

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας



Θέμα Διπλωματικής Εργασίας

Αξιολόγηση ποιοτικών χαρακτηριστικών εδαφών περιοχής Καρδίτσας-Τρικάλων ως προς την καταλληλότητά τους για εφαρμογές δομικών στοιχείων βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής

Αθανασία Κ. Σουλτανά

Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγητής Μαρκόπουλος Θεόδωρος (επιβλέπων)

Αναπληρωτής Καθηγητής Μανούτσογλου Εμμανουήλ

Επίκουρος Καθηγητής Αλεβίζος Γεώργιος

Χανιά

Σεπτέμβριος, 2010

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Πολυτεχνείου Κρήτης, του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, κ. Θεόδωρου Μαρκόπουλου και βασίζεται σε δεδομένα τα οποία προέκυψαν από πειραματικές διαδικασίες, οι οποίες διενεργήθηκαν στο εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του αυτού Πολυτεχνείου και Τμήματος.

Στην εργασία αυτή γίνεται αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών τριών εδαφικών δειγμάτων, που ελήφθησαν από συγκεκριμένες περιοχές των νομών Τρικάλων και Καρδίτσας ως προς την καταλληλότητά τους για εφαρμογές δομικών στοιχείων βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής.

Η ολοκλήρωση της εργασίας έγινε με τη βοήθεια ορισμένων ανθρώπων, τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω. Συγκεκριμένα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Θεόδωρο Μαρκόπουλο για την ουσιαστική βοήθειά του και την υπομονή του κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Επίκουρο Καθηγητή Αλεβίζο Γεώργιο και τον Αναπληρωτή Καθηγητή Μανούτσογλου Εμμανουήλ για τις καθοδηγήσεις τους και τις υποδείξεις τους. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Μηχανικό Ορυκτών Πόρων Πάολα Ροτόντο για τις χρήσιμες συμβουλές της και την συμπαράστασή της.

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος	1
Περίληψη	4
Κεφάλαιο 1	6
Εισαγωγή	6
1.1 Βιοκλιματική αρχιτεκτονική	6
1.2 Οικολογική δόμηση	9
1.3 Το έδαφος ως φυσικό δομικό υλικό-Εφαρμογές στην Ελλάδα	11
Κεφάλαιο 2	18
2.1 Δειγματοληψία	18
2.2 Μακροσκοπική περιγραφή των δειγμάτων	20
Κεφάλαιο 3	21
3.1 Μεθοδολογία αναλύσεων	21
3.1.1 Τετραμερισμός δειγμάτων	21
3.1.2 Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας	21
3.1.3 Κοκκομετρική ανάλυση εν ξηρώ	22
3.1.4 Υγρή κοκκομετρική ανάλυση με τη μέθοδο Bouyoucos	24
3.1.5 Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)	26
3.1.7 Προσδιορισμός ορίων Atterberg	31
3.1.8 Προσδιορισμός αντοχής δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη	36
3.2 Αποτελέσματα αναλύσεων για τα εδαφικά δείγματα	39
3.2.1 Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας	39
3.2.2 Κοκκομετρική ανάλυση εν ξηρώ	39
3.2.3 Υγρή κοκκομετρική ανάλυση με τη μέθοδο Bouyoucos	39

3.2.4 Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)	40
3.2.5 Ασβεστιμετρία	41
3.2.6 Προσδιορισμός ορίων Atterberg	42
3.2.7 Προσδιορισμός αντοχής δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη	43
3.3 Αποτελέσματα αναλύσεων ωμοπλίνθου	48
Κεφάλαιο 4	52
4.1 Συμπεράσματα	52
4.2 Προτάσεις	55
Βιβλιογραφία	56
Ιστογραφία	58
Παράρτημα	

Περίληψη

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση τριών εδαφικών δειγμάτων ως προς την καταλληλότητά τους για παραγωγή οικολογικών και αειφόρων δομικών στοιχείων για εφαρμογές βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής.

Τα δείγματα προέρχονται από το εδαφικό κάλυμμα της ευρύτερης περιοχής των νομών Τρικάλων-Καρδίτσας.

Η μελέτη τους επικεντρώθηκε στον προσδιορισμό των φυσικών τους χαρακτηριστικών και των μηχανικών τους ιδιοτήτων με τη βοήθεια αναλυτικών μεθόδων και εργαστηριακών δοκιμών σύμφωνα με ευρωπαϊκά και αμερικάνικα πρότυπα.

Συγκεκριμένα προσδιορίστηκαν:

- η ορυκτολογική τους σύσταση εκπεφρασμένη ημιποσοτικά με τη βοήθεια περιθλασιμετρίας ακτίνων X και προγράμματος λογισμικού επεξεργασίας των αποτελεσμάτων, καθώς και το ποσοστό του ασβεστίτη με τη βοήθεια ασβεστιμετρίας
- η κοκκομετρική τους διαβάθμιση με τη βοήθεια κοσκίνισης εν ξηρώ και υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης σε ογκομετρικούς σωλήνες με τη μέθοδο Bouyoucos
- τα όρια υδαρότητας-πλαστικότητας Atterberg με τη μέθοδο Casagrande και τη μέθοδο πενετρόμετρου πίπτοντος κώνου (Cone Test)
- η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη 30 κυβικών δοκιμίων ($5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$) των εδαφικών δειγμάτων ή μιγμάτων αυτών με πρόσθετα υλικά (άχυρο, χαλαζιακή άμμος) σε διαφορετικές αναλογίες

Ιδιαίτερα η παρασκευή δοκιμίων μιγμάτων των εδαφικών υλικών με άχυρο ή/και άμμο είχε ως σκοπό τη διερεύνηση βελτίωσης της μηχανικής τους συμπεριφοράς.

Επίσης λήφθηκε δομικός ωμόπλινθος από ένα παλιό εγκαταλειμμένο οίκημα (ηλικίας ~80 ετών) σε παραδοσιακό οικισμό πλησίον της περιοχής δειγματοληψίας εδάφους στο νομό Καρδίτσας με απώτερο στόχο τη σύγκρισή του με τα παραγόμενα εδαφικά δοκίμια. Ο ωμόπλινθος μελετήθηκε ως προς την ορυκτολογική του σύσταση, την κοκκομετρική του διαβάθμιση και την αντοχή του σε μονοαξονική θλίψη.

Τα μελετώμενα δείγματα ταξινομούνται σε λεπτόκοκκα αργιλώδη-ιλυώδη εδάφη με περιεκτικότητα σε άμμο 40-50%, ιλύ 30-40% και άργιλο 10-20%. Αποτελούνται κυρίως από: χαλαζία 30-40%, αστρίους ~10%, ασβεστίτη 2-20%, που υπάρχουν στην άμμο και κεροστύλβη 15-25%, χλωρίτη 7-10%, ιλλίτη 8-12% και μοντμοριλλονίτη 1-

10% που προέρχονται από το κλάσμα ιλύος και αργίλου. Το πιο συνεκτικό έδαφος βάσει των ορίων Atterberg προέρχεται από το νομό Τρικάλων.

Τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν από τα εδαφικά υλικά χωρίς πρόσθετα, παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μηχανική αντοχή, με μεγαλύτερη τιμή τα 4,6 MPa στο δοκίμιο από το δείγμα του νομού Καρδίτσας. Παρατηρήθηκε ότι η προσθήκη άμμου και άχυρου μείωσε αρκετά την τιμή της αντοχής των δοκιμίων. Η προσθήκη άχυρου στα δοκίμια δίνει καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης που ορίζουν μια πιο ελαστική συμπεριφορά.

Ο δομικός ωμόπλινθος από το νομό Καρδίτσας με διαστάσεις 33cm x13cm x9cm έχει παρασκευαστεί με έδαφος και μικρή προσθήκη άχυρου ~1.4%. Η ορυκτολογική του σύσταση είναι παρόμοια με αυτή των ληφθέντων δειγμάτων: χαλαζία 30%, αλβίτη 16%, κεροσίτλη 25%, ιλλίτη 13%, χλωρίτη 5%, αστρίους 5% και ασβεσίτη 6%. Η μηχανική του αντοχή είναι 1.1 MPa και οφείλεται στην προέλευση του εδαφικού υλικού παρασκευής του, στην παλαιότητά του και στην μακροχρόνια έκθεσή του σε περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Συνεκτιμώντας τα αποτελέσματα των πραγματοποιηθέντων δοκιμών, συσχετίζοντας τις τιμές των προσδιοριζόμενων φυσικών και μηχανικών τους χαρακτηριστικών και σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία για εδαφικά δομικά στοιχεία, τα εν λόγω δείγματα παρουσιάζονται να είναι κατάλληλα για την παραγωγή αργιλοσκυροδεμάτων και ωμοπλίνθων καθώς και την παραγωγή κονιαμάτων-επιχρισμάτων για αειφόρες βιοκλιματικές εφαρμογές.

Προτείνεται προκειμένου να εφαρμοστούν σε κατασκευή, να εκπονηθούν περαιτέρω έλεγχοι αξιολόγησης των ποιοτικών και τεχνικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων, σε διαμορφωμένα δοκίμια με πραγματικές διαστάσεις εφαρμογής όπως: η αντοχή τους σε κάμψη και εφελκυσμό, η αντοχή τους σε κύκλους ψύξης-θέρμανσης με την προσομοίωση κλιματικών συνθηκών, η θερμομονωτική τους συμπεριφορά και το ποσοστό διόγκωσης-συρρίκνωσης υλικού.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Ο κτιριακός τομέας στην Ελλάδα ευθύνεται για το 30% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας και συμβάλλει στην παραγωγή του 40% του διοξειδίου του άνθρακα. Το υψηλό αυτό ποσοστό, με τις γνωστές συνέπειες στη ρύπανση της ατμόσφαιρας, είναι δυνατόν να μειωθεί κατά πολύ, με τη λήψη κατάλληλων μέτρων και με την εφαρμογή του βιοκλιματικού και ενεργειακού σχεδιασμού και της οικολογικής δόμησης.

Η οικολογική δόμηση και η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αποτελούν δύο πρακτικές που έχουν σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση πόρων και ενέργειας, η πρώτη στην φάση της κατασκευής μιας κατοικίας ενώ η δεύτερη στην διατήρηση σταθερών συνθηκών διαβίωσης σε αυτήν. Και οι δύο καταλήγουν σε τεράστιο περιβαλλοντικό και οικονομικό όφελος. [1]

1.1 Βιοκλιματική αρχιτεκτονική

Η βιοκλιματική είναι κλάδος της αρχιτεκτονικής που λαμβάνει υπ' όψη τις επιταγές της οικολογίας και της βιωσιμότητας. Με τον όρο «βιοκλιματικός σχεδιασμός» εννοείται ο σχεδιασμός ο οποίος αποσκοπεί στην προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων. Το ζητούμενο είναι η ανέγερση κτιρίων, π.χ. βιομηχανικών μονάδων, κτιρίων γραφείων, κτιρίων κατοικίας, σχεδιασμένων έτσι ώστε αφενός να καλύπτονται πλήρως οι ενεργειακές τους ανάγκες και αφετέρου στο ετήσιο ισοζύγιο να είναι μηδενική η επιβάρυνση του περιβάλλοντος με εκπομπές βλαβερών για το περιβάλλον αερίων.

Επίσης, η ανέγερση κτιρίων, των οποίων οι ενεργειακές ανάγκες στον τομέα της θέρμανσης και της ψύξης να καλύπτονται πλήρως μέσω συστημάτων εκμετάλλευσης των γεωθερμικών ενεργειακών πόρων, όπου η αναγκαία για τις αντλίες θερμότητας ηλεκτρική ενέργεια να παράγεται μέσω φωτοβολταϊκών στοιχείων. Τέλος, η ανέγερση κτιρίων στο πλαίσιο του συνήθους κόστους των κατασκευών, αλλά με σεβασμό στους περιορισμένους πόρους του φυσικού περιβάλλοντος.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων ή βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά στον σχεδιασμό κτιρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών-υπαίθριων) με βάση το τοπικό κλίμα, συνήθως αναφερόμενο ως μικροκλίμα, με σκοπό την εξασφάλιση

συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες ανανεώσιμες πηγές, αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος.

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες της οικολογικής δόμησης, η οποία ασχολείται με τον έλεγχο των περιβαλλοντικών παραμέτρων στο επίπεδο των κτιριακών μονάδων μελετώντας τις ακόλουθες κατευθύνσεις:

- Τη μελέτη του δομημένου περιβάλλοντος και των προβλημάτων που αυτό δημιουργεί (αύξηση θερμοκρασίας, συγκέντρωση αέριων ρύπων, δυσκολία στην κυκλοφορία αέρα)
- Τον σχεδιασμό των κτιρίων
- Την επιλογή των δομικών υλικών, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις θερμικές και οπτικές τους ιδιότητες, όσο και την τοξικολογική τους δράση.

Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων αποτελούν τα παθητικά συστήματα, τα οποία αποτελούν δομικά στοιχεία ενός κτιρίου. Τα παθητικά συστήματα λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας και με φυσικό τρόπο θερμαίνουν, αλλά και δροσίζουν τα κτίρια. Χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης
- Παθητικά συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού
- Συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτιρίου συνεπάγεται τη συνύπαρξη και συνδυασμένη λειτουργία όλων των παραπάνω συστημάτων, ώστε να συνδυάζουν θερμικά και οπτικά οφέλη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Εκτός από τα παθητικά συστήματα, μια πολύ σημαντική μέθοδο εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα βιοκλιματικό κτίριο αποτελούν και τα ενεργητικά συστήματα, που χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα για τη θέρμανση ή το δροσισμό κτιρίων, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια ή τις φυσικές δεξαμενές ψύξης. Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι ηλιακοί συλλέκτες θέρμανσης ή παροχής ζεστού νερού χρήσης, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κλπ. Η εγκατάσταση όλων των παραπάνω συστημάτων αυξάνει ελαφρά το συνολικό κόστος κατασκευής του κτιρίου, το οποίο όμως αποσβένεται από την περιορισμένη χρήση μονάδων συμβατικής θέρμανσης και κλιματιστικών μονάδων.

Συγκεκριμένα, σαν πρώτη βιοκλιματική παράμετρος ορίζεται η μελέτη του μικροκλίματος της περιοχής στην οποία θα κατασκευαστεί ένα κτίριο. Τα κλιματικά δεδομένα που ενδιαφέρουν είναι οι μέσες θερμοκρασίες ανά μήνα, οι μέσες μέγιστες, οι μέσες ελάχιστες, αλλά και η σχετική υγρασία της περιοχής. Με αυτό τον τρόπο καταγράφονται οι εξωτερικές συνθήκες του τόπου προκειμένου να δημιουργηθεί ένα αυτοδύναμο σε θέρμανση κτίριο, που θα εξοικονομεί τμήμα της ενέργειας που χρειάζεται για τη λειτουργία του χωρίς να επιβαρύνει το περιβάλλον.

Σαν δεύτερη παράμετρος ορίζεται ο προσανατολισμός (ηλιακή γεωμετρία) για να διερευνηθούν οι συνθήκες ηλιασμού του κτιρίου. Βασικό στοιχείο αυτής είναι η μελέτη της διεύθυνσης των ηλιακών ακτίνων σε διαφορετικές ώρες και ημέρες σε όλη τη διάρκεια του έτους, ώστε να επιτευχθεί ελαχιστοποίηση της ζέστης και σκίαση χώρων το καλοκαίρι και βέλτιστη αεροστεγανότητα, ανεμοπροστασία και λιγότερες θερμικές απώλειες το χειμώνα. Η ποιότητα, το μέγεθος, το είδος, η θέση και ο σκιασμός των ανοιγμάτων (μπαλκονόπορτες, παράθυρα, θερμοκήπια) παίζουν σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό ενός βιοκλιματικού κτιρίου.

Ο τρόπος κατασκευής για την αποφυγή γεωμαγνητικών και ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών βλαβερών για τον ανθρώπινο οργανισμό είναι μια άλλη παράμετρος. Ο άνθρωπος δέχεται την κοσμική ακτινοβολία από τον ήλιο και το φεγγάρι και τη γήινη ακτινοβολία από την ίδια τη γη. Η επίδραση της γήινης ακτινοβολίας (που μελετάται από την επιστήμη της γεωβιολογίας) επιδρά άμεσα στην υγεία των κατοίκων ενός κτιρίου καθώς και στην συμπεριφορά και στην απόδοσή τους.

Άλλη σημαντική βιοκλιματική παράμετρος είναι ο φυσικός φωτισμός των κτιρίων - η πιο παραμελημένη στο σχεδιασμό των σύγχρονων σπιτιών. Η βελτιστοποίηση του φυσικού φωτισμού στοχεύει στη μείωση του ηλεκτρικού φορτίου που απαιτείται για τον τεχνητό φωτισμό και στη μείωση των ωρών χρήσης του.

Τέλος, η χρησιμοποίηση οικοδομικών υλικών φιλικών προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον, των χαρακτηρισμένων εγγυημένα «πράσινων». Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι η μικρή κατανάλωση ενέργειας και η περιορισμένη εκπομπή ρύπων κατά την παραγωγή τους, οι περιορισμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά την εφαρμογή τους, καθώς και η ανακύκλωση των αποβλήτων τους. [1]

1.2 Οικολογική δόμηση

Η οικολογική δόμηση είναι ένας αρκετά νέος όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια δομική προσέγγιση προσανατολισμένη στη χρήση τοπικών, προσεκτικά επιλεγμένων ή και ανακυκλωμένων υλικών, απλών εργαλείων και τεχνικών. Τα φυσικά δομικά υλικά εμπεριέχουν καθόλου ή ελάχιστη επεξεργασία και πέρα από τη μειωμένη τοξικότητα που παρουσιάζουν μετά την εφαρμογή τους στο κέλυφος του κτιρίου, εμφανίζουν και μια σειρά άλλων πλεονεκτημάτων, όπως η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την παραγωγή (π.χ. μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα) και το χαμηλό ενεργειακό τους περιεχόμενο.

Η επιλογή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή τη συντήρηση και τον εξοπλισμό ενός κτιρίου, εξαρτάται άμεσα από μια σειρά από οικονομικές, περιβαλλοντολογικές και ενεργειακές παραμέτρους. Ο κύκλος των εργασιών που συνδέεται με την παραγωγή και τη διακίνηση των δομικών υλικών είναι τεράστιος και κατ' επέκταση τα κριτήρια επιλογής των υλικών έχουν μεγάλη σημασία. Η διαδικασία παραγωγής των υλικών, ο κύκλος ζωής τους και η τελική τους διάθεση (απόρριψη) έχει σημαντικές επιπτώσεις στο γενικότερο περιβάλλον. [2]

Επίσης, η επιλογή των δομικών υλικών σχετίζεται πολλαπλώς με την διάσταση των κατασκευών, αφού η χρήση δομικών υλικών που δεν πληρούν ορισμένα κριτήρια μπορεί να επιφέρει:

- Κατασπατάληση φυσικών πόρων και ενέργειας.
- Διαταραχή του περιβάλλοντος από την εξόρυξη-ξύλευση των πρώτων υλών, την παραγωγή, μεταφορά και χρήση των δομικών υλικών.
- Επιδείνωση του εσωτερικού περιβάλλοντος των κατασκευών και ενίσχυση του «Συνδρόμου του άρρωστου κτιρίου», συνδρόμου που μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς την υγεία των ανθρώπων που ζουν ή εργάζονται σε ένα κτίριο.
- Πτώση της παραγωγικότητας των ανθρώπων που ζουν ή εργάζονται σε ένα κτίριο.
- Επιδείνωση του μικροκλίματος γύρω από ένα κτίριο.

Τα φυσικά δομικά υλικά θα πρέπει να μπορούν να ικανοποιούν ολικώς ή και μερικώς τις παρακάτω παραμέτρους.

- Τη μικρή ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών (εξαρτάται από την διαδικασία παραγωγής και μεταφοράς).
- Την ικανότητα του προϊόντος να ανακυκλώνεται (επαναχρησιμοποίηση του προϊόντος).
- Την επιλογή του χρόνου ζωής των υλικών.
- Τον έλεγχο της τοξικότητας των υλικών.
- Άλλες παραμέτρους που σχετίζονται με την οικολογική συμπεριφορά των υλικών, όπως οι εκπομπές των υλικών σε CO₂ και NO_x.

Τέτοια υλικά είναι η ωμή άργιλος, η θηραϊκή γη, το κεραμάλευρο, ο ασβέστης, το ξύλο, ο φελλός, το πλέγμα γιούτας, ο κετσές από καρύδα, η κόλλα από καουτσούκ, τα κεραμικά δάπεδα τύπου cotto, τα δάπεδα από λινόλαιο κλπ.

Συγκεκριμένα, η ωμή άργιλος κατάλληλα σχηματισμένη με τη μορφή ωμοπλίνθων ή χυτή σε καλούπια που μοιάζουν με αυτά του σκυροδέματος, αποκαλύπτεται ότι είναι ένα άριστο δομικό υλικό, όσον αφορά τη μηχανική ανοχή, τη θερμική μόνωση και τη δυνατότητα "αναπνοής" των εξωτερικών τοίχων. Ένα σπίτι από ωμοπλίνθους μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει το ίδιο σκάμμα για την θεμελίωση της ανωδομής, περιορίζοντας την επίπτωση των οικοδομικών εργασιών στο περιβάλλον.

Ο ασβέστης είναι ένα προϊόν που προτείνεται από τους υποστηρικτές της βιοοικοδομικής για κάθε τύπο επιφανειακών τελειωμάτων των τοίχων, επειδή "αναπνέει", επιτρέποντας έτσι μια σταθερή ανταλλαγή αέρα μεταξύ εσωτερικού χώρου και εξωτερικού περιβάλλοντος, ενώ είναι εύκολη η συντήρηση και η ανακατασκευή του στις ζώνες που υφίσταται φθορές με τον χρόνο.

Οι κόλλες από συνθετικές ρητίνες μπορούν να γίνουν πηγές επιβλαβών αναθυμιάσεων για τον άνθρωπο ενώ, η κόλλα από καουτσούκ είναι φυσικό προϊόν, ατοξικό, αρκετά σταθερή, που διατηρεί τις συγκολλητικές της ιδιότητες στον χρόνο.

Ο κετσές από καρύδα έχει πολλά πλεονεκτήματα σαν ηχομονωτικό υλικό σε επενδύσεις οροφών, όπου συμβάλλει σημαντικά στην απόσβεση των ταλαντώσεων και στην εξασθένιση της μετάδοσης των θορύβων. [1]

1.3 Το έδαφος ως φυσικό δομικό υλικό-Εφαρμογές στην Ελλάδα

Ένα φυσικό δομικό υλικό αποτελεί το έδαφος, το οποίο χρησιμοποιείται για την κατασκευή κτιρίων εδώ και χιλιάδες χρόνια. Πολιτισμοί όπως αυτοί των Περσών, των Ασσύριων, των Βαβυλωνίων και των Αιγύπτιων έκαναν χρήση αυτού του δομικού υλικού. Επιπλέον στην αρχαία Ελλάδα, η χρήση του εδάφους για την κατασκευή κτιρίων ήταν ευρεία. Παραδοσιακοί οικισμοί που βρέθηκαν στην Αθήνα, στην Πάφο και στην Ελευσίνα καθώς και σε άλλα μέρη της Ελλάδας όπως στην Άμφισσα και στο Γαλαξίδι, αποτελούν μαρτυρίες αυτού του γεγονότος. [3]

Οι αρχαίοι Έλληνες, για την κατασκευή των κτιρίων, φρόντιζαν να συγκεντρώσουν το κατάλληλο αργιλώδες έδαφος. Ελάμβαναν το έδαφος σε ορισμένο βάθος προκειμένου να είναι απαλλαγμένο από ρίζες φυτών, τα οποία μπορούσαν να προκαλέσουν διάφορα προβλήματα κατά τη δόμηση.

Το έδαφος αφού κοσκινιζόταν, αναμειγνυόταν με ποσότητα νερού και γινόταν πηλός. Η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιούσαν κάθε φορά δεν ήταν συγκεκριμένη, αλλά η πρόσθεσή του γινόταν εμπειρικά προκειμένου να έχουν ένα πηλό αρκετά πυκνόρρευστο. Για μεγαλύτερη συνοχή προσθέτανε στο μίγμα και ποσότητα τεμαχισμένου άχυρου ή ξηρού χόρτου.

Η μείξη των υλικών γινόταν μέσα σε μεγάλες λεκάνες, άλλοτε με τα χέρια ή τα πόδια και άλλοτε με ξύλινα εργαλεία. Όταν το μίγμα ήταν έτοιμο το έκοβαν σε κομμάτια και αν ήταν υγρό το τοποθετούσαν σε ξύλινα καλούπια. Στη συνέχεια, τα άφηναν να ξηραθούν στη σκιά για να μη δημιουργούνται ρωγμές και άρα να έχουν μεγαλύτερη αντοχή.

Οι ωμοί πλίνθοι που χρησιμοποιούσαν οι Έλληνες ήταν ως επί το πλείστον ορθογώνιοι. Είχαν μήκος ενάμισι πόδι (0.4572m) και πλάτος ίσο με ένα πόδι (0.3048m), ενώ υπήρχαν και πλίνθοι με άλλο σχήμα, που τοποθετούσαν σε ειδικές θέσεις ανάλογα με την επιθυμητή τελική μορφή, το σκοπό της τοιχοποιίας (ιδιωτικό κτίριο, περιτειχισμό πόλης) και το πάχος του τοίχου.

Στη Θεσσαλία, οι κυριότεροι τρόποι οικοδόμησης ήταν η οικοδόμηση με ωμόπλινθους και η οικοδόμηση με αχυροπηλό και πασσάλους. Στη δόμηση με αχυροπηλό και πασσάλους, οι πάσσαλοι βυθίζονταν περίπου 40 εκατοστά στο έδαφος και μεταξύ τους συνδέονταν με κλαδιά πάνω από τα οποία στερεώνονταν ο αχυροπηλός.

Η δόμηση με ωμόπλινθους ήταν αυτή που επικράτησε μέχρι τα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Οι πλίνθοι τοποθετούνταν σε στρώσεις είτε απευθείας στο έδαφος, είτε σε λίθινη θεμελίωση (Σχήμα 1).

Τα αρχιτεκτονικά στοιχεία της περιοχής διατηρήθηκαν σε καλή κατάσταση λόγω των περιβαλλοντικών συνθηκών και του υψηλού βαθμού υγρασίας. Κτίρια που κατασκευάστηκαν με ωμόπλινθους σώζονται μέχρι σήμερα (Σχήμα 2), (Σχήμα 3).



Σχήμα 1: Λίθινη θεμελίωση σε εγκαταλελειμμένο κτίριο σε περιοχή του Ν. Τρικάλων



Σχήμα 2: Εγκαταλελειμμένο κτίριο κατασκευασμένο με ωμόπλινθους (Ν. Τρικάλων)



Σχήμα 3: Εγκαταλελειμμένο κτίριο κατασκευασμένο με ωμόπλινθους (Ν. Τρικάλων)

Σήμερα η ανάγκη μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια είναι επιτακτική. Έτσι στην προσπάθεια αυτή, η Ελλάδα εφαρμόζει από το 1979 σχετικό κανονισμό θερμομόνωσης (ΦΕΚ 362/4-7-79) όπου διαιρεί την χώρα σε 3 ζώνες ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν και καθορίζει τα βασικά στοιχεία θερμομονωτικού σχεδιασμού. Ο νόμος αυτός ο οποίος χαρακτηρίστηκε ελλιπής αντικαταστάθηκε από νέο που εναρμονίζεται με την σχετική κοινοτική οδηγία 2002/91/EK (άρθρο 15) για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Σύμφωνα με το Νόμο 3661 - «Μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων» (ΦΕΚ 89/19-05-2008), ο οποίος προβλέπει την έκδοση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης των κτιρίων, η Ελλάδα πλέον εναρμονίζεται με την σχετική κοινοτική οδηγία 2002/91/EK (άρθρο 15) για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.

Εκτιμάται ότι σήμερα, περισσότερος από τον μισό πληθυσμό της γης, μένει σε κτίρια κατασκευασμένα με έδαφος. Τέτοια κτίρια υπάρχουν στην Αφρική, στη μέση Ανατολή, στη Λατινική Αμερική και στην Κίνα. Στην Ευρώπη υπάρχουν στη Σουηδία, στη Δανία, στη Γερμανία, στη Μεγάλη Βρετανία και στην Ισπανία. Οι κατασκευές αυτές εκτείνονται από τις πιο στοιχειώδεις και απλές, χειρωνακτικές και ερασιτεχνικές, μέχρι τις πιο εξεζητημένες μηχανοποιημένες και βιομηχανικές.

Οι τεχνικές που εφαρμόζονται σήμερα είναι η δόμηση με πλίνθους (adobe), η δόμηση με κομπ (cob), η δόμηση με ρευστή γη (poured earth), η δόμηση με αργιλοσκυρόδεμα (rammed earth) και η δόμηση με αχυροπηλό (light clay straw).

Συγκεκριμένα, στη δόμηση με πλίνθους, οι πλίνθοι έχουν συνήθως σχήμα παραλληλεπίπεδο και κτίζονται όπως τα τούβλα. Το ιδανικό έδαφος για πλίνθους περιέχει άργιλο σε ποσοστό 10%-40% για συνοχή, ενώ το υπόλοιπο είναι επί το πλείστον αμμώδες ή με μικρά χαλίκια. Ιδιαίτερα το ιδανικό έδαφος περιέχει: άμμο 10-40%, ιλύ 20-40% και άργιλο 10-40%. [4] Η καταλληλότητα του εδάφους ελέγχεται πριν την εφαρμογή με μεθόδους που εφαρμόζονται στην ύπαιθρο. Σε κάποιες περιπτώσεις προστίθεται μία μικρή ποσότητα τσιμέντου για να το σταθεροποιήσει, ενώ σε κάποιες άλλες μία επικάλυψη από άσφαλτο, το προστατεύει από τα καιρικά φαινόμενα. Επιπλέον γίνεται και επικάλυψη με υδράσβεστο με σκοπό την υδατοστεγανότητα των πλίνθων. Τα πλίνθινα κτίρια με σωστά επιχρίσματα χρειάζονται γενικά πολύ λιγότερη συντήρηση από τα εκτεθειμένα.

Στη δόμηση με κομπ σκοπός είναι να σχηματιστούν μάζες πηλού, αναμεμιγμένου με άμμο και άχυρο, οι οποίες τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη διαμορφώνοντας έτσι μονολιθικές κατασκευές με μεγάλη σταθερότητα. Η διαφορά του κομπ από το κτίσιμο με πλίνθους συνίσταται στην ευκολία της κατασκευής και την ελευθερία του σχεδιασμού. Εφόσον δεν απαιτούνται ίσιες φόρμες ή καλούπια το ίδιο το υλικό οδηγεί σε οργανικά σχήματα: καμπύλοι τοίχοι, θόλοι και αψίδες.

Η δόμηση με ρευστή γη είναι όμοια με το κοινό μπετόν γιατί τα υλικά αναμιγνύονται με τον ίδιο τρόπο χρησιμοποιώντας τσιμέντο σαν συνδετικό υλικό. Γίνεται με διαμόρφωση κυλινδρικών τμημάτων με γάζα, η οποία πληρώνεται με το εδαφικό μίγμα. Η μόνη διαφορά είναι ότι αντί για την άμμο και τα χαλίκια που χρησιμοποιούνται για το μπετόν, εδώ χρησιμοποιείται έδαφος. Επίσης, χρησιμοποιείται

λιγότερο τσιμέντο. Δεν απαιτείται ιδιαίτερη συντήρηση σε αυτούς τους τοίχους καθώς έχουν αυξημένη αντίσταση στον ήλιο και τη βροχή.

Η δόμηση με αργιλοσκυρόδεμα είναι αρκετά όμοια με τα πλιθιά και το κομπ στο ότι το μείγμα είναι κυρίως, άμμος και πηλός. Η διαφορά είναι ότι το υλικό συμπιέζεται σε καλούπια, τα οποία συνήθως δημιουργούν πολύ επίπεδες και κάθετες επιφάνειες. Συνήθως χρησιμοποιούνται βαριά μηχανήματα για να μετακινήσουν και να συμπιέσουν το υλικό. Οι τοίχοι έχουν τουλάχιστον 35 εκατοστά φάρδος για να είναι σταθεροί και να έχουν ικανοποιητική θερμική μάζα. [5] Η κοκκομετρική διαβάθμιση και τα όρια Atterberg του ιδανικού εδάφους για τη δόμηση με αργιλοσκυρόδεμα, φαίνεται στον Πίνακα 1. Για τη δόμηση με πλίνθους και για τη δόμηση με αργιλοσκυρόδεμα οι τιμές των αντοχών φαίνονται στον Πίνακα 2.

Κοκκομετρική Διαβάθμιση	Όρια Atterberg
Αργίλος και Ιλύς < 45%	LL < 40%
Άμμος > 33%	10 < PL < 25
ή καλύτερα	
Αργίλος και Ιλύς < 30%	12 < PL < 20
	PI = 6–22%

Πίνακας 1: Κοκκομετρική διαβάθμιση και όρια Atterberg ιδανικού εδάφους για δόμηση με αργιλοσκυρόδεμα [4]

Rammed earth (N/mm²)	Adobe (N/mm²)	Αντοχή
0.6	0.75	Χαμηλή
1.2	1.5	Μέση
1.8	2.25	Υψηλή

Πίνακας 2: Τιμές αντοχών για τη δόμηση με πλίνθους και για τη δόμηση με αργιλοσκυρόδεμα [4]

Η δόμηση με αχυροπηλό χρησιμοποιείται για τοιχοποιίες που δεν φέρουν φορτία. Κατασκευάζεται από άχυρα, τα οποία αναμειγνύονται με πηλό. Το άχυρο εμποτίζεται με υδαρή πηλό και στη συνέχεια συμπιέζεται σε καλούπια με μέγιστο ύψος 0.50 μέτρα. Πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η ταχύτητα κατασκευής και η εξαιρετική θερμομόνωση. Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγεται το υψηλότερο κόστος κατασκευής λόγω της ανάγκης χρήσης σκελετού στο κτίριο. [5]

Σήμερα, οι σύγχρονοι ωμόπλινθοι είναι μια μορφή του κλασσικού πλίνθου που κατασκευάζεται με σύγχρονα μέσα και τεχνικές, δηλαδή ο σύγχρονος ωμόπλινθος είναι ένα συμπιεσμένο τούβλο (compressed earth brick) από έδαφος (Σχήμα 4), ενώ τα νέα οικοδομήματα δεν μοιάζουν σε τίποτα με αυτά του προηγούμενου αιώνα (Σχήμα 5), (Σχήμα 6).



Σχήμα 4:Μορφή σύγχρονου ωμόπλινθου



Σχήμα 5: Σύγχρονο οικοδόμημα με ωμόπλινθους



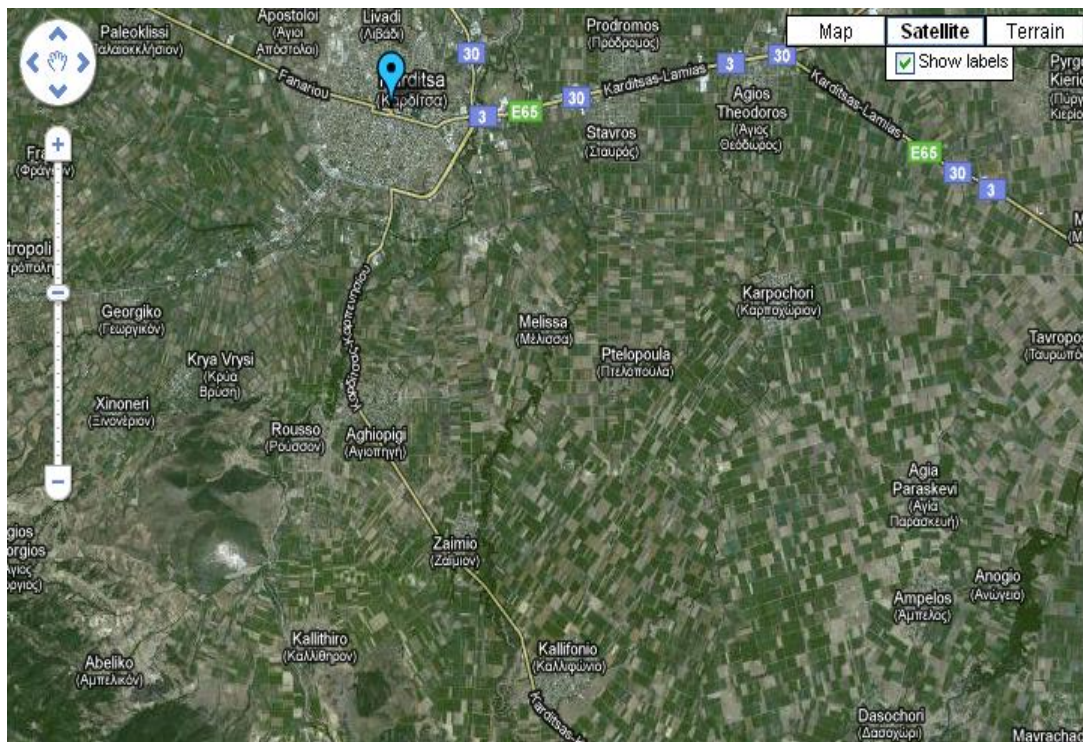
Σχήμα 6: Σύγχρονο οικοδόμημα με ρευστή γη

Κεφάλαιο 2

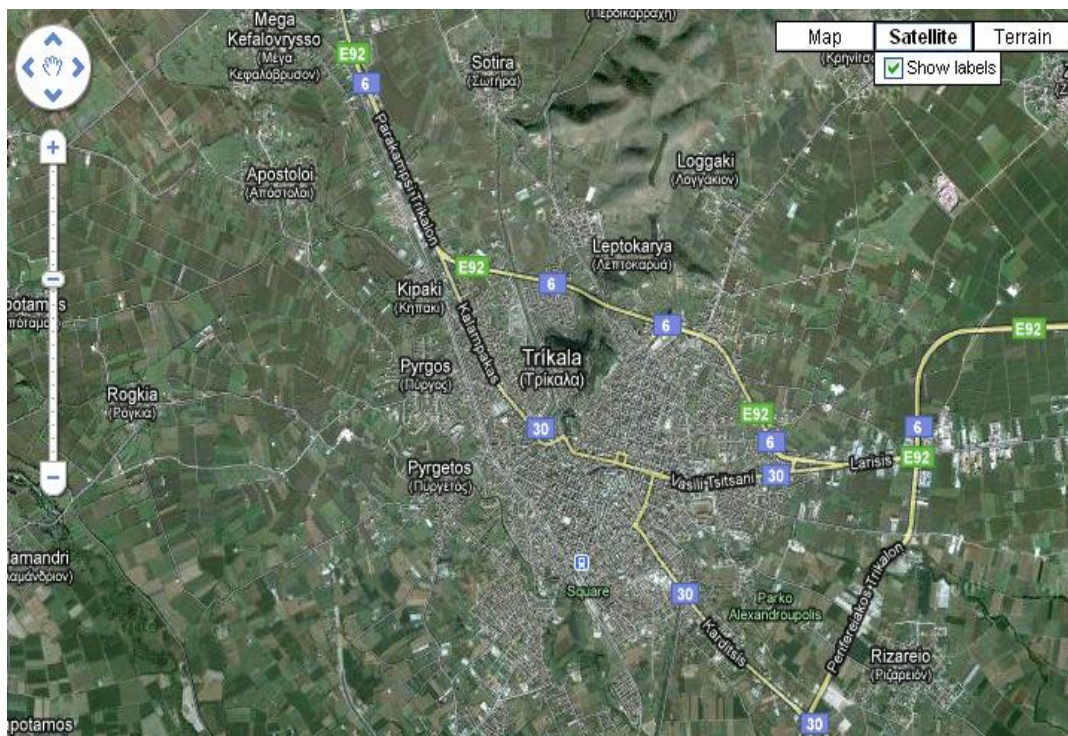
2.1 Δειγματοληψία

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για τρία εδαφικά δείγματα τα οποία προήλθαν από την περιοχή της Θεσσαλίας. Επιπλέον πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις και για έναν ωμόπλινθο ο οποίος ελήφθη από παλιό εγκαταλειμμένο οίκημα από την ίδια περιοχή και χρονολογικά αντιστοιχεί στις αρχές του προηγούμενου αιώνα. Αυτές οι αναλύσεις για τον ωμόπλινθο έγιναν με σκοπό να μπορέσει να υπάρξει σύγκριση μεταξύ αυτού και των τριών δειγμάτων ως προς την ορυκτολογική τους σύσταση, αλλά και τις μηχανικές τους ιδιότητες.

Τα εδαφικά δείγματα είναι δύο δείγματα από το νομό Καρδίτσας και ένα δείγμα από το νομό Τρικάλων. Όσον αφορά στα δείγματα από το νομό Καρδίτσας το ένα ελήφθη από την ευρύτερη περιοχή του χωριού Μέλισσα (K1) και το άλλο από την ευρύτερη περιοχή του χωριού Σταυρός (K2), (Σχήμα 7). Το τρίτο δείγμα ελήφθη από την περιοχή Κηπάκι, συνοικία της πόλης των Τρικάλων (T), (Σχήμα 8).



Σχήμα 7: Περιοχή δειγματοληψίας-Ευρύτερη περιοχή των χωριών Μέλισσα και Σταυρός



Σχήμα 8: Περιοχή δειγματοληψίας-Συνοικία Κηπάκι Τρικάλων

Ωμόπλινθος (Σχήμα 9) από την ευρύτερη περιοχή των χωριών Μέλισσα και Σταυρός χρησιμοποιήθηκε για τις αναλύσεις, είχε βάρος 4.73 kg, μήκος 33.15 cm, πλάτος 12.57 cm, ύψος 8.26 cm και ήταν παρασκευασμένος από έδαφος που προέρχεται από την περιοχή δειγματοληψίας των δειγμάτων K1 και K2, ενώ περιείχε τεμαχισμένο άχυρο σε περιεκτικότητα ~1.4% κ.β.



Σχήμα 9: Ωμόπλινθος που χρησιμοποιήθηκε για τη πειραματική διαδικασία

2.2 Μακροσκοπική περιγραφή των δειγμάτων

Τα εδαφικά δείγματα ήταν λεπτόκοκκα και απαλλαγμένα από ρίζες φυτών, καθώς τα δείγματα T και K1 ελήφθησαν από ανοιχτή εκσκαφή και το δείγμα K2 ελήφθη από βάθος μεγαλύτερο του 1 m. Το δείγμα K2 είχε ερυθρό χρώμα, ενώ τα δείγματα T και K1 είχαν χρώμα καστανό. Και τα τρία δείγματα είχαν συσσωματώματα εδάφους, ενώ δεν περιείχαν χαλίκια.

Ο ωμόπλινθος είχε χρώμα ανοιχτό καστανό. Η επιφάνεια του είχε επίχρυσμα από ασβέστη, ενώ είχε τραχεία υφή λόγω του άχυρου που περιείχε.

Κεφάλαιο 3

3.1 Μεθοδολογία αναλύσεων

3.1.1 Τετραμερισμός δειγμάτων

Το προς εξέταση δείγμα αδειάζεται προσεκτικά σε μια επίπεδη επιφάνεια ώστε να σχηματιστεί ένας κώνος. Στη συνέχεια, με ένα φτυάρι ή μία σπάτουλα, ανακατεύεται το δείγμα παίρνοντας υλικό από τη βάση του κώνου και ρίχνοντάς το στην κορυφή του.

Με το φτυάρι ή την σπάτουλα επιπεδώνεται η κορυφή του κώνου και χωρίζεται το υλικό σε τέσσερα τεταρτημόρια. Απομακρύνονται τα δύο κατά κορυφή τεταρτημόρια και κρατάμε το υλικό των δύο άλλων.

Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία άλλη μία φορά έτσι που το τελικό, προς εξέταση δείγμα, να είναι το ένα τέταρτο περίπου του αρχικού δείγματος και όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικό.

3.1.2 Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας

Περιγραφή της μεθόδου

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

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

Ως φυσική υγρασία ορίζεται η περιεχόμενη υγρασία ενός εδαφικού δείγματος στην φυσική του κατάσταση.

Διαδικασία εκτέλεσης

Χρησιμοποιούνται κάψες (γυάλινες ή μεταλλικές) για την τοποθέτηση των δειγμάτων και ζυγός ακριβείας (0.1 g) και η δοκιμή γίνεται ως εξής:

- Ζυγίζεται η άδεια κάψα η οποία προηγουμένως έχει καθαριστεί από τυχόν ρύπους.
- Το εδαφικό δείγμα τοποθετείται στην κάψα. Επιθυμητό είναι να γεμίζει όλη η κάψα με το δείγμα.

- Ζυγίζεται το δείγμα (το οποίο περιέχει υγρασία) μέσα στην κάψα. Το βάρος είναι αυτό της κάψας, των εδαφικών κόκκων και της περιεχόμενης υγρασίας.
- Ξηραίνουμε το δείγμα σε φούρνο στους 105°C , μέχρι σταθεροποίησης του βάρους (ολική ξήρανση).
- Ζυγίζεται το αποξηραμένο δείγμα και η κάψα.

Η διαφορά του βάρους πριν την ξήρανση μείον το βάρος μετά την ξήρανση δίνει την περιεχόμενη υγρασία (W_w) σε g. Η διαφορά του βάρους μετά την ξήρανση μείον το βάρος της κάψας δίνει το βάρος των στερεών (W_s) σε g. Εφαρμόζουμε την παραπάνω σχέση για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας.

3.1.3 Κοκκομετρική ανάλυση εν ξηρώ

Περιγραφή της μεθόδου

Η μέθοδος αφορά στον προσδιορισμό της κατανομής του μεγέθους των κόκκων σε λεπτόκοκκα ή χονδρόκοκκα εδάφη με τη χρησιμοποίηση κοσκίνων τετραγωνικών ή κυκλικών οπών (*Σχήμα 10*).

Τα απαιτούμενα όργανα είναι τα εξής:

- Δοχεία (πλαστικά ή μεταλλικά)
- Ζυγός ακριβείας 1/1000 (0.1%) του βάρους του προς εξέταση δείγματος
- Εργαστηριακά κόσκινα

Τα κόσκινα αυτά είναι κατασκευασμένα από κυλινδρικό μεταλλικό (ατσάλινο ή ορειχάλκινο) πλαίσιο διαμέτρου 200, 203mm (8 in) ή 300mm. Η επιφάνεια κοσκινίσματος είναι κατασκευασμένη από συρμάτινο πλέγμα με οπές τετραγωνικής μορφής. Ο αριθμός και ο τύπος που θα χρησιμοποιηθούν καθορίζεται από τους ισχύοντες κανονισμούς σε κάθε κράτος.

Στη χώρα μας τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα κόσκινα, αυτά που υιοθετούν και οι σχετικοί κανονισμοί, είναι :

- Η σειρά των αμερικανικών κόσκινων ή αμερικάνικα κόσκινα, όπως αυτά περιγράφονται στο πρότυπο ASTM E11. Τα κόσκινα αυτά φέρουν οπές τετραγωνικής μορφής από πλέγμα και συμβολίζονται, είτε με τον αριθμό των οπών που φέρουν ανά γραμμική ίντσα για τα πιο λεπτά (μέχρι το No.4), είτε με

βάση το άνοιγμα της οπής σε ίντσες για τα μεγαλύτερου ανοίγματος. Έτσι το κόσκινο 3/4 in ή 3/4" δηλώνει αμερικάνικο κόσκινο οπής 3/4 της ίντσας (19mm περίπου). Αντίστοιχα, η ονομασία No.12 δηλώνει αμερικάνικο κόσκινο που φέρει 12 οπές ανά γραμμική ίντσα (1 in=2.54cm).

- Η σειρά των γερμανικών κόσκινων ή γερμανικά κόσκινα, όπως αυτά περιγράφονται στα DIN 4187 και 4188, φέρουν οπές τετραγωνικής μορφής και συμβολίζονται με το σύμβολο π, που ακολουθείται από ένα αριθμό, που δηλώνει το άνοιγμα της οπής σε mm. Τα γερμανικά κόσκινα που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής: πλέγματος: 0.25 , 0.50 , 1 , 2mm και ελάσματος: 4 , 8 , 16 , 31.5 , 63 mm.



Σχήμα 10: Συσκευή κοσκινίσματος και κόσκινα

Διαδικασία εκτέλεσης

Δείγμα εδάφους συνήθως μετά ξήρανση, κοσκινίζεται μέσα από μια σειρά κοσκίνων και καταγράφεται το βάρος που συγκρατείται ή διέρχεται από κάθε κόσκινο έτσι όπως περιγράφεται παρακάτω. Το προς εξέταση δείγμα τοποθετείται στο κόσκινο με τη μεγαλύτερη οπή, από το οποίο, ανάλογα με το είδος του δείγματος, να διέρχεται όλη η ποσότητα.

Στη συνέχεια, με οριζόντιες και κάθετες κινήσεις, που περιοδικά συνοδεύονται με προσεκτικές ανατινάξεις του δείγματος, γίνεται το κοσκίνισμα του υλικού. Το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο συλλέγεται σε κατάλληλες πλατύστομες λεκάνες.

Το κοσκίνισμα θεωρείται ότι έληξε όταν, τοποθετώντας ένα άσπρο χαρτί κάτω από το κόσκινο, διαπιστώσουμε ότι δεν διέρχεται άλλο υλικό.

Η διαδικασία του κοσκινίσματος, όπως αυτή περιγράφηκε παραπάνω, μπορεί να γίνει και με ειδικές μηχανές κοσκινίσματος. Στις συσκευές αυτές τα κόσκινα τοποθετούνται το ένα επάνω στο άλλο με το κόσκινο μεγαλύτερης οπής στην κορυφή και υποδοχέα συλλογής του λεπτότερου υλικού στο τέλος. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί η χρήση των μηχανών αυτών για την διαπίστωση της λήξης του κοσκινίσματος.

Η ποσότητα του υλικού που παρέμεινε σε κάθε κόσκινο καλείται συγκρατούμενο και αυτή που πέρασε διερχόμενο. Τα συγκρατούμενα σε κάθε κόσκινο, ζυγίζονται με ακρίβεια και το βάρος τους καταγράφεται. Στη συνέχεια, με υπολογισμούς βρίσκουμε το διερχόμενο βάρος και το % ποσοστό του διερχόμενου. Η διαδικασία αυτή ακολουθείται και στα επόμενα κόσκινα.

Τέλος, τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης αποτυπώνονται στο κοκκομετρικό διάγραμμα. Στο διάγραμμα αυτό στον οριζόντιο άξονα τοποθετείται η διάμετρος της οπής των κόσκινων και στον κατακόρυφο το ποσοστό του διερχόμενου υλικού. Ο οριζόντιος άξονας είναι σε λογαριθμική κλίμακα για τον λόγο ότι είναι επιθυμητή η ανάπτυξη της περιοχής των μικρών διαμέτρων. Η συνένωση των σημείων του διαγράμματος δίνει μια πολυγωνική γραμμή που καλείται κοκκομετρική καμπύλη.[6]

3.1.4 Υγρή κοκκομετρική ανάλυση με τη μέθοδο Bouyoucos

Περιγραφή της μεθόδου

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στους διαφορετικούς χρόνους καθίζησης των κλασμάτων του προς ανάλυση δείγματος σε ογκομετρικό κύλινδρο, βάσει της κοκκομετρίας τους. Οι μεγάλοι κόκκοι θα καθιζήσουν στο πυθμένα του κυλίνδρου πρώτοι και οι μικροί τελευταίοι. Άρα οι διαφορές που παρατηρούνται κατά τη μέτρηση της πυκνότητας του αιωρήματος σε ορισμένα χρονικά διαστήματα δίνουν την καθίζηση των αιωρούμενων κόκκων και τελικά αποκαλύπτουν το μέγεθός τους.

Απαιτούμενες ποσότητες υλικού:

- Για συνεκτικά εδάφη χωρίς άμμο 30 έως 50 gr
- Για συνεκτικά εδάφη με άμμο 75 gr
- Για καθαρή άργιλο από 10 έως 30 gr

Για την ανάλυση απαιτούνται:

- Αραιόμετρο (υδρόμετρο) Casagrande
- Ογκομετρικός κύλινδρος 1000 ml $\varnothing < 60$ mm
- Θερμόμετρο
- Αναδευτήρας (Mixer)
- Ζυγός ακριβείας 0.01 gr
- Χρονόμετρο
- Σπάτουλα
- Υλικό διασποράς (NaOH, NaCO₃, Μεταπυριτικό νάτριο, κλπ)
- Απεσταγμένο νερό

Διαδικασία εκτέλεσης

Το δείγμα επεξεργάζεται σε λεκάνη πορσελάνης 100 cm³ με απεσταγμένο νερό και τοποθετείται στο mixer. Προστίθενται σ' αυτό 2-3 σταγόνες υλικού διασποράς και το υλικό ανακατεύεται για 20-30 min.

Το δείγμα μεταφέρεται ξεπλένοντας το δοχείο, στον ογκομετρικό κύλινδρο και συμπληρώνεται με απεσταγμένο νερό, μέχρι τη γραμμή των 1000 ml. Αναποδογυρίζεται ο κύλινδρος πολλές φορές και τοποθετείται στο τραπέζι τοποθετώντας ταυτόχρονα στον κύλινδρο το αραιόμετρο και θέτοντας σε λειτουργία το χρονόμετρο παίρνοντας ενδείξεις της στήλης του αραιομέτρου στα 40 sec και στις 2h, χωρίς να αφαιρείται το αραιόμετρο (Σχήμα 11).

Αφαιρείται στη συνέχεια το αραιόμετρο, ξεπλένεται και καταγράφεται η θερμοκρασία του διαλύματος. Η διάμετρος των κόκκων που καθιζάνουν στον πυθμένα του δοχείου και αντιστοιχεί στην αντίστοιχη μέτρηση του αραιομέτρου, υπολογίζεται από ένα μικρό υπολογιστικό πρόγραμμα στο excel, όπου βάσει των χρόνων καθίζησης, προσδιορίζονται τα ποσοστά άμμου, ιλύος και αργίλου και γίνεται η κοκκομετρική κατανομή. [7]



Σχήμα 11: Ογκομετρικός κύλινδρος και αραιόμετρο

3.1.5 Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)

Περιγραφή της μεθόδου

Η ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Σαν ακτίνες X εννοούνται συνήθως οι ακτίνες εκείνες που καλύπτουν το μέρος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που βρίσκεται μεταξύ 0.1 και 100Å. Το περιθλασίμετρο ακτίνων X που χρησιμοποιήθηκε, είναι τύπου D-8 Advance.

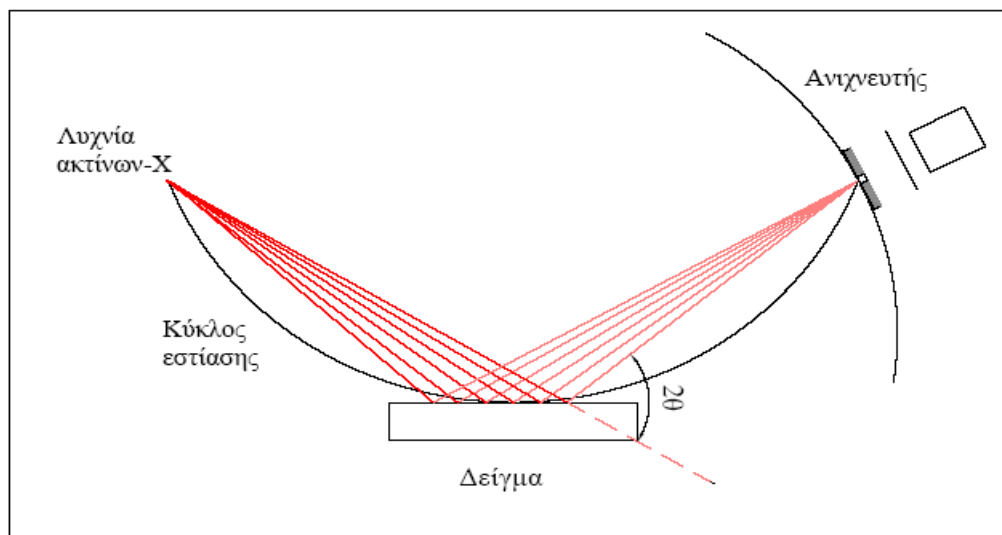
Με τη μέθοδο του περιθλασιμέτρου ακτίνων X είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων X, που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως.

Οι βασικές μονάδες που συνθέτουν ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων X είναι η μονάδα παραγωγής της υψηλής τάσης, η λυχνία των ακτίνων X, το γωνιόμετρο (Σχήμα 12), ο απαριθμητής των ακτίνων X με την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων και τέλος η μονάδα του μικροϋπολογιστή μέσω του οποίου καθοδηγείται ολόκληρο το σύστημα και αξιολογούνται τα δεδομένα που προκύπτουν από την εξέταση του δείγματος.

Διαδικασία εκτέλεσης

Το προς ανάλυση δείγμα ευρίσκεται υπό μορφή κόνεως μέσα στην κοιλότητα ενός μεταλλικού ή πλαστικού πλακιδίου. Η κοιλότητα αυτή έχει βάθος περίπου 1mm και έκταση μερικών cm^2 έτσι που να προσφέρει χώρο για μάζα δείγματος της τάξης του 1 g, την οποία κατανέμουμε έτσι στη κοιλότητα του πλακιδίου ώστε να σχηματίζει επίπεδη επιφάνεια. Το επίπεδο αυτό παρασκεύασμα τοποθετείται στο δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασιμέτρου ο οποίος βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε να παραμένει πάντα στο κέντρο του κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων X.

Ο απαριθμητής περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα $2\theta/\text{min}$ ενώ το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα θ/min . Αυτό συμβαίνει διότι με τη σύγχρονη μετατόπιση του απαριθμητή και την περιστροφή του δείγματος σκόπιμο είναι ο απαριθμητής να σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος, όπως και με το σημείο εξόδου των ακτίνων X της λυχνίας. Με τον τρόπο αυτό γίνεται δυνατή η καταγραφή των ακτίνων που πληρούν την εξίσωση BRAGG.

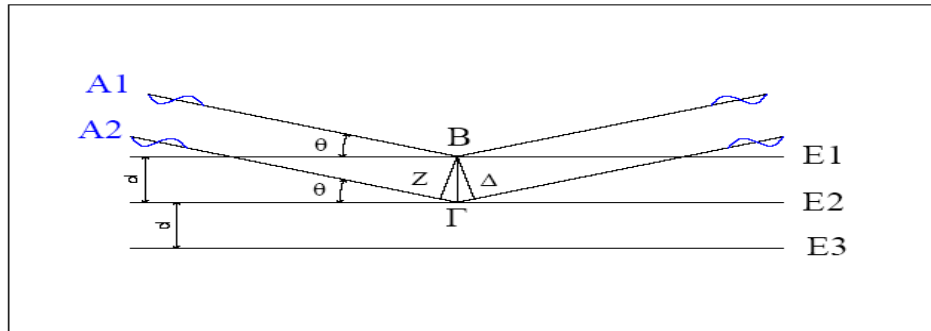


Σχήμα 12: Σχηματική παράσταση γωνιομέτρου

Εξίσωση BRAGG

Κατά τον W.L.BRAGG η περίθλαση των ακτίνων X στους κρυστάλλους ερμηνεύεται σαν ανάκλαση των ακτίνων X, οι οποίες προσπίπτουν υπό ορισμένη γωνία στα πλεγματικά επίπεδα του κρυστάλλου.

Η ανάκλαση των ακτίνων X διαφέρει από την ανάκλαση του ορατού φωτός λόγω της μεγάλης ικανότητας διείσδυσης της προσπίπτουσας δέσμης των ακτίνων X στον κρύσταλλο, η οποία διαπερνά ένα μεγάλο αριθμό πλεγματικών επιπέδων πριν να απορροφηθεί (Σχήμα 13).



Σχήμα 13: Περίθλαση των ακτίνων X σύμφωνα με την εξίσωση του BRAGG

Στο (Σχήμα 13) φαίνονται δύο παράλληλες ακτίνες X που προσπίπτουν με γωνία θ πάνω στα πλεγματικά επίπεδα.

$$Z\Gamma + \Gamma\Delta = 2Z\Gamma$$

Δεδομένου ότι για το τρίγωνο BZΓ ισχύει $Z\Gamma = B\Gamma$, $\eta\mu\theta = d \times \eta\mu\theta$, προκύπτει η σχέση :

$$n \times \lambda = 2 \times d \times \eta\mu\theta,$$

εξίσωση του Bragg, όπου λ : μήκος κύματος, d : πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου, θ : γωνία πρόσπτωσης και n : τάξη ανάκλασης.

Η συνηθέστερη λυχνία ακτίνων X είναι του χαλκού (Cu) με μήκος κύματος, $\lambda \approx 1,54\text{\AA}$.

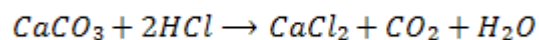
Αξιολόγηση διαγραμμάτων περιθλασιμετρίας ακτίνων-X

Τα διαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων X αξιολογούνται με το ειδικό λογισμικό EVA, το οποίο προσδιορίζει αυτόματα τις γωνίες περίθλασης με τις αντίστοιχες εντάσεις. Η ταυτοποίηση των κρυσταλλικών φάσεων γίνεται με την βοήθεια της βάσης δεδομένων PDF (Powder Diffraction File), στην οποία υπάρχουν δεδομένα όλων των γνωστών κρυσταλλικών φάσεων, ανόργανων και οργανικών. Επίσης το συγκεκριμένο λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα ημιποσοτικής εκτίμησης των ανιχνευθέντων κρυσταλλικών φάσεων. [8]

3.1.6 Ασβεστιμετρία

Περιγραφή της μεθόδου

Η μέθοδος αυτή αφορά στον προσδιορισμό του ασβεστίτη (CaCO_3) με το ασβεστίμετρο τύπου Dietrich-Frunhling (Σχήμα 14). Ο προσδιορισμός του ασβεστίτη στηρίζεται στη μέτρηση του όγκου του διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται από την επίδραση διαλύματος υδροχλωρικού οξέος στο δείγμα σύμφωνα με την εξώθερμη αντίδραση:



Για την εκτέλεση του πειράματος απαιτούνται:

- Ασβεστίμετρο τύπου Dietrich-Frunhling
- HCl οξύ 1:3
- Πρότυπο δείγμα ασβεστόλιθου



Σχήμα 14: Ασβεστίμετρο τύπου Dietrich-Frunhling

Διαδικασία εκτέλεσης

Ποσότητα από το δείγμα 0.6-0.7gr μεταφέρεται στην κωνική φιάλη του ασβεστίμετρου μαζί με δοκιμαστικό κυλινδρικό σωλήνα που περιέχει διάλυμα HCl 1:3. Η φιάλη κλείνει με το πώμα του οργάνου και προτού ανακινηθεί κλείνει και η στρόφιγγα ώστε να παρεμποδιστεί η διαφυγή του εκλυόμενου αερίου στην ατμόσφαιρα.

Η φιάλη ανακινείται μέχρις ότου ολοκληρωθεί η αντίδραση του οξέος με το δείγμα. Το αέριο που εκλύεται εκτοπίζει τη στήλη του κόκκινου διαλύματος (ελαφρά οξινισμένο διάλυμα νερού με μερικές σταγόνες HCl και τη προσθήκη δείκτη ερυθρού του μεθυλίου). Αφού εξισορροπηθεί η πίεση μέσα στη στήλη με την ατμοσφαιρική, καταγράφεται η ένδειξη από τη βαθμονομημένη κλίμακα του οργάνου, που αντιστοιχεί στον όγκο (σε ml) του αερίου που εκλύθηκε κατά την αντίδραση.

Παράλληλα με τα άγνωστα δείγματα, μετράται πρότυπο δείγμα ασβεστόλιθου, στην προκειμένη περίπτωση περιεκτικότητας 99% σε CaCO_3 (43.56% CO_2) για να υπολογιστεί ένας συντελεστής διόρθωσης (για τη βαθμονόμηση του οργάνου) ενώ επίσης καταγράφονται η πίεση και η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του πειράματος για την αναγωγή του εκλυόμενου όγκου CO_2 σε κανονικές συνθήκες. Η τάση ατμών του νερού $P_{\text{H}_2\text{O}}$ απαιτείται προκειμένου να βρούμε την τάση P_{CO_2} και για δεδομένη θερμοκρασία δίνεται από πίνακα. Από το ποσοστό επί τοις εκατό σε CO_2 που προσδιορίζεται μετά τις απαραίτητες διορθώσεις ως προς τα πρότυπα και τις συνθήκες διεξαγωγής του πειράματος, υπολογίζεται στοιχειομετρικά η περιεκτικότητα του δείγματος σε CaCO_3 .

Συγκεκριμένα, υπολογίζεται το ποσοστό επί τοις εκατό κατά βάρος του CO_2 που εκλύεται από κάθε δείγμα για να αναδειχθεί στη συνέχεια, σε ποσοστό επί τοις εκατό σε ανθρακικό ασβέστιο στο δείγμα. Ο υπολογισμός γίνεται σύμφωνα με την ακόλουθη διαδικασία:

- Μετατροπή του όγκου του CO_2 που μετράται σε όγκο σε κανονικές συνθήκες.

$$V_{K.E.} = [(P - P_{\text{H}_2\text{O}}) \times (\text{ένδειξη}) \times 273] / [(273 + \theta) \times 760]$$

Η περιεκτικότητα του Π% του προτύπου σε CO_2 είναι:

$$\text{Π\%} = [ένδειξη] / [μάζα] \times 0.196$$

όπου $0.196 = M.B._{\text{CO}_2} / 22400 \times 100$

- Μετατροπή του όγκου του CO₂ σε γραμμάρια CO₂.

Τα 22400 ml CO₂ σε Κ.Σ. είναι 44 gr CO₂

Τα V_{Κ.Σ.} ml CO₂ είναι $44 \times V_{\text{Κ.Σ.}} / 22400$ gr CO₂

- Ο συντελεστής διόρθωσης είναι: $\Sigma\Delta = 43.56\% / \Pi\%$

Επομένως το ποσοστό CO₂ που περιέχεται στα Μ γραμμάρια [μάζα] του δείγματος είναι:

$$CO_2\% = VCO_2 \times 0.196 \times \Sigma\Delta / M$$

• Από τις διορθωμένες περιεκτικότητες του δείγματος σε CO₂ και τα αντίστοιχα μοριακά βάρη, υπολογίζεται η περιεκτικότητα σε CaCO₃. Δεδομένου ότι 1 gr CO₂ αντιστοιχούν 2.273 gr CaCO₃, το ποσοστό του περιεχόμενου ασβεστίτη (%) είναι:

$$\text{Ασβεστίτης(\%)} = VCO_2 \times 0.196 \times \Sigma\Delta / M \quad [9]$$

3.1.7 Προσδιορισμός ορίων Atterberg

Περιγραφή της μεθόδου

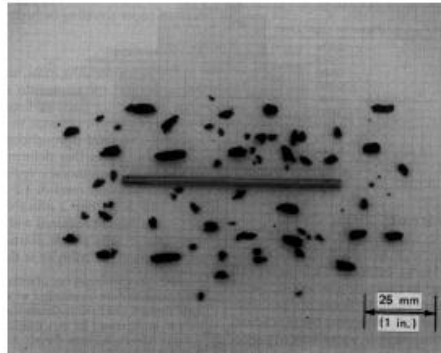
Για τα πλέον λεπτόκοκκα εδάφη, όπως είναι η άργιλος και η ιλύς, οι βασικοί δείκτες για την κατάταξή τους είναι τα όρια Atterberg. Τα όρια Atterberg είναι τιμές της περιεχόμενης υγρασίας, στις οποίες παρατηρείται μετάπτωση της κατάστασης του εδάφους από την “υγρή” στην “πλαστική” και στη συνέχεια στην “ημιστερεή” και στη “στερεή” κατάσταση. Ειδικότερα τα όρια Atterberg ορίζονται ως εξής:

1. Όριο υδαρότητας (LL) : όριο υδαρότητας είναι η τιμή της περιεχόμενης υγρασίας, εξαιτίας της οποίας τα τοιχώματα διαμορφωμένης εγκοπής ενός δείγματος εδάφους, που τοποθετείται στη συσκευή Casagrande, έρχονται σε επαφή μεταξύ τους μετά από 25 κρούσεις (Σχήμα 15).



Σχήμα 15: Από αριστερά προς τα δεξιά, συσκευή Casagrande, το δείγμα πριν τη δοκιμή και το δείγμα μετά τη δοκιμή

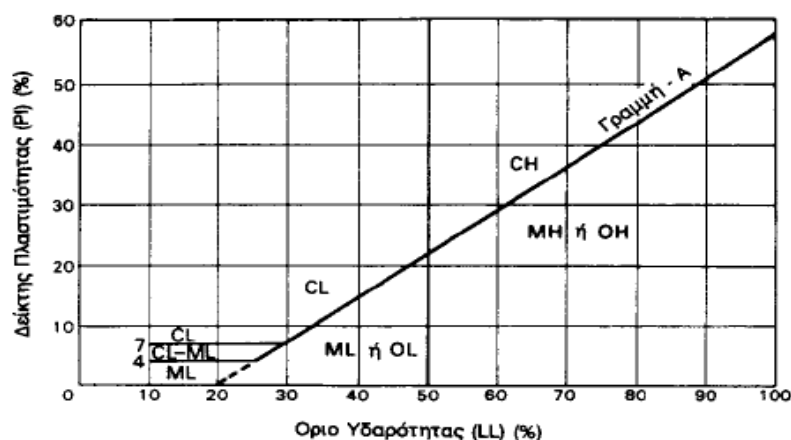
2. Όριο πλαστικότητας (PL) : είναι η περιεχόμενη υγρασία, εξαιτίας της οποίας ένα δείγμα εδάφους αρχίζει να θρυμματίζεται σε μικρά τεμάχια όταν πλάθεται σε λεπτές ίνες, μόλις φθάσει σε διάμετρο 3mm (Σχήμα 16).



Σχήμα 16: Διαμόρφωση δείγματος για τον προσδιορισμό του ορίου πλαστικότητας

Δείκτης πλαστικότητας (PI) : ονομάζεται η διαφορά μεταξύ των ορίων υδαρότητας και πλαστικότητας $PI = LL - PL$. Τα συνεκτικά εδάφη παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό πλαστικότητας, ο οποίος εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων τους (όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το έδαφος, τόσο ο δείκτης πλαστικότητας είναι μεγαλύτερος) και από τη σύσταση τους. Με ελαττούμενη περιεκτικότητα σε νερό τα εδάφη αυτά μεταβαίνουν από τη στερεή δια μέσου της πλαστικής, στην ημιστερεή κατάσταση.

Με το διάγραμμα (Σχήμα 17) και τον Πίνακα 3 που ακολουθεί, γίνεται η κατάταξη των εδαφών κατά τους κανονισμούς ASTM. [6], [10]



Σχήμα 17: Χάρτης πλαστικότητας Casagrande [6]

Προκειμένου να γίνει η ταξινόμηση σχεδιάζεται το σημείο (LL, PI) στον χάρτη πλαστικότητας και ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται, ταξινομείται το λεπτόκοκκο υλικό σε κάποια από τις κατηγορίες που έχει ο χάρτης.

Τα σημεία κάτω της γραμμής «Α» χαρακτηρίζουν κάποιο ιλυώδες υλικό ενώ τα σημεία μεταξύ της γραμμής «Α» και της γραμμής «U» χαρακτηρίζουν κάποιο αργιλώδες υλικό.

Η ονοματολογία που ακολουθείται είναι η παρακάτω:

- **CL** Ισχνή άργιλος
- **ML** Ιλύς
- **CL-ML** Ιλυώδης άργιλος
- **CH** Παχιά άργιλος
- **MH** Ελαστική ιλύς
- **OH – OL** Οργανική ιλύς ή άργιλος

ΚΥΡΙΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ		ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ
ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ ΕΛΑΦΗ	ΧΑΛΙΚΙΑ (λιγότερο από 50% του χονδρόκοκκου διέρχεται από κόσκινο Νο4)	GW	Χαλίκι καλά διαβαθμισμένο με μίγμα άμμου-χαλικιού. Λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		GP	Χαλίκι κακής διαβάθμισης με μίγμα άμμου-χαλικιού. Λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		GM	Χαλίκια ιλυώδη, μίγμα χαλικιών, άμμου και ιλύος.
		GC	Ιλυώδης άργιλος, μίγμα χαλικιών, άμμου και αργίλου.
	ΑΜΜΟΣ (πάνω από 50% του χονδρόκοκκου διέρχεται από κόσκινο Νο4)	SW	Άμμος καλά διαβαθμισμένη με χαλίκια, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		SP	Άμμος κακής διαβάθμισης με χαλίκια, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα.
		SM	Ιλυώδης Άμμος.
		SC	Αργιλώδης Άμμος.
ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΕΛΑΦΗ	ΙΛΥΣ ΚΑΙ ΑΡΓΙΛΟΣ Όριο υδαρότητας 50% ή μικρότερο	ML	Ανόργανη ιλύς, λεπτόκοκκη άμμος, ιλυώδης ή αργιλώδης λεπτόκοκκη άμμος.
		CL	Ανόργανη άργιλος μικρής ή μέσης πλαστιμότητας, χαλικώδης άργιλος, αμμώδης άργιλος, ιλυώδης άργιλος, ισχνή άργιλος.
		OL	Οργανική ιλύς και οργανική ιλυώδης άργιλος χαμηλής πλαστιμότητας.
	ΙΛΥΣ ΚΑΙ ΑΡΓΙΛΟΣ Όριο υδαρότητας μεγαλύτερο του 50%	MH	Ανόργανη ιλύς, μαρμαρυγιακά ή λεπτόκοκκα αμμώδη ή ιλυώδη εδάφη, ελαστική ιλύς.
		CH	Ανόργανη άργιλος μεγάλης πλαστιμότητας, παχιά άργιλος.
		OH	Οργανική άργιλος με μέση ως μεγάλη πλαστιμότητα.
ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΕΛΑΦΗ		PT	Χούμος, τύρφη και άλλα έντονα οργανικά εδάφη.

Πίνακας 3:Κύριες κατηγορίες εδαφών, ονοματολογία [10]

Διαδικασία εκτέλεσης

Για τον προσδιορισμό του ορίου υδαρότητας πραγματοποιήθηκε δοκιμή με τη συσκευή Casagrande και με τη μέθοδο πενετρόμετρου πίπτοντος κώνου (Cone test).

Μέθοδος πενετρόμετρου πίπτοντος κώνου (Cone test)

Είναι εργαστηριακή μέθοδος που χρησιμοποιείται συνήθως για λεπτόκοκκα εδάφη. Κατά τη μέθοδο αυτή κωνικό βαρίδιο συγκεκριμένου βάρους και γωνίας ανοίγματος κρέμεται με την κορυφή του κώνου σε επαφή με το εδαφικό δείγμα.

Το βαρίδιο απελευθερούμενο βυθίζεται εντός του εδάφους (Σχήμα 18). Το βάθος διείσδυσης του κώνου, ανάλογα με το βάρος του, σχετίζεται με την διατμητική αντοχή του εδάφους.



Σχήμα 18: Συσκευή εκτέλεσης της δοκιμής Cone test

Χρησιμοποιείται το κωνικό βαρίδιο με βάρος 60 gr και γωνία 60° και εκτελείται η δοκιμή για διάφορα ποσοστά υγρασίας. Κατασκευάζεται δεκαδικό διάγραμμα «βάθος διείσδυσης (mm)-περιεκτικότητα σε νερό (%)» και το όριο υδαρότητας υπολογίζεται από την περιεκτικότητα σε νερό που αντιστοιχεί σε 10 mm βάθους διείσδυσης.

Μέθοδος Casagrande

Κλάσμα εδάφους ζυμώνεται με τόσο νερό ώστε να σχηματιστεί μια εύπλαστη μάζα. Μέρος αυτής της μάζας τοποθετείται με κατάλληλο τρόπο στο κύπελλο της συσκευής Casagrande και δημιουργείται μια χαραγή στο μέσον του υλικού που βρίσκεται στο κύπελλο έτσι ώστε να το χωρίσει σε δύο μέρη. Περιστρέφουμε το στρόφαλο της συσκευής με σταθερό ρυθμό 2 γύρους/sec και μετράμε τους χτύπους του κυπέλλου μέχρι αυτή η χαραγή να κλείσει.

Για κάθε δείγμα διεξάγονται τουλάχιστον τρεις δοκιμές. Τα αποτελέσματα των δοκιμών μεταφέρονται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα (αριθμός χτύπων σε λογαριθμική κλίμακα και περιεχόμενη υγρασία σε δεκαδική κλίμακα). Το όριο υδαρότητας είναι η περιεκτικότητα σε νερό που αντιστοιχεί σε 25 χτύπους. [10]

3.1.8 Προσδιορισμός αντοχής δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη

Περιγραφή της μεθόδου

Ο στόχος του συγκεκριμένου πειράματος είναι ο προσδιορισμός της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ενός δοκιμίου, χρησιμοποιώντας δοκίμια κανονικής γεωμετρίας. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν αναφέρονται στις μηχανικές ιδιότητές του και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κριτήριο για τον χαρακτηρισμό και την αξιολόγησή του. Τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται είναι η μηχανή θλίψης (πρέσα), της οποίας η ακρίβεια και η αξιοπιστία πρέπει να πιστοποιείται τουλάχιστον κάθε δυο χρόνια από μια εγκεκριμένη για τον σκοπό αυτό υπηρεσία, συμπεριλαμβανομένου και του αυτόματου συστήματος καταγραφής (Σχήμα 19).



Σχήμα 19: Σύστημα καταγραφής

Η μηχανή για μονοαξονική θλίψη (Σχήμα 20) αποτελείται από:

1. Συσκευή δοκιμής: η συσκευή πρέπει να μπορεί να επιβάλλει σταθερό ρυθμό φόρτισης στο δοκίμιο και συγχρόνως να έχει τη δυνατότητα να μετρήσει ή και να καταγράψει το επιβαλλόμενο φορτίο.

2. Πλάκες φόρτισης: οι πλάκες φόρτισης χρησιμεύουν στο να μεταφέρουν το φορτίο στο δοκίμιο και πρέπει να είναι παράλληλες μεταξύ τους.

3. Χαλύβδινοι δίσκοι: οι δίσκοι (platens) τοποθετούνται ανάμεσα στις πλάκες φόρτισης και στο δοκίμιο και αποσκοπούν στο να ελαττώσουν την υπερβολική πλευρική παραμόρφωση του δοκιμίου λόγω δυνάμεων τριβής στα σημεία επαφής. Η σκληρότητα των δίσκων (στην κλίμακα Rockwell) πρέπει να είναι μεγαλύτερη από HRC58 και η διάμετρός τους πρέπει να είναι μεταξύ D και $D+2\text{mm}$, όπου D η διάμετρος του δοκιμίου. Το πάχος των δίσκων πρέπει να είναι τουλάχιστον 15mm ή $D/3$ και οι παράλληλες επιφάνειές τους πρέπει να έχουν αντοχή μικρότερη από 0.005mm.

4. Σφαιρική κεφαλή έδρασης: η σφαιρική κεφαλή έδρασης θα πρέπει να βρίσκεται στο πάνω μέρος του δοκιμίου και ο άξονάς της πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με τον άξονα του δοκιμίου και το κέντρο της πλάκας φόρτισης.

Αν η μηχανή δοκιμής δεν διαθέτει σφαιρική κεφαλή έδρασης (η οποία συνήθως είναι ενσωματωμένη στην επάνω πλάκα φόρτισης), τότε ο ένας από τους δύο χαλύβδινους δίσκους πρέπει να έχει αυτή τη δυνατότητα. Η κεφαλή πρέπει να λιπανθεί με ελαφρό ορυκτέλαιο.



Σχήμα 20: Μηχάνημα μονοαξονικής θλίψης

Διαδικασία εκτέλεσης

Το δοκίμιο τοποθετείται στο κέντρο των πλακών φόρτισης έτσι ώστε το σφάλμα κεντρώσεως να μην είναι μεγαλύτερο από 1/100 της ακμής του δοκιμίου. Η θλίψη ασκείται συνεχώς και αυξάνει με καθορισμένη ταχύτητα μέχρι της μέγιστης τιμής. Ξεκινάει η μηχανή θραύσης και παρακολουθείται η ένδειξη της μηχανής, μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή, με τον οποίο είναι συνδεδεμένη, ώσπου να επέλθει η αστοχία, οπότε και σταματάει η δοκιμή.

Για να ληφθούν οι μετρήσεις περνάνε στα ζητούμενα του υπολογιστή οι διαστάσεις των τριών πλευρών του δοκιμίου (σε mm) που πρόκειται να θραυτεί όπως επίσης και το βάρος του (σε kg).

Έπειτα, σημειώνεται ο αριθμός του δοκιμίου, για να μπορεί έτσι να αναγνωριστεί αργότερα σε ποιο δοκίμιο απευθύνεται το φύλλο εργασίας, και οι ημερομηνίες παρασκευής και θραύσης. Εφόσον λοιπόν συμπληρωθούν όλα αυτά τα ζητούμενα, το δοκίμιο είναι έτοιμο για τη δοκιμή σε μονοαξονική θλίψη.

Πατώντας το κουμπί αποδοχής των δεδομένων που δόθηκαν, ξεκινάει η θραύση του δοκιμίου. Σε διάγραμμα χρόνου-φορτίου, το οποίο εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή, παρατηρείται η θραύση του δοκιμίου. Φαίνεται ότι όσο περνάει ο χρόνος αυξάνεται το φορτίο που ασκείται στο δοκίμιο. Στο μέγιστο της καμπύλης (κορυφή) είναι το σημείο στο οποίο αστοχεί το δοκίμιο.

Η αντοχή του δοκιμίου σε μονοαξονική θλίψη σ υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\sigma = (F_{max}/A) * 10$$

όπου σ η θλιπτική αντοχή (MPa), F_{max} η μέγιστη εφαρμοζόμενη τάση (KN) και A η επιφάνεια του δοκιμίου (cm²).

Η παραμόρφωση του δοκιμίου υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\varepsilon = dl/lo$$

όπου ε η ανηγμένη παραμόρφωση, dl η μεταβολή στο ύψος του δοκιμίου (σε cm) και lo το αρχικό ύψος του δοκιμίου (cm).

Από την κλίση της καμπύλης υπολογίζεται το μέτρο ελαστικότητας E ως εξής:

- Εφαπτομενικό Μέτρο Ελαστικότητας. Υπολογίζεται από την κλίση της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης στο σημείο του 50% της μέγιστης τιμής της αντοχής.

- Μέσο Μέτρο Ελαστικότητας. Προκύπτει από τη μέση κλίση του ευθύγραμμου τμήματος της καμπύλης.
- Τέμνον Μέτρο Ελαστικότητας. Ορίζεται από τη κλίση της ευθείας που ενώνει την συμβολή των αξόνων με κάποιο σημείο της καμπύλης, το οποίο δίνεται ως ποσοστό της μέγιστης τάσης που δέχθηκε το δοκίμιο. [11]

3.2 Αποτελέσματα αναλύσεων για τα εδαφικά δείγματα

3.2.1 Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας

Η φυσική υγρασία για τα τρία εδαφικά δείγματα είναι: 16% για το εδαφικό δείγμα T, 15% για το εδαφικό δείγμα K1 και 2% για το εδαφικό δείγμα K2. Η διακύμανση της τιμής της φυσικής υγρασίας μεταξύ του δείγματος K2 και των δειγμάτων T και K1 μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, όπως τις καιρικές συνθήκες κατά τη δειγματοληψία ή τον τρόπο και το μέρος φύλαξης των δειγμάτων και γι' αυτό δε μπορεί ν' αξιολογηθεί.

3.2.2 Κοκκομετρική ανάλυση εν ξηρώ

Χρησιμοποιήθηκαν κόσκινα ASTM με άνοιγμα οπής 7, 4.75, 2 και 1 mm. Ζυγίστηκε ποσότητα περίπου 500g και από τα τρία δείγματα και μετά την ξήρανση τοποθετήθηκε στο κόσκινο με το μεγαλύτερο άνοιγμα οπής, ενώ έγινε θραύση των συσσωματωμάτων με το χέρι. Κατά την κοσκίνηση παρατηρήθηκε ότι το υλικό ήταν λεπτόκοκκο και διαπερνούσε και το κόσκινο του 1 mm.

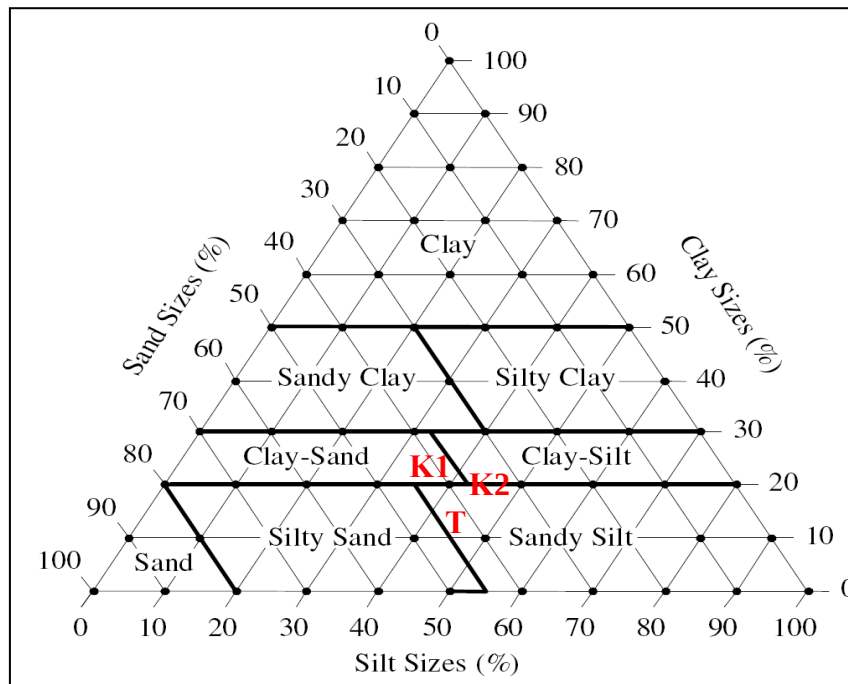
3.2.3 Υγρή κοκκομετρική ανάλυση με τη μέθοδο Bouyoucos

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης φαίνονται στον Πίνακα 4. Στο τριγωνικό διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται πως το δείγμα T αντιστοιχεί σε αμμώδη ιλύ, το δείγμα K1 σε αργιλώδη άμμο και το δείγμα K2 σε αργιλώδη ιλύ (Σχήμα 21).

Παρατηρείται πως τα δείγματα K1 και K2 είναι παρόμοια καθώς και το τρίτο δείγμα T, πράγμα που επιβεβαιώνεται από τη γεωλογική τους θέση, από τα αποτελέσματα της υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης αλλά και από το τριγωνικό διάγραμμα.

Δείγμα	40"		2h		ΑΜΜΟΣ	ΑΡΓΙΛΟΣ	ΙΛΥΣ
	ένδειξη	χρόνος	ένδειξη	χρόνος	%	%	%
T	30	12:40	11.5	14:40	49	14	37
K1	36	12:41	16.5	14:41	40	21	39
K2	34	12:48	16.5	14:48	45	20	35

Πίνακας 4: Αποτελέσματα υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης



Σχήμα 21: Τριγωνικό διάγραμμα ταξινόμησης εδαφών [4]

3.2.4 Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης και της ημιποσοτικής εκτίμησης των ποσοστών των ορυκτών των εδαφικών δειγμάτων.

Η περιεκτικότητα των δειγμάτων σε χαλαζία, Κ-άστριους και κεροσίλβη εμφανίζεται στο κοκκομετρικό κλάσμα της άμμου. Η παρουσία μοντοριλλονίτη και ιλίτη αφορά στο αργιλικό μέρος των δειγμάτων.

Ορυκτολογική Σύσταση \ Δείγμα	T	K1	K2
Αλβίτης	11%	12%	18%
Ασβεστίτης	19%	12%	2%
Ιλλίτης	12%	8%	7%
Κεροσίλβη	-	19%	23%
Μοντοριλλονίτης	10%	4%	1%
Χαλαζία	32%	25%	35%
Χλωρίτης	8%	7%	10%
Χρυσσίλης	-	5%	-
K- Άστριοι	8%	8%	4%

Πίνακας 5:Αποτελέσματα XRD εδαφικών δειγμάτων

3.2.5 Ασβεστιμετρία

Τα αποτελέσματα του προσδιορισμού του ανθρακικού ασβεστίου παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 6. Το δείγμα K2 σε σχέση με τα άλλα δύο δείγματα έχει σημαντικά μικρότερη περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο ενώ τα δείγματα T και K1 έχουν παρόμοια περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των μετρήσεων, που προέκυψαν από αυτή τη δοκιμή, φαίνονται στον Πίνακα 7.

Δείγμα	Βάρος(gr)	VC0 ₂ (ml)	V _{KΣ} (ml)	Μετατροπή ml σε gr	Π%	CO ₂ %	Ασβεστίτη(%)
CaCO ₃ (99%)	0.6658	166.50	152.20	0.30	49.01	43.56	99.00
T	0.6383	21.50	19.65	0.04	6.60	5.87	13.33
K1	0.7249	21.00	19.20	0.04	5.68	5.05	11.47
K2	0.7304	4.50	4.11	0.01	1.21	1.07	2.44

Πίνακας 6:Αποτελέσματα ασβεστιμετρίας για τα εδαφικά δείγματα

P (mmHg)	757.0000
T (°C)	18.0000
PH ₂ O (mmHg)	16.4770
Π% σε CO ₂ προτύπου	49.0100
Σ. Διόρθωσης	0.8887

Πίνακας 7:Δεδομένα ασβεστιμετρίας

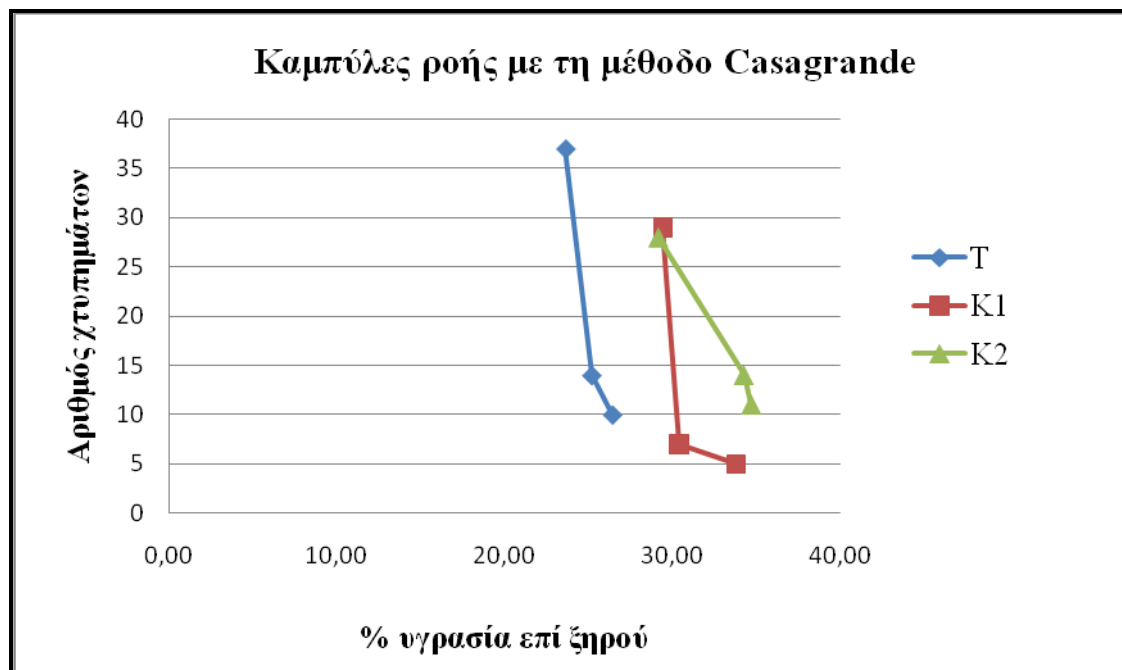
3.2.6 Προσδιορισμός ορίων Atterberg

Τα αποτελέσματα της δοκιμής Casagrande και η ταξινόμηση των δειγμάτων σύμφωνα με την ονοματολογία που αντιστοιχεί στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.

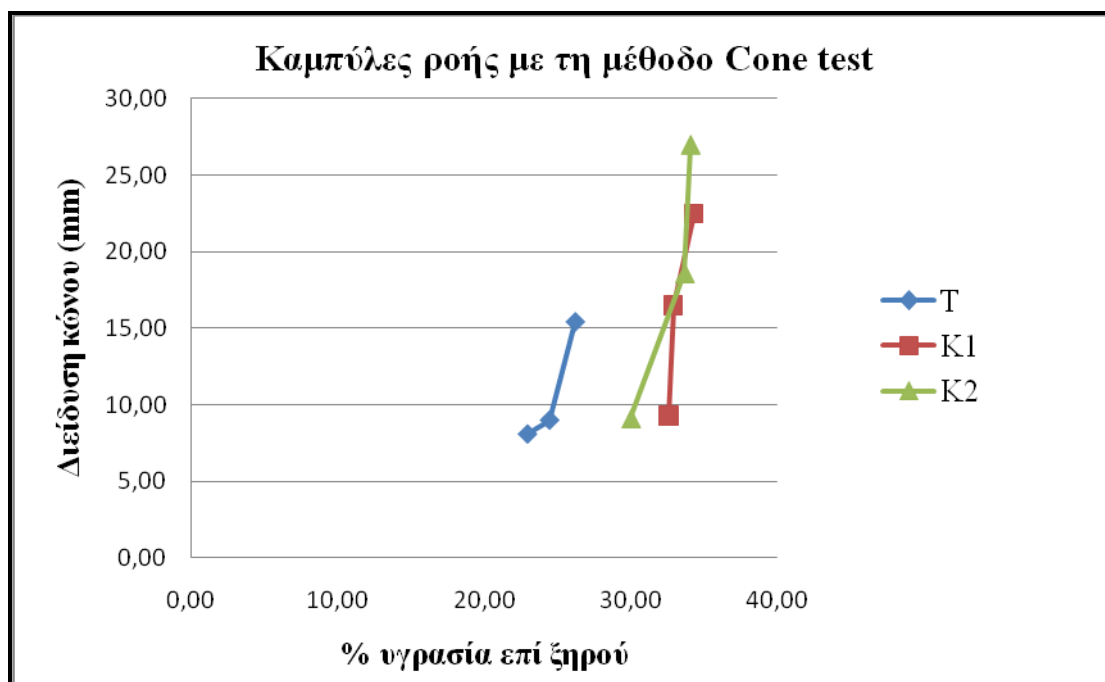
Από τον Πίνακα 8 φαίνεται πως τα δείγματα T και K1, χαρακτηρίζονται ως αργιλώδη εδάφη και το δείγμα K2, χαρακτηρίζεται ως ιλυώδες έδαφος. Επίσης συμπεραίνεται πως το δείγμα T είναι το πιο συνεκτικό καθώς $PI_T > PI_{K1} > PI_{K2}$. Επίσης παρατηρείται πως τα δείγματα K1 και K2 έχουν παρόμοια όρια υδαρότητας-πλαστικότητας.

Δείγμα	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Χαρακτηρισμός
T	24.42	11.12	13.3	CL
K1	29.61	23.89	5.72	CL
K2	30.23	28.43	1.80	ML

Πίνακας 8:Αποτελέσματα ορίων Atterberg



Διάγραμμα 1:Καμπύλες ροής με τη μέθοδο Casagrande



Διάγραμμα 2: Καμπύλες ροής με τη μέθοδο Cone test

3.2.7 Προσδιορισμός αντοχής δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη

Για τον προσδιορισμό της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη παρασκευάστηκαν κυβικά δοκίμια διαστάσεων $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ (Σχήμα 22) από εδαφικά υλικά ή μίγματα αυτών με άμμο ή/και άχυρο σε διαφορετικές αναλογίες (Σχήμα 23).

Χρησιμοποιήθηκε χαλαζιακή άμμος κοκκομετρίας 1500-2500μm με στόχο τη βελτίωση της αντοχής των δοκιμίων και την συμπλήρωση του αδρόκοκκου κλάσματος, το οποίο ήταν μικρότερο απ' το λεπτόκοκκο και στα τρία δείγματα.



Σχήμα 22: Κυβικά δοκίμια διαστάσεων $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$



Σχήμα 23: Υλικά παρασκευής των δοκιμίων

Διαδικασία παρασκευής των δοκιμίων

Παρασκευάστηκαν συνολικά 30 κυβικά δοκίμια από τα τρία εδαφικά δείγματα, διαστάσεων $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$, απ' όπου 6 δοκίμια ήταν με έδαφος, 6 δοκίμια με έδαφος και χαλαζιακή άμμο σε περιεκτικότητα 30%, 6 δοκίμια με έδαφος και άχυρο σε αναλογία 3:1, 6 δοκίμια με έδαφος και άχυρο σε αναλογία 5:1 και 6 δοκίμια με 2 μέρη εδάφους, 1 μέρος άμμου και $\frac{1}{2}$ μέρος άχυρου (Σχήμα 24). Η διαδικασία παρασκευής των δοκιμίων ήταν όμοια για κάθε δοκίμιο.



Σχήμα 24: Μερικά από τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν

Για την πρώτη περίπτωση παρασκευής δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν 1.36kg έδαφος και 0.4lt νερό. Για τη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν 1.1kg έδαφος, 0.33 kg άμμο και 0.37lt νερό. Για τη τρίτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν 1.25kg έδαφος, 0.03kg άχυρο και 0.38lt νερό. Για τη τέταρτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν 1.13kg έδαφος, 0.008 kg άχυρο και 0.39lt νερό. Τέλος για τη πέμπτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν 0.82kg έδαφος, 0.02 kg άχυρο, 0.16 kg άμμο και 0.36lt νερό.

Η διαδικασία παρασκευής έχει ως εξής:

Για την ανάμειξη των υλικών χρησιμοποιείται ένα δοχείο, όπου τοποθετούνται ένα – ένα τα υλικά, με τη σειρά που αναφέρονται πιο πάνω. Κάθε φορά που προστίθεται ένα υλικό, γίνεται ανάμειξη με το προηγούμενο υλικό, μέχρι να γίνει το μείγμα ομοιογενές. Εφόσον το μείγμα γίνει ομοιογενές, αφαιρείται από το δοχείο και τοποθετείται μέσα στις μήτρες - ξύλινα καλούπια (Σχήμα 25).



Σχήμα 25: Ξύλινη μήτρα στην οποία τοποθετείται το μείγμα

Κάθε μήτρα γεμίζεται προσεκτικά, ώστε να μη διαφεύγει το υλικό, σε τρεις στρώσεις, για να μπορεί να συμπυκνωθεί ιδιαίτερα η κάθε στρώση, με τη βοήθεια σπάτουλας. Η συμπύκνωση κάθε στρώσης γίνεται με χτυπήματα με τη σπάτουλα, τα οποία κατανέμονται κατά το δυνατόν ομοιόμορφα στην επιφάνεια του μείγματος με σκοπό να πάψουν να εμφανίζονται μεγάλες φυσαλίδες αέρα.

Κατά την συμπύκνωση της κατώτερης στρώσης, συνίσταται προσοχή ώστε το υλικό να στρωθεί ομοιόμορφα και να καλύψει όλη την επιφάνεια του πυθμένα της μήτρας και ιδιαίτερα τις γωνίες για να μην σχηματιστούν κενά.

Όταν τοποθετηθεί και η τελευταία στρώση του μείγματος, και πραγματοποιηθεί και η αντίστοιχη συμπίκνωση, επιπεδώνεται η τελική επιφάνεια.

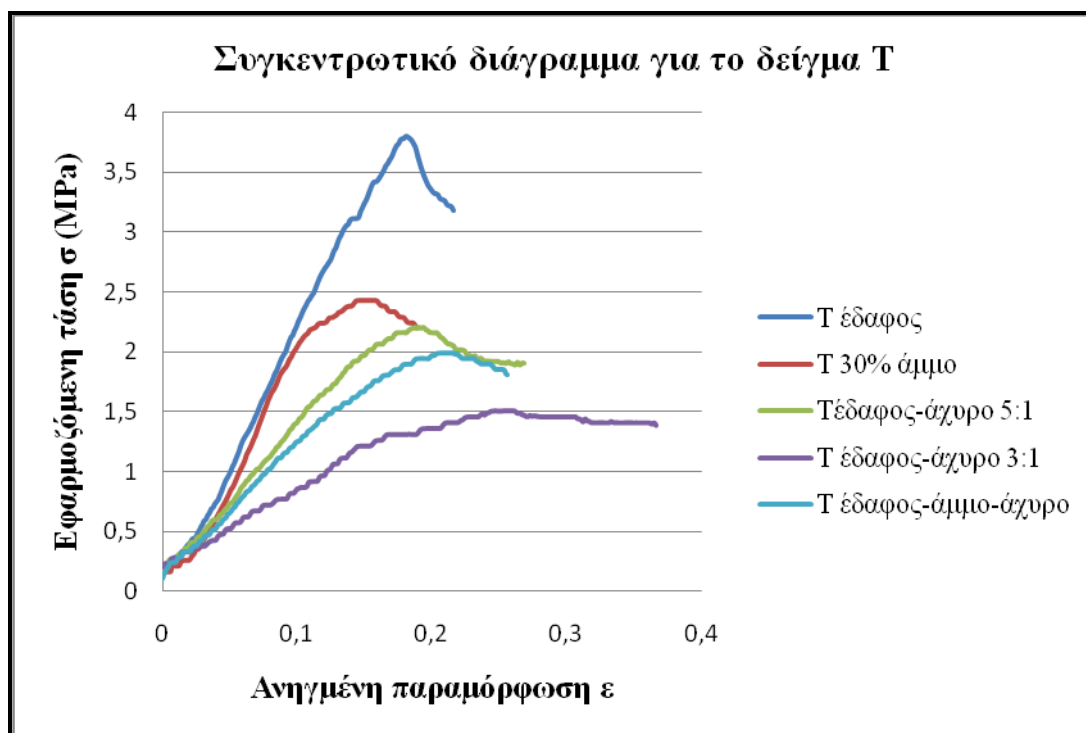
Τα δοκίμια μεταφέρονται προσεκτικά, χωρίς να κινούνται ιδιαίτερα για να μην προκαλούνται κρούσεις και δονήσεις, σε χώρο με σκιά και σταθερή υγρασία, όπου και παραμένουν για 20 μέρες μέχρι να ξηραθούν, να αφαιρεθούν από τις μήτρες και να φυλαχθούν μέχρι τη θραύση τους.

Αποτελέσματα δοκιμής αντοχής σε μονοαξονική θλίψη

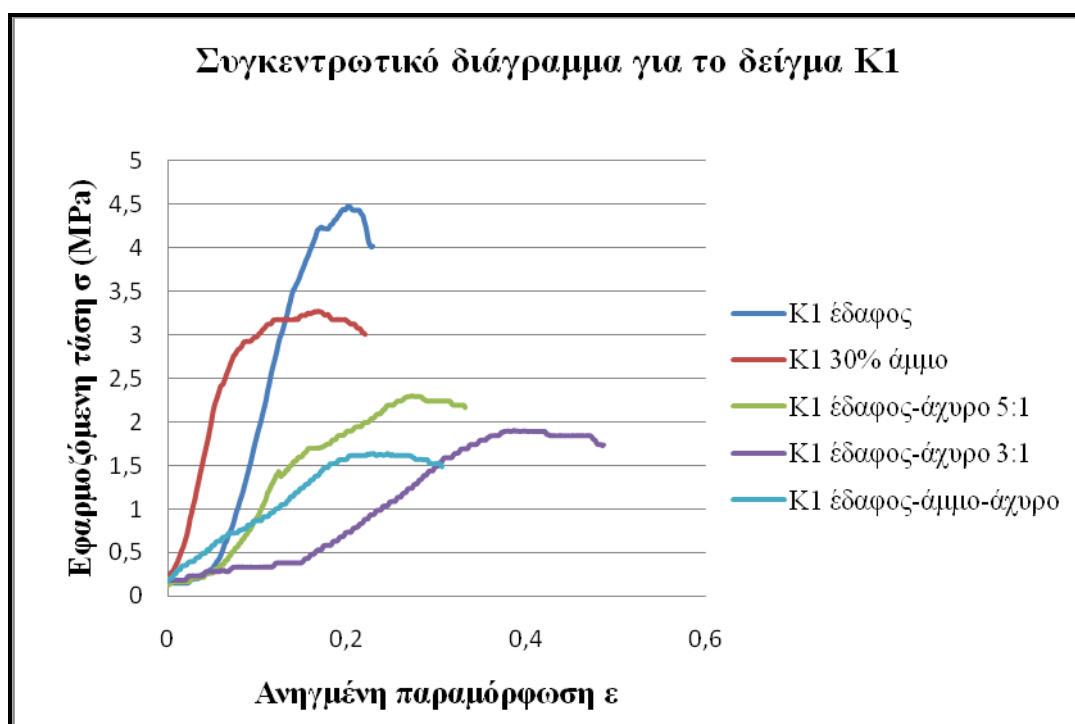
Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής. Ακολουθούν συγκεντρωτικά διαγράμματα με τις καμπύλες τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για κάθε εδαφικό δείγμα. Τα αποτελέσματα του Πίνακα 9 είναι ο μέσος όρος των δεδομένων που προέκυψαν από τη θραύση δύο δοκιμίων, από κάθε δείγμα και για κάθε αναλογία.

Δείγμα	Αντοχή σ (MPa)	Μέτρο Ελαστικότητας E
T έδαφος	3.8	24.6
K1 έδαφος	4.6	55.8
K2 έδαφος	3.7	12.1
T 30% άμμο	2.4	27.2
K1 30% άμμο	3.3	45.1
K2 30% άμμο	3.2	30.3
T έδαφος –άχυρο 5:1	2.2	13.1
K1 έδαφος –άχυρο 5:1	2.3	28.4
K2 έδαφος –άχυρο 5:1	2.8	12.4
T έδαφος –άχυρο 3:1	1.5	4.7
K1 έδαφος –άχυρο 3:1	1.9	6.1
K2 έδαφος –άχυρο 3:1	1.8	6.8
T έδαφος-άμμο-άχυρο	2.0	10.7
K1 έδαφος-άμμο-άχυρο	1.6	5.0
K2 έδαφος-άμμο-άχυρο	1.3	4.8

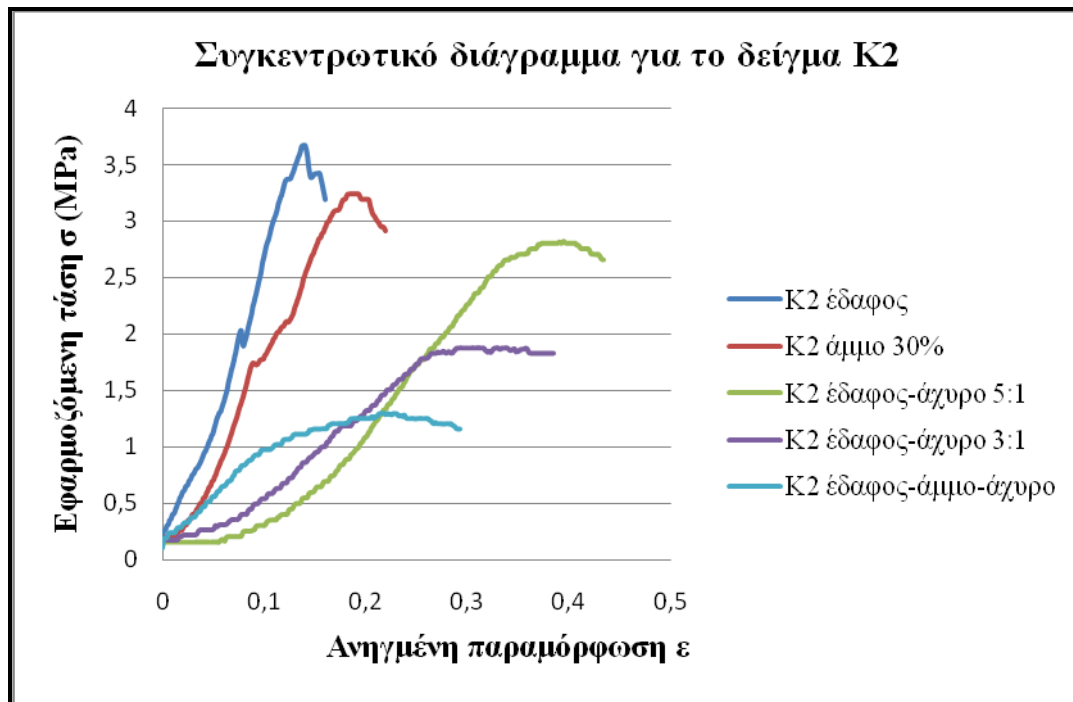
Πίνακας 9: Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής και μέτρου ελαστικότητας.



Διάγραμμα 3: Συγκεντρωτικό διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για το δείγμα T



Διάγραμμα 4: Συγκεντρωτικό διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για το δείγμα K1



Διάγραμμα 5: Συγκεντρωτικό διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για το δείγμα K2

Στον Πίνακα 9 φαίνεται ότι τα δοκίμια με την μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη είναι τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν με έδαφος και συγκεκριμένα το δοκίμιο από το δείγμα K1 του νομού Καρδίτσας με αντοχή 4,6 MPa. Η προσθήκη άμμου και άχυρου φαίνεται να μειώνει την αντοχή των δοκιμίων. Συγκεκριμένα, η αύξηση του άχυρου μειώνει την αντοχή τους. Από τις καμπύλες τάσης-παραμόρφωσης φαίνεται πως η προσθήκη άχυρου στα δοκίμια δίνει καμπύλες που ορίζουν μια πιο ελαστική συμπεριφορά.

3.3 Αποτελέσματα αναλύσεων ωμοπλίνθου

Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν για τον ωμόπλινθο είναι:

- Κοκκομετρική ανάλυση εν ξηρώ
- Υγρή κοκκομετρική ανάλυση με τη μέθοδο Bouyoucos
- Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)
- Ασβεστιμετρία
- Προσδιορισμός αντοχής σε μονοαξονική θλίψη

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον ωμόπλινθο είναι ίδια με αυτή που ακολουθήθηκε και για τα εδαφικά δείγματα.

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης εν ξηρώ για τον ωμόπλινθο φαίνονται στον Πίνακα 10 και στην κοκκομετρική καμπύλη που ακολουθεί.

Κόσκινο	Βάρος (gr)	Συγκρατούμενο (gr)	Συγκρατούμενο (%)	Διερχόμενο (%)
7 mm	—	0.0	0	100
4.75 mm	487.6	30.3	18	82
2 mm	452.2	63.8	38	44
1 mm	407.0	26.5	16	28
Τάσι	346.9	47.4	28	0
Άθροισμα	—	168.0	100	—

Πίνακας 10:Κοκκομετρική ανάλυση για τον ωμόπλινθο



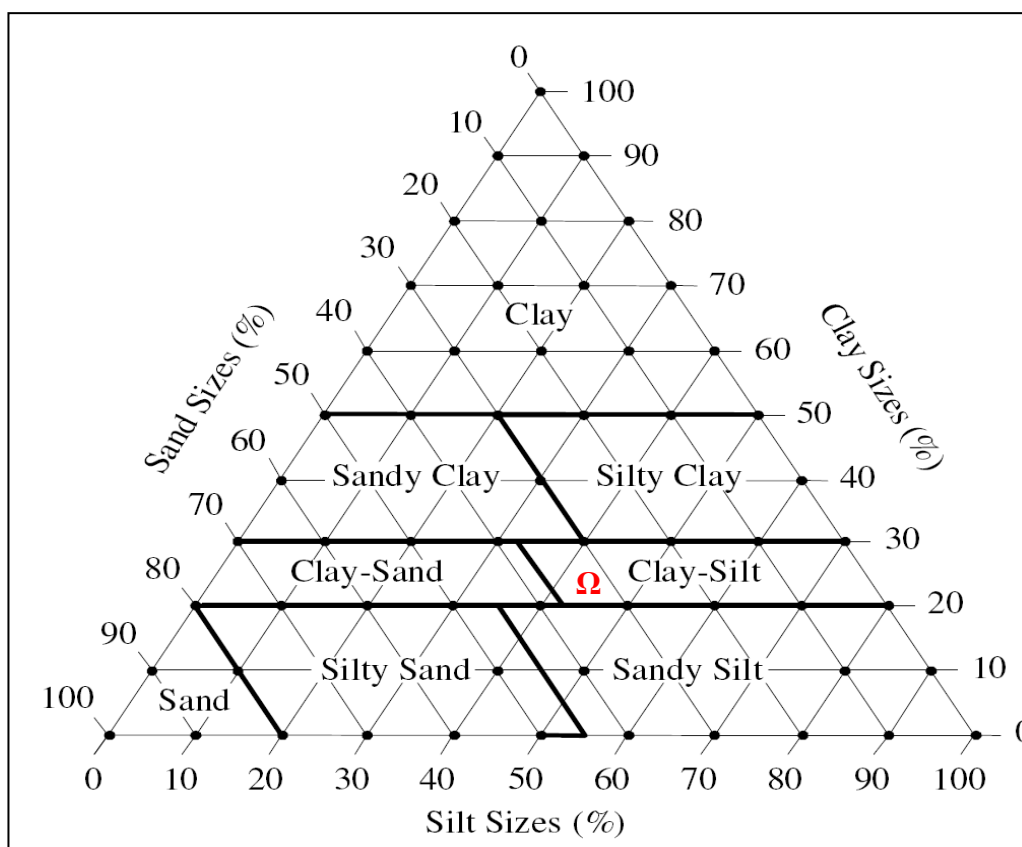
Διάγραμμα 6:Κοκκομετρική καμπύλη ωμόπλινθου σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα

Από τα 168 gr ωμόπλινθου που χρησιμοποιήθηκαν για την κοσκίνηση εν ξηρώ τα 2.3 gr ήταν άχυρο. Το αρχικό βάρος του ωμόπλινθου ήταν 4.73 kg. Αναλογικά προκύπτει ότι ο ωμόπλινθος είχε περιεκτικότητα σε άχυρο ~1.4% κ.β.

Τα αποτελέσματα της υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης για τον ωμόπλινθο φαίνονται στον Πίνακα 11 και στο τριγωνικό διάγραμμα (Σχήμα 26).

Δείγμα	40"		2h		ΑΜΜΟΣ	ΑΡΓΙΛΟΣ	ΙΛΥΣ
	ένδειξη	χρόνος	ένδειξη	χρόνος	%	%	%
Ωμόπλινθος	40	10:41	18	12:41	31	25	44

Πίνακας 11: Αποτελέσματα υγρής κοκκομετρικής ανάλυσης για τον ωμόπλινθο



Σχήμα 26: Τριγωνικό διάγραμμα ταξινόμησης εδαφών [4]

Από τον Πίνακα 11 και από το τριγωνικό διάγραμμα, φαίνεται ότι το εδαφικό υλικό του ωμόπλινθου αντιστοιχεί σε αργιλώδη ιλύ. Το ίδιο ισχύει και για το δείγμα K2 από την περιοχή της Καρδίτσας. Αυτό συμβαίνει διότι το εδαφικό δείγμα και το έδαφος παρασκευής του ωμόπλινθου, προέρχονται από την ίδια γεωγραφική θέση.

Τα αποτελέσματα της περιθλασιμετρίας ακτίνων X για την ορυκτολογική σύσταση του ωμόπλινθου είναι: χαλαζίας 30%, αλβίτης 16%, κεροστίλβη 25%, ιλλίτης 13%, χλωρίτης 5%, K-άστριος 5% και ασβεστίτης 6%.

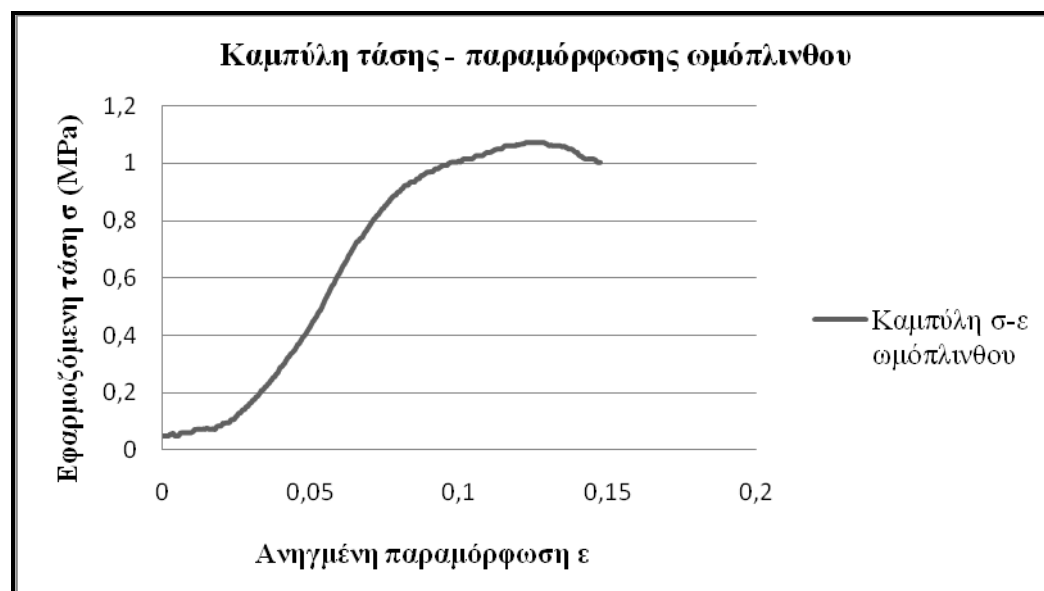
Τα αποτελέσματα της ασβεστιμετρίας φαίνονται στον Πίνακα 12 που ακολουθεί.

Δείγμα	Βάρος(gr)	Ασβεστίτης (%)
Std CaCO ₃ (99%)	0.6658	99.00
Ωμόπλινθος	0.6657	1.78

Πίνακας 12:Αποτελέσματα ασβεστιμετρίας για τον ωμόπλινθο

Τα αποτελέσματα της μονοαξονικής αντοχής σε θλίψη για τον ωμόπλινθο είναι: θλιπτική αντοχή 1.1 MPa και μέτρο ελαστικότητας 23.7. Παρατηρείται πως η αντοχή του ωμόπλινθου σε θλίψη και το μέτρο ελαστικότητας είναι χαμηλά ενώ από την καμπύλη φαίνεται πως ο ωμόπλινθος επιδεικνύει ελαστική συμπεριφορά.

Αυτό δικαιολογείται εξαιτίας της παλαιότητας του δείγματος και της διαρκούς έκθεσης του σε περιβαλλοντικούς παράγοντες ή και σε στην δημιουργία ρωγμών-ασυνεχειών κατά την εξαγωγή του από το οίκημα.



Διάγραμμα 7:Διάγραμμα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης για τον ωμόπλινθο

Κεφάλαιο 4

4.1 Συμπεράσματα

Τα τρία εδαφικά δείγματα είναι κατά κύριο λόγο λεπτόκοκκα αργιλώδη-ιλυώδη εδάφη. Συγκεκριμένα τα δείγματα K1 και K2 είναι αργιλώδης άμμος και αργιλώδης ιλύς αντίστοιχα, ενώ το δείγμα T είναι αμμώδης ιλύς σύμφωνα με διεθνείς ταξινομήσεις αργιλούχων σχηματισμών.

Έχουν υψηλές περιεκτικότητες σε αργιλοπυριτικά ορυκτά και κυρίως σε χαλαζία (>20%). Ιδιαίτερα ο χαλαζίας, ο αλβίτης, ο K-άστριος και η κεροστίλβη υπάρχουν στο κλάσμα της άμμου ενώ ο ιλλίτης και ο μοντμοριλλονίτης υπάρχουν στο πιο λεπτόκοκκο αργιλικό κλάσμα. Η παρουσία του μοντμοριλλονίτη δικαιολογεί την συρρίκνωση των δοκιμίων, η οποία παρατηρήθηκε κατά την εξαγωγή των δοκιμίων από τα καλούπια και η οποία ήταν μεγαλύτερη στα δοκίμια που παρασκευάστηκαν με το εδαφικό δείγμα T, καθώς αυτό το δείγμα είχε τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε μοντμοριλλονίτη (10%).

Από την περιθλασιμετρία με ακτίνες X βλέπουμε πως τα δείγματα T και K1 περιέχουν 19% ασβεστίτη και 12% ασβεστίτη αντίστοιχα, ενώ το δείγμα K2 έχει περιεκτικότητα 2% σε ασβεστίτη. Αντίστοιχα με την μέθοδο της ασβεστιμετρίας τα δείγματα T και K1 εμφανίζουν 11-14% περιεκτικότητα σε ασβεστίτη ενώ το δείγμα K2 ~3% περιεκτικότητα σε ασβεστίτη.

Το δείγμα T εμφανίζει τον μεγαλύτερο δείκτη πλαστικότητας και άρα είναι το πιο συνεκτικό έδαφος από τα τρία που μελετώνται γεγονός που δικαιολογείται από την υψηλή περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής σε μονοαξονική θλίψη δείχνουν ότι για κάθε εδαφικό δείγμα στις ίδιες αναλογίες, οι αντοχές σε θλίψη έχουν παρόμοιες τιμές. Τη μεγαλύτερη αντοχή είχαν τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν με έδαφος και συγκεκριμένα το δοκίμιο από το δείγμα K1 του νομού Καρδίτσας με αντοχή 4,6 MPa.

Από τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν με έδαφος και από τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν με έδαφος και 30% περιεκτικότητα σε χαλαζιακή άμμο, την καλύτερη μηχανική αντοχή είχε το δείγμα K1. Για τις αναλογίες έδαφος-άχυρο 5:1 και έδαφος-άχυρο 3:1 την μεγαλύτερη αντοχή είχαν τα δείγματα K2 και K1 αντίστοιχα. Από τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν με 2 μέρη εδάφους, 1 μέρος άμμου και ½ μέρος άχυρου, τη μεγαλύτερη αντοχή είχε το δείγμα T.

Παρατηρήθηκε πως η προσθήκη άμμου και άχυρου μειώνει την αντοχή των δοκιμίων. Από τα διαγράμματα τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης φαίνεται πως τα δοκίμια που περιείχαν άχυρο είχαν πιο ελαστική συμπεριφορά από τα υπόλοιπα, όμως η προσθήκη άμμου προτιμάται απ' την προσθήκη άχυρου καθώς τα δοκίμια που περιείχαν άμμο σε περιεκτικότητα 30% είχαν την μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με τα δοκίμια των υπολοίπων μιγμάτων.

Ο ωμόπλινθος ήταν παρασκευασμένος από αργιλώδη ιλύ. Η περιοχή δειγματοληψίας του ήταν όμοια με αυτή της δειγματοληψίας των εδαφικών δειγμάτων από το νομό Καρδίτσας. Αυτό αιτιολογεί την παρόμοια κοκκομετρική διαβάθμιση του ωμόπλινθου και των εδαφικών δειγμάτων.

Ο ωμόπλινθος είχε μεγάλη περιεκτικότητα σε χαλαζία (30%), αλβίτη (16%), κεροστίλβη (25%) και ιλλίτη (13%) και μικρότερη περιεκτικότητα σε χλωρίτη (5%) K-άστριο (5%) και ασβεστίτη (6%). Από την ασβεστιμετρία φαίνεται ότι ο ωμόπλινθος είχε περιεκτικότητα σε ασβεστίτη ~2%.

Ο δομικός ωμόπλινθος είχε αντοχή σε θλίψη 1.1 MPa. Από το μέτρο ελαστικότητας και την καμπύλη φαίνεται πως εμφάνισε ελαστική συμπεριφορά λόγω του άχυρου. Η τιμή της αντοχής του είναι μικρότερη από τις τιμές αντοχής που προσδιορίστηκαν για τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν με έδαφος ή/και με πρόσθετα (άχυρο, χαλαζιακή άμμο). Αυτό μπορεί να οφείλεται στην προέλευση του εδαφικού υλικού παρασκευής του, στην παλαιότητά του και στη μακροχρόνια έκθεσή του σε περιβαλλοντικούς παράγοντες καθώς και στον τρόπο δειγματοληψίας (εξαγωγή του από το οίκημα). Παρά τη χαμηλή τιμή της αντοχής του, ο ωμόπλινθος διατηρεί τη συνεκτικότητά του και είναι πολύ συμπαγής.

Σύμφωνα με διεθνείς προδιαγραφές προκύπτει πως όλα τα εδαφικά δείγματα είναι κατάλληλα για εφαρμογές δομικών στοιχείων με τη μέθοδο της δόμησης με ωμόπλινθους (adobe) και ιδιαίτερα το δείγμα T, καθώς είναι το πιο συνεκτικό. Τα δείγματα T και K1 είναι κατάλληλα και για εφαρμογές δομικών στοιχείων με τη μέθοδο της δόμησης με αργιλοσκυρόδεμα (rammed earth). Επιπλέον, όλα τα εδαφικά δείγματα είναι κατάλληλα για παρασκευή κονιαμάτων και επιχρισμάτων σύμφωνα με τις τιμές της αντοχής τους.

4.2 Προτάσεις

Για περαιτέρω αξιολόγηση των ποιοτικών και τεχνικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων, θα μπορούσαν να ερευνηθούν:

- Το ποσοστό συρρίκνωσης-διόγκωσης των δοκιμίων.
- Η χρήση επιχρισμάτων για την αδιαβροχοποίηση της επιφάνειας των δοκιμίων.
- Η συμπεριφορά των δοκιμίων για διαφορετικές αναλογίες εδάφους-άμμου-άχυρου.
- Η αντοχή σε κάμψη, θλίψη ή/και εφελκυσμό κατάλληλα διαμορφωμένων δοκιμίων σε πραγματικές διαστάσεις εφαρμογής τους και με τις ίδιες ή διαφορετικές αναλογίες μειγμάτων.
- Η συμπεριφορά των δοκιμίων όταν αυτά τοποθετηθούν σε κλιματικό θάλαμο, ο οποίος θα καταπονεί τα δοκίμια με διαφορετικούς κύκλους ψύξης-θέρμανσης και συνθήκες υψηλής υγρασίας.
- Η θερμική αγωγιμότητα των δοκιμίων και η θερμομονωτική τους συμπεριφορά σε συσχέτισμό με την ορυκτολογική τους σύσταση αλλά και το πώς επηρεάζεται η θερμομονωτική τους συμπεριφορά με την προσθήκη άλλων πρόσθετων (άχυρο, άμμο).
- Το ποσοστό συγκρατούμενης υγρασίας των δοκιμίων.
- Η παρασκευή μιγμάτων με λιγότερη άμμο και άχυρο ή με άλλα πρόσθετα όπως η υδράσβεστος.

Βιβλιογραφία

1. Τσίππρας Θ. και Τσίππρας Κ., (2005), Οικολογική Αρχιτεκτονική, Εκδόσεις Κέδρος, Αθήνα.
2. Κορωναίος Α. και Σαργέντης Φ., (2005), Δομικά Υλικά και Οικολογία, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
3. Markopoulos Th., Pantinakis A., Rotonto P., Pantzekos P., Mousourakis A., and Chrysafaki G., Measurement of mechanical strength, thermal conductivity and moisture of earth samples from Crete, Greece, containing clay and straw for architectural applications, Mediterra, 2009.
4. Markopoulos Th., Rotonto P., Chrysafaki G., Mousourakis A., Evaluation of mudstone formations from Crete and their suitability for rammed earth and adobe production, International Scientific Conference SGEM, Conference proceedings 1, 2008
5. Doat P., Hays A., Houben H., Matouk S., and Vitoux F., (1991), Building with earth, the mud village society, New Delhi, India.
6. Στειακάκης Ε., (2004), Εργαστηριακές ασκήσεις Τεχνικής γεωλογίας-Εδαφομηχανικής, Εργαστηριακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
7. Day. P., (1960), Soil Characteristics, Laboratory manual for soil science 100, University of California, Berkeley.
8. Κωστάκης Γ., (1988), Γενική Ορυκτολογία, Σημειώσεις Μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

9. Μαρκόπουλος Θ., (2008), Τεχνολογία δομικών και αδρανών υλικών, Εργαστηριακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
10. Χρηστάρας Β., (2005), Συνοπτική περιγραφή των συνηθέστερων εργαστηριακών δοκιμών Βραχομηχανικής - Εδαφομηχανικής, Εργαστηριακές σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
11. Αγιουτάντης Ζ., (2002), Στοιχεία Γεωμηχανικής - Μηχανική Πετρωμάτων, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.
12. Χρυσομαλλίδου Ν., (1994), Θερμική συμπεριφορά κτιρίων-Παθητικά συστήματα θέρμανσης, Ηλιακή ενέργεια και εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια αστικού περιβάλλοντος – KENE.
13. Τσίππρας Κ., (1995), Το οικολογικό σπίτι, εκδόσεις Α.Α ΛΙΒΑΝΗ, Αθήνα.
14. Κωστάκης Γ., (2001), Συστηματική Ορυκτολογία, Σημειώσεις Μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
15. Minke, G., Earth: Construction Handbook. The Building Material Earth In Modern Architecture, WIT Press, Southampton, 2000.

Ιστογραφία

maps.google.com

www.cob.gr

www.buildings.gr

www.ecodomisi.gr

www.oikologio.gr

www.tee.gr

www.ecotec.gr

www.buildnet.gr

www.domika.gr

www.ecofinder.gr

www.architecture.about.com

www.eartharchitecture.org

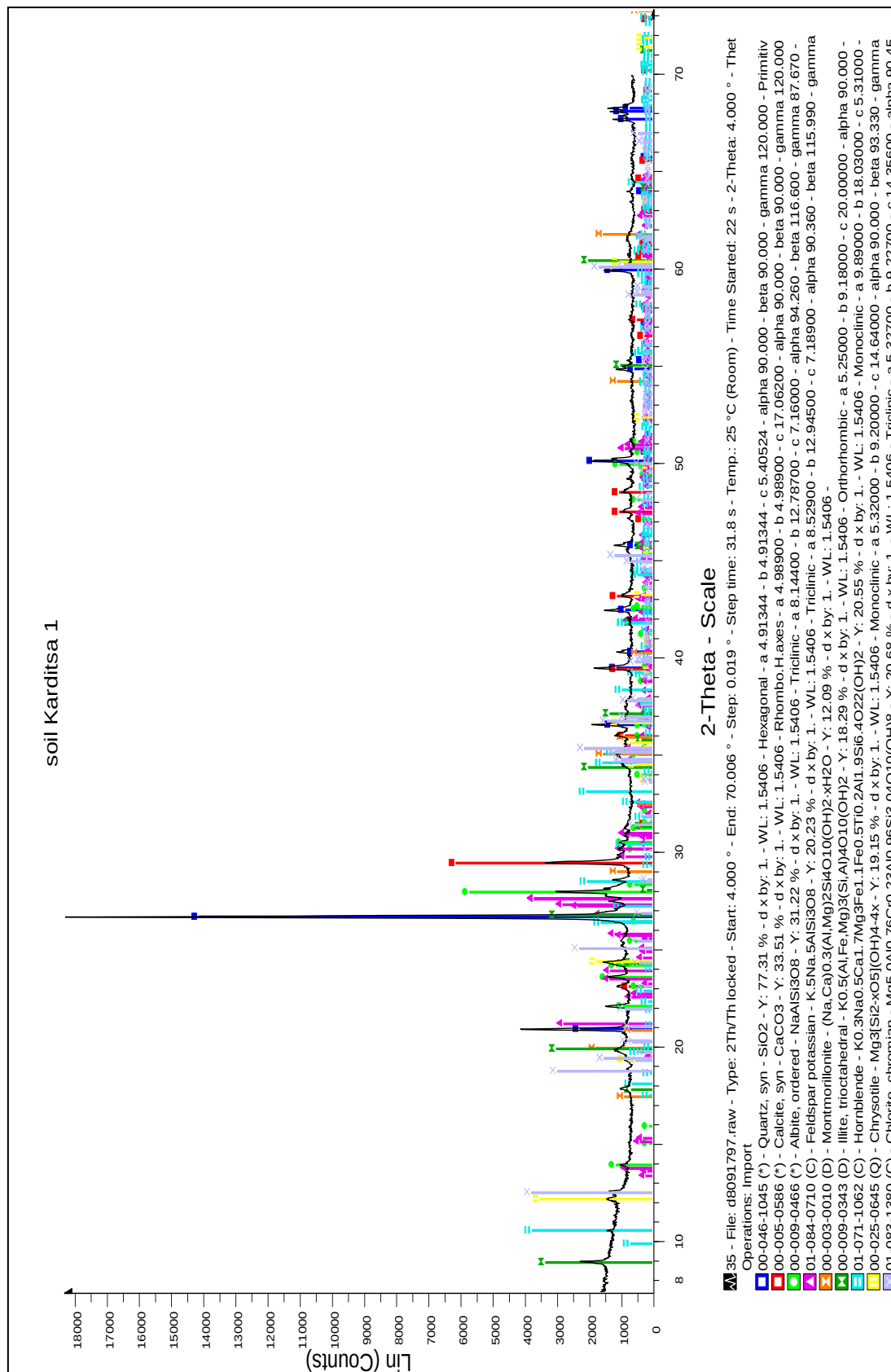
www.spitia.gr

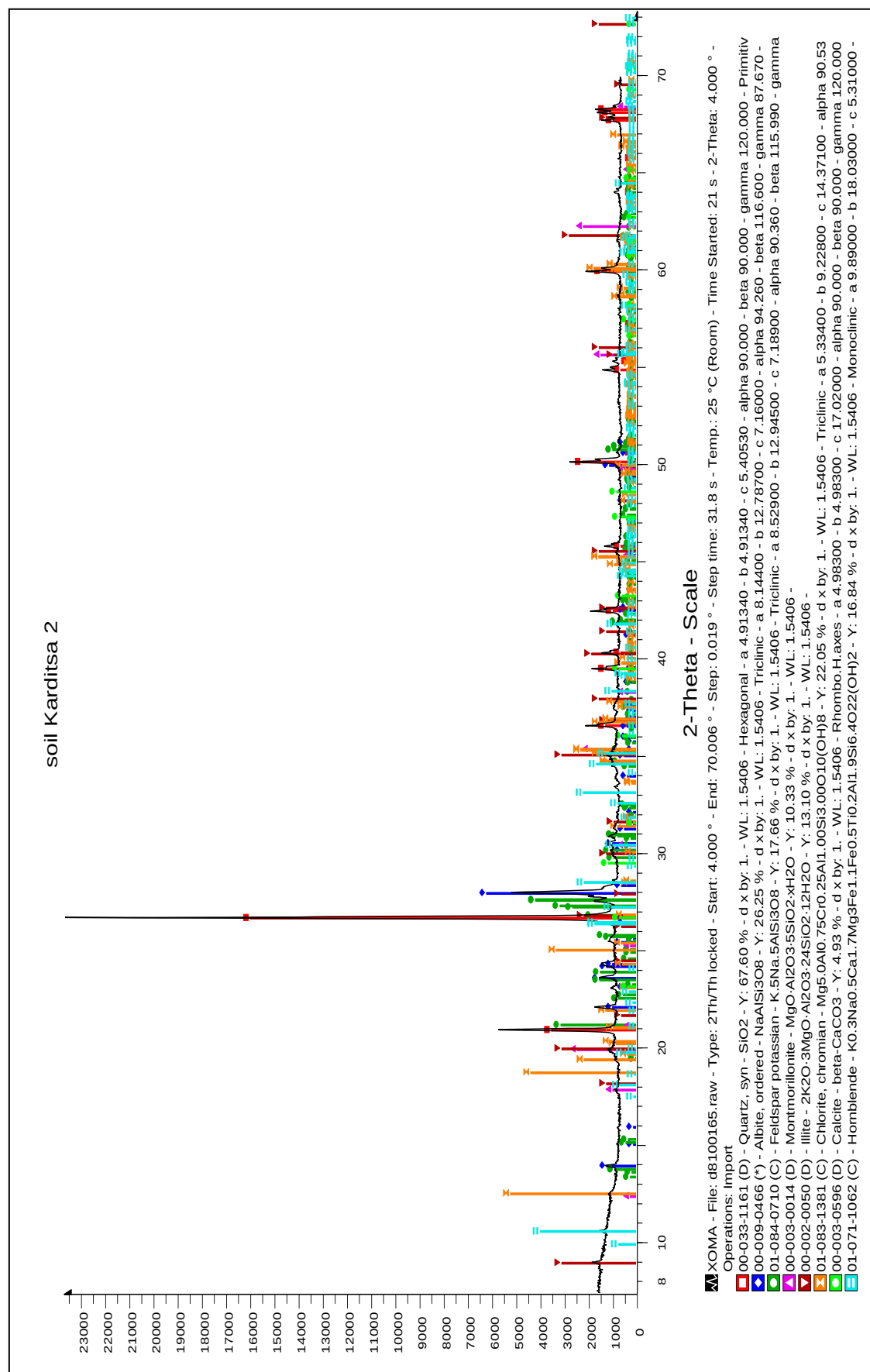
www.s-ol-ar.gr

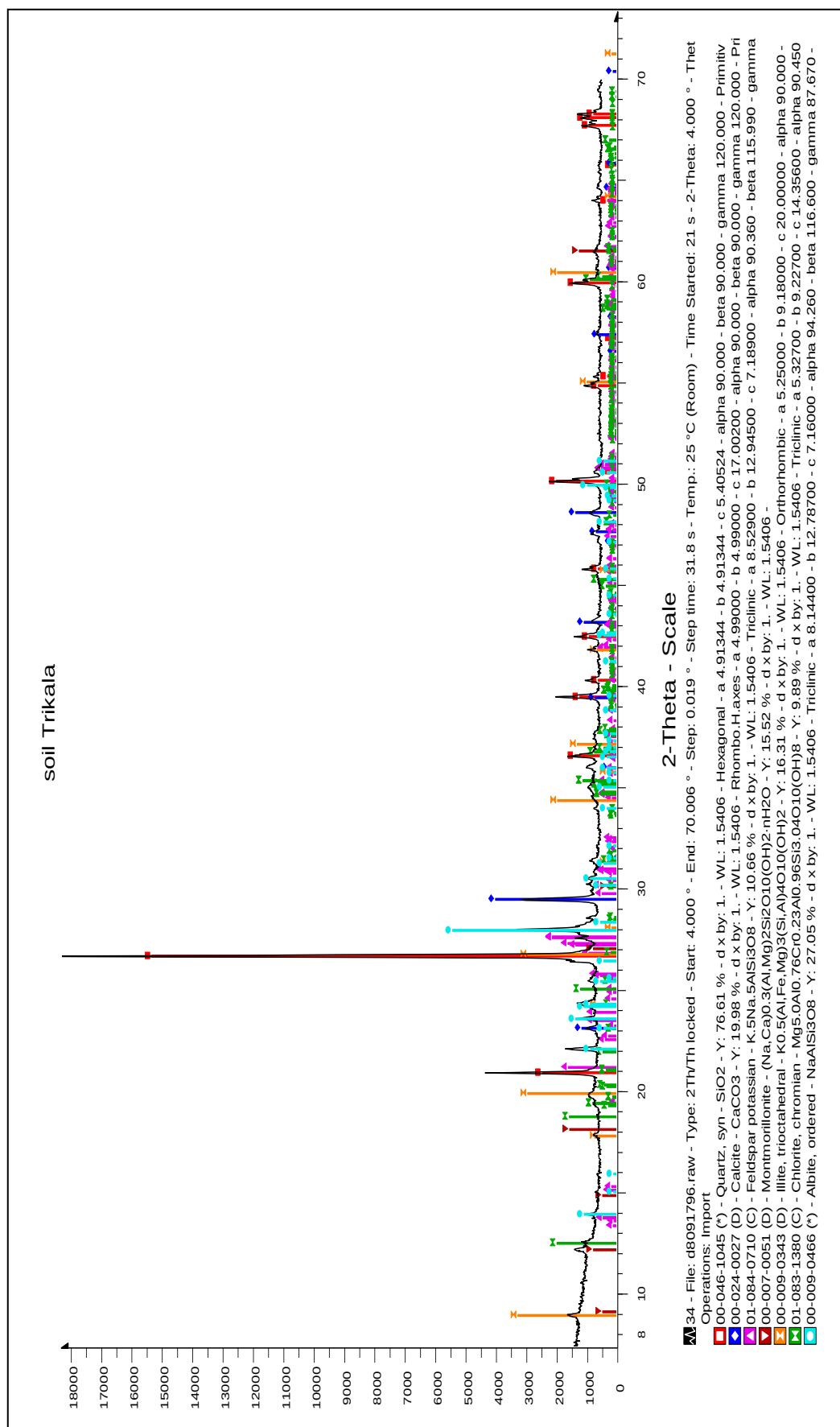
www.el.Wikipedia.org

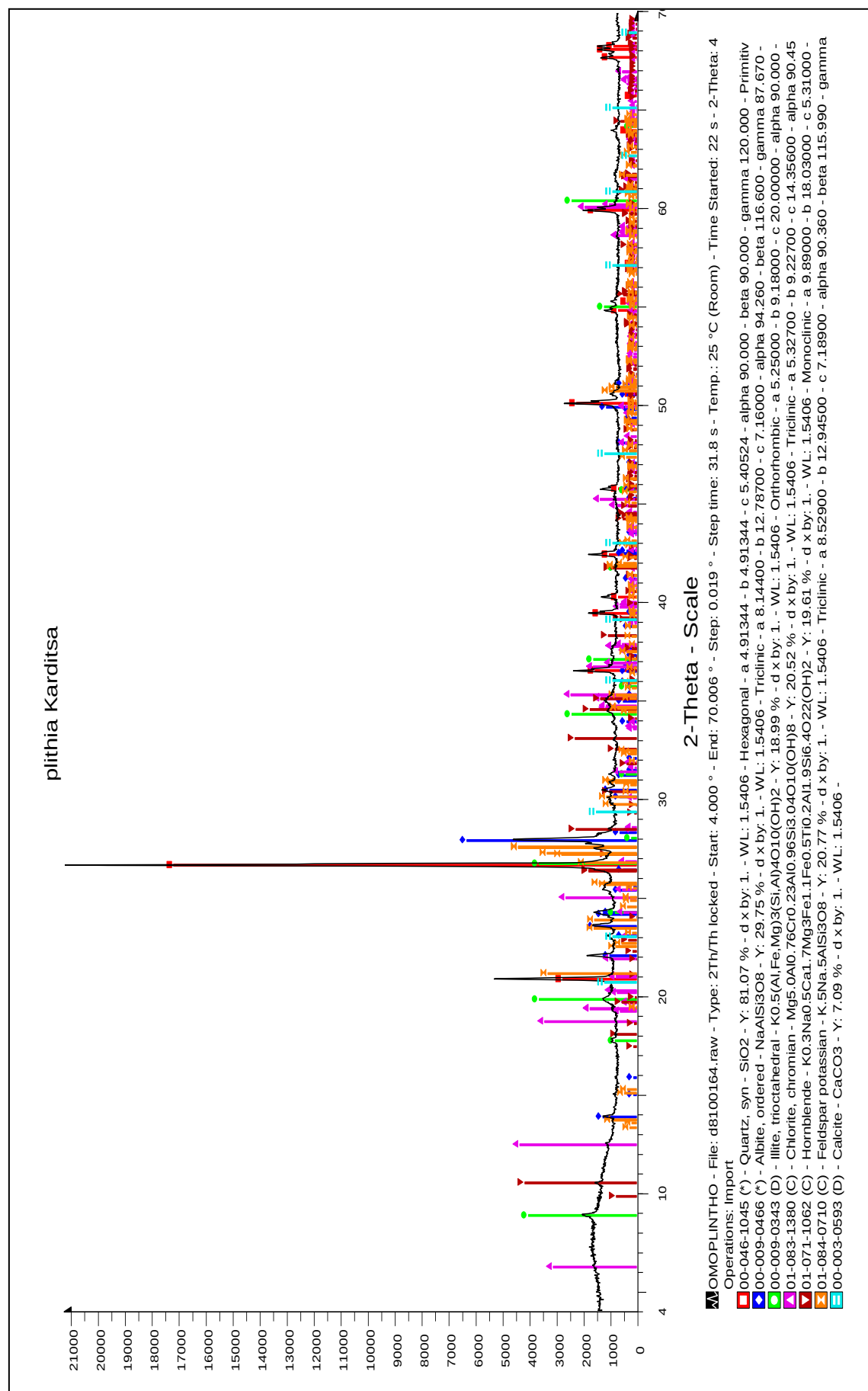
Παράρτημα

Ακτινοδιαγράμματα ορυκτολογικής ανάλυσης

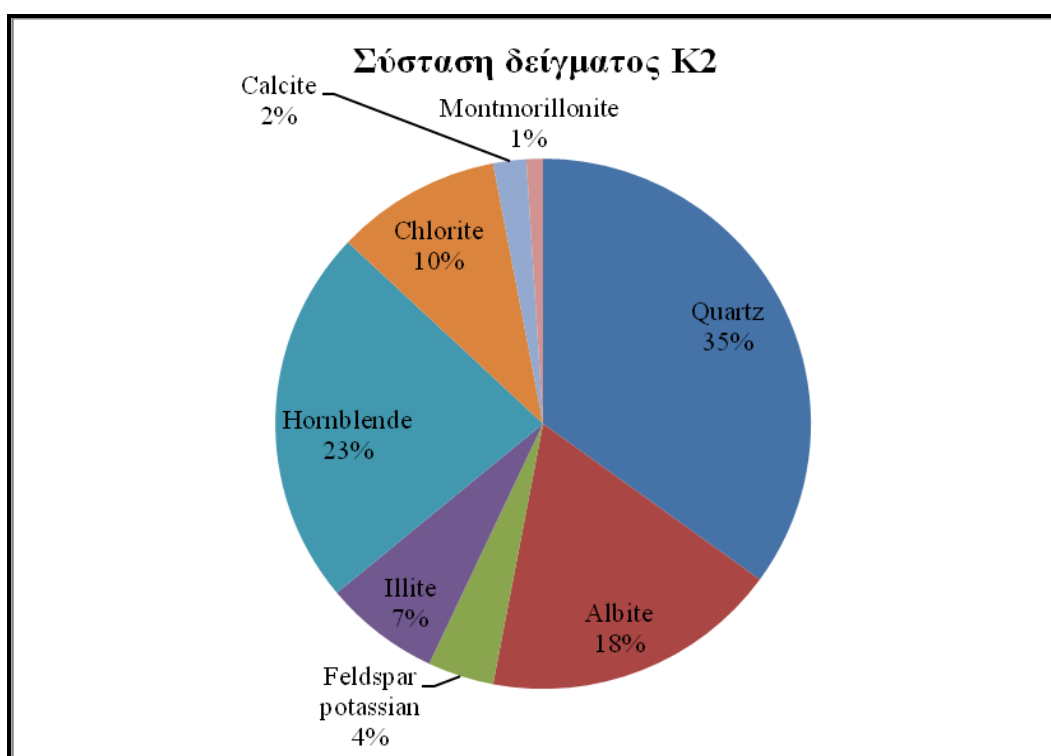
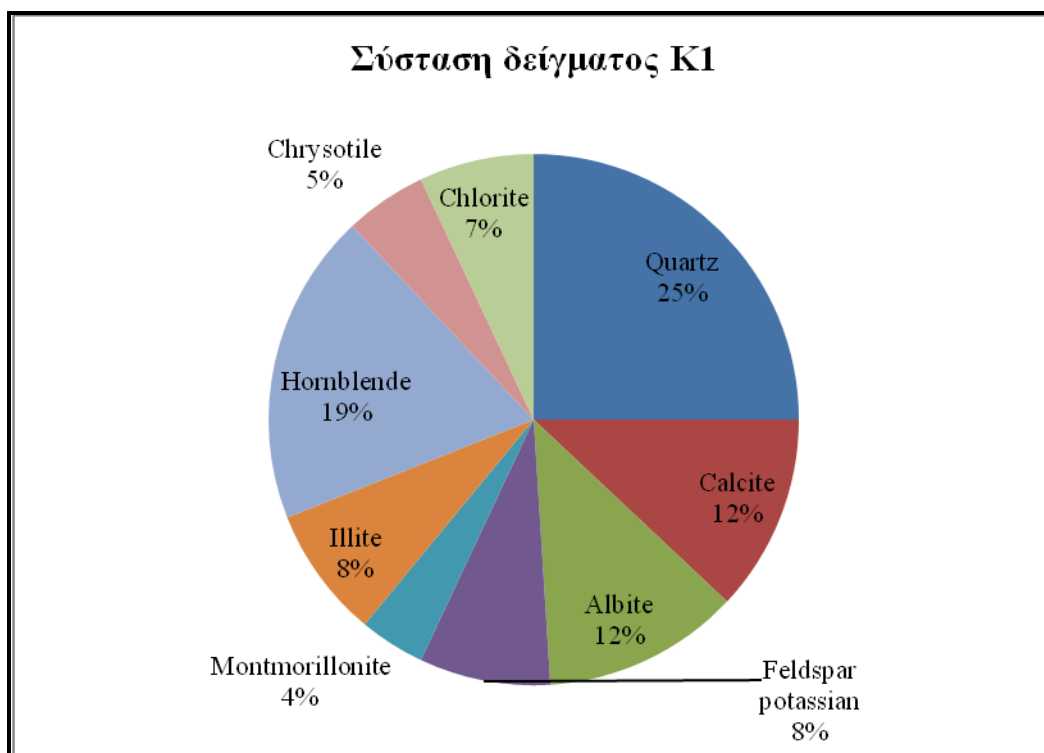




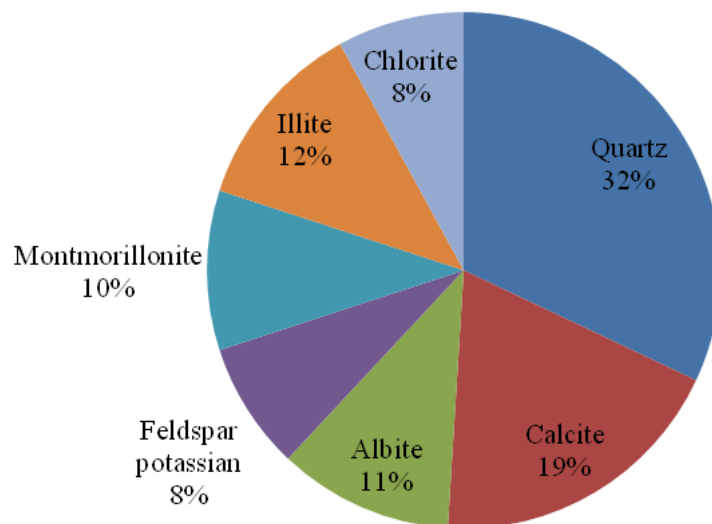




Γραφήματα ορυκτολογικής σύστασης εδαφικών δειγμάτων και ωμόπλινθου



Σύσταση δείγματος T



Σύσταση ωμόπλινθου

