμηση Κατολισθήσεων, pp: 3
34. Mackenzie, R., 1957: The Differential Thermal Investigation of clays. Mineralogical Society (clay mineral group), London.
35. Madejova, J., 2003: FTIR techniques in clay mineral studies. Vibrational Spectroscopy, 2003, 31, pp: 1-10.
36. Μαρίνος, Π., 1995: Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας (Σημειώσεις από τις παραδόσεις στους σπουδαστές του 6^{ου} εξαμήνου Πολιτικών Μηχανικών 1994 - 1995). Αθήνα.
37. Μαρίνος, Π., 2006: "Τεχνική Γεωλογία Υπόγειων Έργων - Κατολισθήσεις – Καθιζήσεις. 2005 – 2006".
38. ΜΠΕ Μαυροπηγής –Ποντοκόμης, 2006
39. Nemcoc, 1977: Slope instability and sagging reactivation, Italy.
40. Penta, F., 1956: Sulla classifica delle frane interessanti l' ingegneria. La ricerca Scient. Roma.
41. Περράκη Θ., 2007: Βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα: Σημειώσεις, Ε.Μ.Π.
42. Ρόζος Δ. : Ανάλυση ευστάθειας πρανών: Γρήγορος μακροπρόθεσμος προσδιορισμός συντελεστού ασφαλείας, Άσκηση 10.
43. Ρόζος Δ., «Τεχνική Γεωλογία Ι», Αθήνα, 2007
44. Smykatz-Kloss, W., 1974: Differential Thermal Analysis. Application and results in Mineralogy. Springer-Verlang Berlin Heidelberg, New York
45. Σταματάκης Μ., 2009: Ενεργειακές Πρώτες Ύλες (Γ 0101), Εργαστηριακές Ασκήσεις
46. Στουρνάρας, Κ. Γ., 2005: Τεχνική Γεωλογία – Γεωλογία Τεχνικών Έργων – Ειδικά Μαθήματα Γεωλογικών Εφαρμογών. Αθήνα.
47. Stournaras, G., Papaspyrou, S., 1988: Settlement and creep phenomena caused by surface alteration and mineralogical modifications. Ann Geol Pays Hell 33, pp 309 – 325.

48. Stournaras, G., Tsimpidis, G., Tsoumanis, P., Yannatos, G., Guillaude, R., 1998: Instability Phenomena in the Neogene Deposits of Northern Peloponnesus, Greece. *Bull Eng Geol Env* 57, pp 65 – 68.
49. Thorez, J. 1975: *Phyllosilicates and Clay Minerals. A Laboratory Handbook for their X-ray Diffraction Analysis*. G. Lellotte, Dison. Belgium.
50. Tika T. E., Vaughan P.R. and Lemos L.J., (1996), Fast shearing of pre-existing shear zones in soil, *Geotechnique* , pp: 46, 2, 197-233
51. Van der Marel, 1976: *Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures*. Elsevier, Amsterdam.
52. Van Olphen and Fripiat, 1979: *Data handbook for clay materials and other non-metallic minerals*.
53. Varnes, D. J., 1958: *Landslide Types and Processes*. In *Landslides and Engineering Practice* (Eckel, E. B., ed.), HRB, Special Rept. 29, pp. 20 – 47.
54. Varnes, D. J., 1978: *Slope movement types and processes*. In *Landslides: Analysis and Control* (Schuster and Krizec ed.). National Academy of Sciences, Special Report 176, Washington, D. C.
55. Zaruba, Q., Mencl, V., 1969: *Landslides and their control*. Elsevier – Academia, , pp250. Amsterdam, Prague.
56. Zaruba, Q., and Mencl, V., 1976: *Engineering Geology*. Elsevier, pp 504, Amsterdam.
57. Χοινίδου, Ε., 2007: *Μελέτη και αξιοποίηση των μεθόδων αποκατάστασης του τοπίου και της βλάστησης διαταραγμένων περιοχών από μεταλλευτικές δραστηριότητες. Η περίπτωση του λιγνιτικού κέντρου Πτολεμαΐδας- Αμυνταίου, Πάτρα*.