



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**  
**ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ**  
**ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ, ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ, ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑΣ**  
**ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**Πετροφυσικά χαρακτηριστικά ψαμμιτών του νεογενούς (περιοχή**  
**Αρκαλοχώρι, Μεσσαρά, Κρήτη)**



**Σπαντιδάκης Στυλιανός**

**Εξεταστική επιτροπή:**

**Εμμ. Μανούτσογλου, Καθηγητής (Επιβλέπων)**

**Αντ. Βαφείδης, Καθηγητής**

**Εμμ. Στειακάκης, Επίκουρος Καθηγητής**

**Χανιά, Ιανουάριος 2017**



Η έγκριση της παρούσας διπλωματικής εργασίας από το Πολυτεχνείο Κρήτης, δεν σημαίνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Νόμος 5343/1932, άρθρο 202).



Στηνοικογένειάμου

## Περίληψη

Σε μία εκτεταμένη περιοχή στην κεντρική Κρήτη, εντός της λεκάνης της Μεσσαράς, έχουν παρατηρηθεί κατά το παρελθόν διαφυγές αερίου από υδρογεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Γεωτρητικά δεδομένα υπέδειξαν ότι το μεθάνιο βρίσκεται πέραν των ιλυολίθων εντός ψαμμιτικών στρωμάτων που φιλοξενούν νερό υψηλής αλατότητας. Στην ευρύτερη γεωλογική λεκάνη της Μεσσαράς, οι ψαμμίτες που έχουν δημιουργηθεί, είναι ηλικίας από το Μέσο Μειόκαινο έως το Πλειόκαινο, ενώ ανήκουν σε διαφορετικά αποθετικά περιβάλλοντα. Συνεπώς τα πετροφυσικά χαρακτηριστικά των ψαμμιτών του Νεογενούς όπως το πορώδες, η διαπερατότητα και η κοκκομετρική κατανομή εξαρτώνται από τις προαναφερθείσες ιζηματολογικές συνθήκες, καθώς και από την διαδικασία της διαγένεσης.

Στόχος λοιπόν της εργασίας αυτής είναι η μέτρηση για πρώτη φορά του πορώδους και της διαπερατότητας με μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται στην έρευνα υδρογονανθράκων, σε μια μοναδική για την λιθολογική του εναλλαγή γεωλογική τομή κατά μήκος μιας νέας τεχνητής τομής που διανοίχτηκε κατά την κατασκευή του δρόμου από το Αρκαλοχώρι προς την Μάρθα. Κατά μήκος της τομής αυτής εμφανίζονται οι σχηματισμοί της Ομάδας του Τεφελίου: οι σχηματισμοί Βιάννου και Σκινιά και Αμπελούζου που εμφανίζουν κατά μήκος της τομής αυτής έντονα και διακριτά λιθολογικά χαρακτηριστικά, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες περιοχές της Μεσσαράς. Σε παραπλήσιας κοκκομετρίας (ψαμμίτες) αλλά διαφορετικής λιθολογίας πετρώματα (ψαμμίτες με διαφορετικά ποσοστά πυριτιοκλαστικών και ανθρακικών υλικών) προσεγγίστηκαν ιζηματολογικοί παράμετροι και σε ορισμένα δείγματα μετρήθηκαν και συγκρίθηκαν οι δύο πετροφυσικοί παράμετροι: το πορώδες και η διαπερατότητα. Στα ίδια δείγματα καθορίστηκαν ιζηματολογικοί παράμετροι που επέτρεψαν πέραν από τον λιθολογικό χαρακτηρισμό, την προσέγγιση του αποθετικού περιβάλλοντος των αρχικών ιζημάτων.

## **Abstract**

In an extended area in central Crete, within the basin of Messara, there have been observed gas losses from wells. The drilling data show that the methane is not only located inside mudstones but also in high salinity sandstone layers.

In the general geological basin of Messara, the sandstones that have been created, are estimated to be at the age of Middle Miocene to Pliocene, while they belong to different depositional environments. This leads to the conclusion that the petrophysical characteristics of the Neogene sandstones, such as porosity, permeability, and grain size appropriation are depended on the sedimentological conditions and the diagenesis procedure.

The target of this study is to determine, for the first time, porosity and permeability using typical methods of hydrocarbon research, in a unique for its lithological alternation geological section which is located along the road from Arcalochori to Martha. Along this section there are appearances of the formation of Tefeli Group: Formations of Viannos, Skinias and Ampelouzos appear along this section intense geological characteristics, in contrast with the rest areas of Messara basin. In sandstones of similar grain size appropriation but different lithology (sandstones of different siliclastic and carbonate percentage) sedimentological parameters have been varied. In a number of samples both porosity and permeability have been determined.

In the same samples sedimentological parameters have been determined. This led to the determination of the depositional environment of the initial sediment.

## Ευχαριστίες

Κατ' αρχήν οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Εμμανουήλ Μανούτσογλου, Διευθυντή της ερευνητικής μονάδας Γενικής Γεωλογίας, Τεκτονικής, Στρωματογραφίας, Γεωλογίας Περιβάλλοντος για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε τόσο κατά την επιλογή του θέματος όσο και κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Εν συνεχεία θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής Καθηγητή κ. Αντώνιο Βαφείδη και Επίκουρο Καθηγητή κ. Εμμανουήλ Στειακάκη, για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή και τις πολύτιμες συμβουλές τους κατά το εργαστηριακό και το θεωρητικό σκέλος της εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Επιπροσθέτως οφείλω να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα της Σχολής Μηχανικών ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Πυλιώτη Ιωάννη για την πολύτιμη συνεισφορά του κατά την εκτέλεση των πειραματικών διαδικασιών και την επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν. Ακόμα ένα θερμό ευχαριστώ πρέπει να αποδοθεί στον υποψήφιο διδάκτορα της Σχολής Μηχανικών ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Παναγόπουλο Γεώργιο για τις υποδείξεις του σε θέματα επεξεργασίας μετρήσεων και εργασίας υπαίθρου.

Επιπλέον πρέπει να ευχαριστήσω το προσωπικό των εργαστηρίων που με φιλοξένησαν, προσφέροντας την πολύτιμη συνδρομή τους. Ευχαριστώ τον Δρ. Μαρινάκη Δημήτριο από το Εργαστήριο Ανάλυσης Ρευστών και Πυρήνων Υπόγειων Ταμιευτήρων και για την πολύτιμη βοήθειά του κατά την επεξεργασία των μετρήσεων που προέκυψαν, το προσωπικό του εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων κ. Παντελάκη Όλγα και κ. Πετράκη Ευάγγελο για τη διάθεση και την άριστη συνεργασία καθώς και τον κ. Μαυριγιαννάκη Στυλιανό για τις πολύτιμες συμβουλές του στο εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων.

Οφείλω να ευχαριστήσω τους αγαπητούς φίλους, συμφοιτητές και συνεργάτες κ. Μαντζιώκα Ηρακλή και κ. Γιόφκο Μιχαήλ για την συνεργασία κατά την επίπονη διαδικασία της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος ευχαριστώ τους φίλους και συμφοιτητές Πιτσόλη Γεώργιο, Ζωντανό Φώτιο, Τσώλη Χαραλαμπία, Φλουρή Κωνσταντίνο, Νησανάκη Γεώργιο, Πετρόπουλο Παναγιώτη, Μπαλαμώτη Ιωάννη, Πανουτσόπουλο Αθανάσιο, Μπριντάκη Ιωάννη και Κορδιστό Δημήτριο για την πολύτιμη ηθική στήριξη που μου παρείχαν απλόχερα καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

## Περιεχόμενα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ .....	1
Περίληψη .....	4
Abstract.....	5
Ευχαριστίες.....	6
1. Εισαγωγή .....	9
2. Γεωγραφικά – Γεωλογικά Στοιχεία .....	14
2. 1 Γεωγραφικά Στοιχεία της Νήσου Κρήτης .....	14
2. 1. 1 Η Γεωγραφία της Μεσσαράς.....	14
2. 2 Γεωλογική Επισκόπηση .....	15
2.2.1. Απόψεις για την Νεοτεκτονική Εξέλιξη της Κρήτης .....	24
2.3. Γεωλογικό περίγραμμα της περιοχής μελέτης .....	29
3. Πορώδες – Διαπερατότητα.....	33
3. 1 Γενικά για το Πορώδες και τη Διαπερατότητα .....	33
3. 2 Πορώδες.....	33
3.2.1. Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το πορώδες .....	35
3.2.2. Λοιπές ταξινομήσεις του Πορώδους.....	36
3. 3 Μεθοδολογίες Προσδιορισμού Πορώδους .....	38
3. 4 Διαπερατότητα .....	44
3. 5 Προσδιορισμός Διαπερατότητας Πετρωμάτων.....	45
4. Μεθοδολογίες .....	53
4. 1 Εργασία Υπαίθρου .....	53
4. 2 Διαμόρφωση δοκιμίων .....	56
4. 3 Μέτρηση του πορώδους .....	60
4. 4 Πειραματική Διαδικασία Προσδιορισμού Διαπερατότητας.....	63
4.5. Ιζηματολογική Ανάλυση-Κοκκομετρικές Αναλύσεις.....	66
5. Αποτελέσματα.....	72
5.1. Αποτελέσματα Δοκιμών Προσδιορισμού Πορώδους και Διαπερατότητας .....	72
5.2. Αποτελέσματα Ιζηματολογικών Αναλύσεων.....	79

5.3. Διαγράμματα Προσδιορισμού Αποθετικού Περιβάλλοντος ..... 87

6. Συζήτηση και Συμπεράσματα ..... 89

Βιβλιογραφία ..... 90

    Διεθνής ..... 90

    Ελληνική..... 93

    Διαδίκτυο ..... 98

Παράρτημα ..... 99

    Παράρτημα 1 Περιοχή Δειγματοληψίας..... 100

    Παράρτημα 2 Πυρήνες- Πυρηνολυψίας..... 112

    Παράρτημα 3. Πίνακες Τιμών-Διαγράμματα Διαπερατότητας..... 117

    Παράρτημα 4 Κοκκομετρικές Αναλύσεις..... 122





## 1. Εισαγωγή

Στην Κρήτη, μεταξύ των ορεινών όγκων του Ψηλορείτη στα βόρεια, των Αστερουσίων στα νότια και του όρους Δίκτη στα ανατολικά εκτείνεται η πεδιάδα της Μεσσαράς που αποτελεί το σημαντικότερο γεωμορφολογικό κομμάτι της νήσου όσον αφορά τον αγροτικό τομέα. Η λεκάνη της Μεσσαράς αποτελεί τμήμα της λεκάνης (basin) της Μεσσαράς, μιας γεωλογικής δομής για την ερμηνεία της δημιουργίας, της εξέλιξης αλλά και της χωρικής κατανομής των δεκάδων λιθοτύπων της οποίας έχουν συγγραφεί πολλές επιστημονικές εργασίες και παρόλα αυτά οι έρευνες συνεχίζονται.

Η κίνηση του βαρυτικού νερού εντός των διαφορετικής λιθολογίας και ηλικίας υδροφορέων της ευρύτερης λεκάνης, η λεπτομερής διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών του πολύπλοκου αυτού συστήματος, καθώς και η αξιολόγηση κατάλληλων μεθόδων και ομοιωμάτων που μπορούν να εφαρμοσθούν στις επιμέρους συνιστώσες της διαχείρισης των υδάτων, ώστε να υπάρξει μια ρεαλιστική προσέγγιση της διαχρονικής κατάστασής των, η οποία θα συμβάλλει στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων κυρίως στην κατεύθυνση της προστασίας έχουν παρουσιαστεί και αναλυθεί διεξοδικά (από Κριτσωτάκης 2009).

Εντός της λεκάνης της Μεσσαράς υπάρχουν ηχηρές ενδείξεις για ύπαρξη πιθανού γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας στη νότια περιοχή των Μοιρών, όπως αναφέρεται σε μελέτη του Ι. Γ. Μ. Ε. (Νικολάου, 1994). Τα πιο πρόσφατα στοιχεία σχετικά με πιθανή ύπαρξη γεωθερμικών πεδίων στην Μεσσαρά (από Κυρκιμτζή 2013), προέκυψαν από μετρήσεις θερμοκρασίας σε υδρογεωτρήσεις στις περιοχές Περί, Πλάτανος και Μελιδοχώρι (από Αμβράζης 2015; Σμπώκος 2015; Αγριμάκη 2016). Για την κατανόηση της κίνησης των υδροθερμικών ρευστών είναι απαραίτητη η γνώση πετροφυσικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων (κυρίως του πορώδους και της διαπερατότητας) ή/και των τεκτονικών δομών (ρηγμάτων, διακλασεων κτλ.) εντός των οποίων γίνεται η κίνηση των υδροθερμικών ρευστών. Στα πλαίσια αυτά βασικές έννοιες όπως υδραυλική αγωγιμότητα ενός υδροφόρου σχηματισμού μπαίνουν σε προτεραιότητα.

Ως υδραυλική αγωγιμότητα ενός γεωλογικού σχηματισμού, περιγράφεται η ιδιότητα του να επιτρέπει τη ροή υγρού μέσα από τη μάζα του. Ο Darcy απέδειξε ότι για γραμμική ροή μέσα σε κύλινδρο (μήκους  $L$ ) υπάρχει αναλογία μεταξύ της ποσότητας του νερού που διέρχεται στη μονάδα του χρόνου (παροχή  $Q$ ) και της απώλειας δυναμικού ( $\Delta H$ ) μεταξύ δύο σημείων της διαδρομής του νερού (από Στειακάκης, 2012). Θεωρώντας ένα συντελεστή  $k$  για να αποδώσει την αναλογία αυτή, διατύπωσε τη σχέση:

$$q = k \times A \times i = k \times A \times (\Delta H / L) \quad (\text{Εξίσωση 1. 1})$$

όπου,

$q$  : ρυθμός ροής,  $m^3/s$

$k$  : υδραυλική αγωγιμότητα,  $m/s$

$\Delta H/L = i$ : υδραυλική βαθμίδα

$\Delta H$  : απώλεια φορτίου μεταξύ δύο σημείων της διαδρομής του νερού

$L$  : απόσταση των σημείων,  $m$

$A$  : εμβαδόν διατομής δοκιμίου,  $m^2$

Ο νόμος του Darcy ισχύει για ένα μεγάλο εύρος τύπων εδαφών και υδραυλικών βαθμίδων όταν υπάρχει στρωτή ροή μέσω των κόκκων (Olson and Daniel, 1981). Δεν ισχύει όμως για πολύ μεγάλες υδραυλικές βαθμίδες σε χονδρόκοκκα εδάφη όπου η ροή από στρωτή γίνεται τυρβώδης. Ο νόμος του Darcy δεν ισχύει επίσης όταν εφαρμόζονται πάρα πολύ μικρές υδραυλικές βαθμίδες σε αργιλικά κυρίως υλικά. Γίνεται φανερό ότι ενώ αναγνωρίζεται η ύπαρξη πόρων και διαπερατότητας με την κλασσική αυτή διάταξη ο Darcy ενσωμάτωσε τις δύο αυτές έννοιες με την πρακτική της μέτρησης του ρυθμού ροής του πορώδους μέσου. Έτσι λοιπόν στην προσέγγιση της κίνησης του βαρυτικού νερού (πολύ δε περισσότερο στην κίνηση των γεωθερμικών υδάτων που είναι ακόμα πιο πολύπλοκη) αναγνωρίζεται η ύπαρξη πετροφυσικών χαρακτηριστικών όπως **το πορώδες και η διαπερατότητα** αλλά στην βασική εξίσωση της υπόγειας ροής π. χ. σε ένα υπό πίεση υδροφόρο στρώμα, αναγνωρίζεται ότι η τρισδιάστατη ροή εξελίσσεται σε ένα **ισότροπο και ομοιογενές πορώδες μέσο**. Τα βασικά πετροφυσικά μεγέθη του πορώδους και της διαπερατότητας των πετρωμάτων «εμπεριέχονται» σε άλλα μετρούμενα βασικά μεγέθη όπως π. χ. την παροχή ανά μονάδα πλάτους ενός υδροφόρου στρώματος.

Η μελέτη της υδροπερατότητας ή υδραυλικής αγωγιμότητας ιζημάτων και πετρωμάτων που εμπίπτουν στην περιοχή των «εδαφικών σχηματισμών», που είναι απαραίτητη για το σχεδιασμό γεωτεχνικών έργων (π. χ. φράγματα, λιμνοδεξαμενές, επιχώματα), αλλά και για τη διαπίστωση της καταλληλότητας υλικών στεγάνωσης σε Χ. Υ. Τ. Α, μπορεί είτε να μετρηθεί εργαστηριακά με διάφορου τύπου περατομέτρων (εύκαμπτου (flexible wall) και άκαμπτου (rigid wall) τύπου) μες διάφορες διατάξεις και τεχνικές είτε (δοκιμή πίπτοντος υδραυλικού φορτίου, σταθερού υδραυλικού φορτίου) είτε εκτιμώνται με εμπειρικούς τύπους (μέσω μίας παραλλαγής του τύπου Kozeny Carman, κατά Breyer, κατά Slitcher) είτε εναλλακτικά γίνεται εκτίμηση της υδραυλικής αγωγιμότητας με βάση το  $d_{10}$  κατά Hazen (Ishaku J., et al., 2010) (από Μιχάλας, 2013) :

$$k = g_v \times 8.3 \times 10^{-3} \times [n_3(1 - n) \times 2] \times d_{210} \text{ (Εξίσωση 1. 2)}$$

όπου,

$k$  : υδραυλική αγωγιμότητα,  $cm/s$

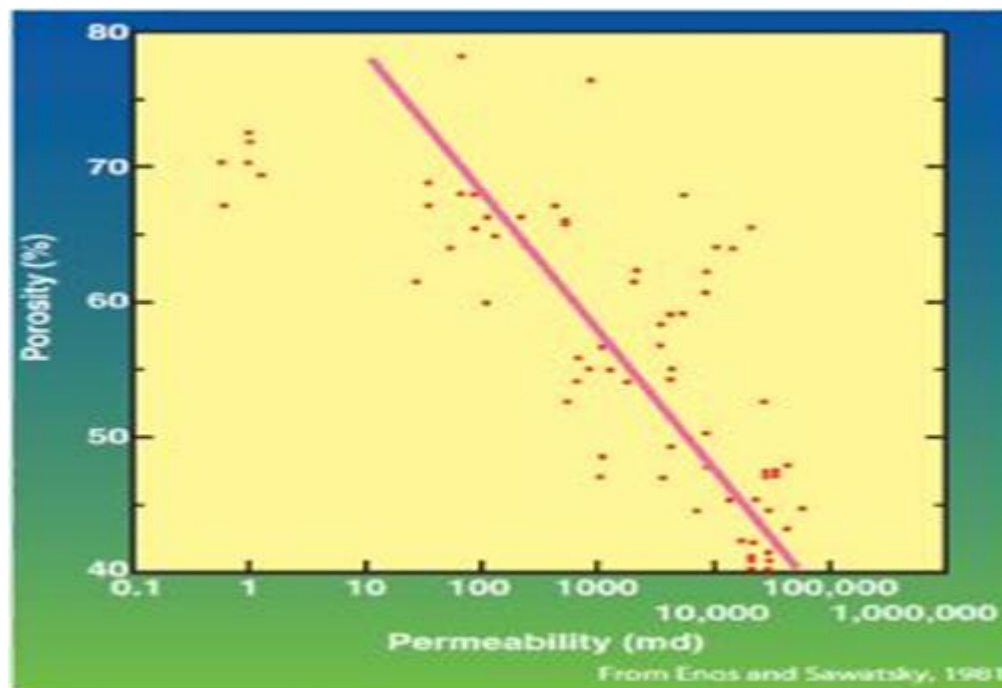
$d_{10}$  : ενεργό μέγεθος που αντιστοιχεί στο μέγεθος του 10 % κατά βάρος των λεπτόκοκκων κόκκων,  $cm$

$g$  : επιτάχυνση της βαρύτητας,  $cm/s^2$

$\nu$  : κινηματικό ιξώδες νερού,  $0.01 \text{ cm}^2/s$

$n$  : πορώδες, %

μια σχέση που απαιτεί προηγουμένως την μέτρηση του πορώδους.

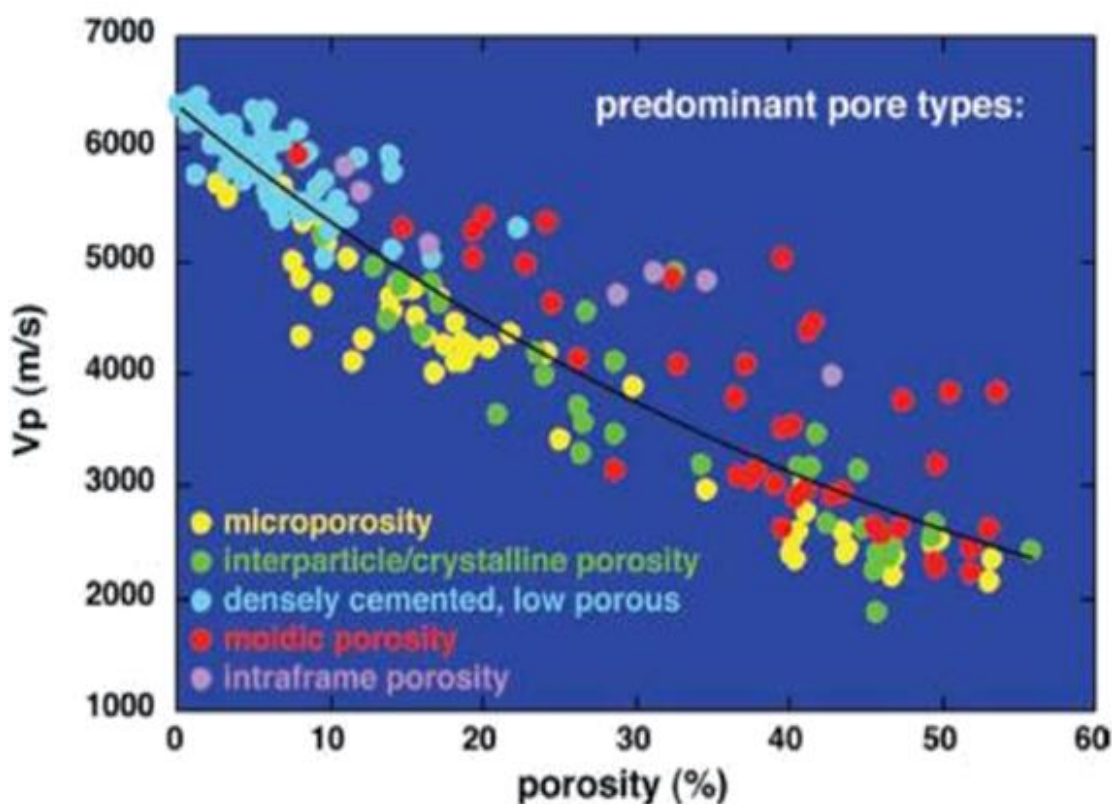


Εικόνα1.1. Σχέση κατανομής πορώδους και διαπερατότητας σε ανθρακικά πετρώματα του Ολόκαινου(Moore&Wade,2013)

Σε κάθε επιστημονική περιοχή έχουν παγιωθεί μεθοδολογίες μέτρησης πορώδους και διαπερατότητας. Στην μελέτη ταμιευτήρων υδρογονανθράκων, τα δύο αυτά βασικά μεγέθη (πορώδες και διαπερατότητα) των γεωλογικών σχηματισμών είτε μετρούνται και συσχετίζονται άμεσα (Εικ. 1. 1) είτε συσχετίζονται στην ερμηνεία γεωφυσικών δεδομένων (Εικ. 1. 2).

Η ποσοτική ερμηνεία σεισμικών δεδομένων είναι μια σημαντική τεχνολογία στην αναζήτηση υδρογονανθράκων που στόχο έχει να προβλέψει ιδιότητες ενός ταμιευτήρα.

Χρησιμοποιούνται στις βασικές αρχές της φυσικής των πετρωμάτων για να μετασχηματίσουν ακουστικές ιδιότητες προερχόμενες από σεισμικές μεθοδολογίες σε ιδιότητες ενός ταμειυτήρα π. χ. ο όγκος των πόρων, ο τύπος ρευστών των πόρων ή η λιθολογία. Σε ψαμμίτες, η ταχύτητα μπορεί να προβλεφθεί/υπολογιστεί με τη χρήση μοντέλων φυσικής των πετρωμάτων που ενσωματώνουν παραμέτρους, όπως το πορώδες, όγκος των αργιλικών σχιστών, ο τύπος της ρευστής φάσης, ή/και η επικρατούσα ορυκτολογία (Baechle, 2009).



Εικόνα 1. 2. Σχέση κατανομής ταχυτήτων κυμάτων P με κατανομή διαφόρων τύπων πορώδους από δείγματα ανθρακικών πετρωμάτων (Anselmenti & Emerly, 1993).

Η εκμετάλλευση του παραγόμενου βιογενούς μεθανίου σε αβαθείς σχηματισμούς έχει αποκτήσει σημαντικό ενδιαφέρον παγκόσμια, λόγω της αυξημένης ζήτησης. Ειδικά σε χώρες, όπως η Ελλάδα, με εξαιρετικά περιορισμένη συμμετοχή της εγχώριας παραγωγής υδρογονανθράκων στο ενεργειακό ισοζύγιο, η κατεύθυνση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία, ακόμη και για μικρού όγκου παραγωγές, κατάλληλες για χρήση σε τοπική θέρμανση ή σε γεωργικές εκμεταλλεύσεις. Σε μια εκτεταμένη περιοχή (~30km<sup>2</sup>) στην κεντρική Κρήτη, εντός της λεκάνης της Μεσσαράς, έχουν παρατηρηθεί πολυάριθμες διαφυγές αερίων σε υδρογεωτρήσεις διαφορετικού βάθους. Τα αέρια αυτά αποτελούνται κυρίως από μεθάνιο (~90% κ. ό.) και άζωτο. Η σύσταση αυτή είναι χαρακτηριστική των αερίων προϊόντων από βιογενετικές διεργασίες (διαγένεση) της οργανικής ύλης. Τα γεωτρητικά δεδομένα στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος με τίτλο: «Εντοπισμός και αξιολόγηση βιοαερίου

*Νεογενών σχηματισμών της περιοχής Αρκαλοχωρίου του Ν. Ηρακλείου Κρήτης για ενεργειακή χρήση» που συγχρηματοδοτήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) και τη Δημοτική Επιχείρηση Αρκαλοχωρίου στα πλαίσια του ΠΕΠΕΡ – ΚΡΗΤΗΣ «Τεχνολογικά επιδεικτικά έργα» υποδεικνύουν την ύπαρξη ιλυολίθων και ψαμμιτικών στρωμάτων, τα οποία συνήθως φιλοξενούν νερό υψηλής αλατότητας (Panagopoulos et al., 2011).*

Η ύπαρξη και η σχετική συσσώρευση του βιογενούς αερίου εντός των πετρωμάτων των Νεογενών σχηματισμών (κυρίως ψαμμίτες και ιλυολίθους) σχετίζεται με την ύπαρξη πορώδους και διαπερατότητας στα πετρώματα αυτά. Από την διεθνή βιβλιογραφία είναι γνωστό ότι σε σχέση με τους ταμιευτήρες “συμβατικού αερίου”(conventional gas) οι ταμιευτήρες “μη συμβατικού αερίου”(unconventional gas) χαρακτηρίζονται από χαμηλό πορώδες και μικρή διαπερατότητα. Στα λεπτοκοκκώδη αυτά κλαστικά πετρώματα οι κύριοι πετροφυσικοί παράμετροι επηρεάζονται ουσιαστικά από τις κύριες γεωλογικές διεργασίες: αποθετικές και διαγενετικές.

Στόχος λοιπόν της εργασίας αυτής είναι η μέτρηση για πρώτη φορά του πορώδους και της διαπερατότητας με μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται στην έρευνα υδρογονανθράκων, σε μια μοναδική για την λιθολογική του εναλλαγή γεωλογική τομή κατά μήκος μιας νέας τεχνητής τομής που διανοίχτηκε κατά την κατασκευή του δρόμου από το Αρκαλοχώρι προς την Μάρθα. Κατά μήκος της τομής αυτής εμφανίζονται οι σχηματισμοί της Ομάδας του Τεφελίου: οι σχηματισμοί Βιάννου και Σκινιά και Αμπελούζου που εμφανίζουν κατά μήκος της τομής αυτής έντονα και διακριτά λιθολογικά χαρακτηριστικά, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες περιοχές της Μεσσαράς. Σε παραπλήσιας κοκκομετρίας (ψαμμίτες) αλλά διαφορετικής λιθολογίας πετρώματα (ψαμμίτες με διαφορετικά ποσοστά πυριτιοκλαστικών και ανθρακικών υλικών) προσεγγίστηκαν ιζηματολογικοί παράμετροι και σε ορισμένα δείγματα μετρήθηκαν και συγκρίθηκαν οι δύο πετροφυσικοί παράμετροι: το πορώδες και η διαπερατότητα. Στα ίδια δείγματα καθορίστηκαν ιζηματολογικοί παράμετροι που επέτρεψαν πέραν από τον λιθολογικό χαρακτηρισμό, την προσέγγιση του αποθετικού περιβάλλοντος των αρχικών ιζημάτων.



## **2. Γεωγραφικά – Γεωλογικά Στοιχεία**

### **2. 1 Γεωγραφικά Στοιχεία της Νήσου Κρήτης**

*Η Κρήτη αποτελεί το μεγαλύτερο νησί του ελλαδικού χώρου και βρίσκεται στα νότια του Αιγαίου πελάγους. Πρόκειται για μια επιμήκη χερσαία περιοχή με γενική διεύθυνση Α-Δ, με το Κρητικό πέλαγος να βρέχει τις βόρειες ακτές του νησιού και το Λιβυκό πέλαγος να βρέχει τις νότιες. Οι μεγαλύτερες πόλεις βρίσκονται στη βόρεια πλευρά του και είναι από τα δυτικά προς τα ανατολικά τα Χανιά, το Ρέθυμνο, το Ηράκλειο, ο Αγ. Νικόλαος και η Σητεία, οι οποίες αποτελούν και λιμάνια που συνδέοντας το νησί με την ηπειρωτική Ελλάδα. (από Βασιλάκης, 2006) Κατά μήκος της νότιας ακτογραμμής συναντώνται μικρότερες πόλεις (Ιεράπετρα, Αγία Γαλήνη, Χώρα Σφακίων).*

*Οι μεγάλοι ορεινοί όγκοι στο νησί είναι τρεις. Τα Λευκά όρη, (2. 452 m), στο δυτικό τμήμα της Κρήτης, νότια της πόλης των Χανίων. Ο Ψηλορείτης (Ίδη) (2. 456 m) βρίσκεται στην κεντρική Κρήτη, μεταξύ των νομών Ηρακλείου και Ρεθύμνου και το όρος Δίκτη (2. 148 m) βρίσκεται μεταξύ των νομών Ηρακλείου και Λασιθίου, όπου έχει δημιουργηθεί το μεγάλης έκτασης οροπέδιο του Λασιθίου (από Μορέλας, 2014)*

*Ενδιάμεσα των ορεινών όγκων βρίσκονται οι λεκάνες του Ρεθύμνου, του Ηρακλείου και της Ιεράπετρας με μέση διεύθυνση Β-Ν. Ενώ με διεύθυνση κάθετη σε αυτή και στην περιοχή νότια του Ηρακλείου, έχει δημιουργηθεί η λεκάνη της Μεσσαράς, στο βόρειο τμήμα της οποίας βρίσκεται η περιοχή του Αρκαλοχωρίου στην οποία επικεντρώθηκε και η παρούσα διπλωματική.*

#### **2. 1. 1 Η Γεωγραφία της Μεσσαράς**

*Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας αποτελεί το νοτιοδυτικό τμήμα της πεδιάδας της Μεσσαράς. Η πεδιάδα καλύπτει έκταση 398 km<sup>2</sup> ενώ ολόκληρη η λεκάνη της Μεσσαράς περίπου 1005 km<sup>2</sup>. Ανήκει διοικητικά στην Περιφέρεια Κρήτης και πιο συγκεκριμένα στο Νομό Ηρακλείου ενώ βρίσκεται σε απόσταση 50km νότια από την πόλη του Ηρακλείου.*



Εικόνα2.1. Γεωγραφικός χάρτης της Κρήτης και η θέση της λεκάνης της Μεσσαράς (από Κρινή, 2009)

Η λεκάνη της Μεσσαράς βρίσκεται γεωγραφικά μεταξύ 34ο55' και 35ο15' Βόρεια του Ισημερινού και 24ο45' και 25ο25' Ανατολικά του Γκρίνουιτς. Οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους: α) Ίδη (2. 456 m) στο βορειοδυτικό τμήμα β) Αστερούσια Όρη (1. 231 m) στο νότιο τμήμα και γ) Δίκτη (2. 148 m) στο ανατολικό τμήμα, ενώ στο δυτικό τμήμα οριοθετείται από την περιοχή της Φαιστού και στο νοτιοανατολικό τμήμα το χωριό Δεμάτι.

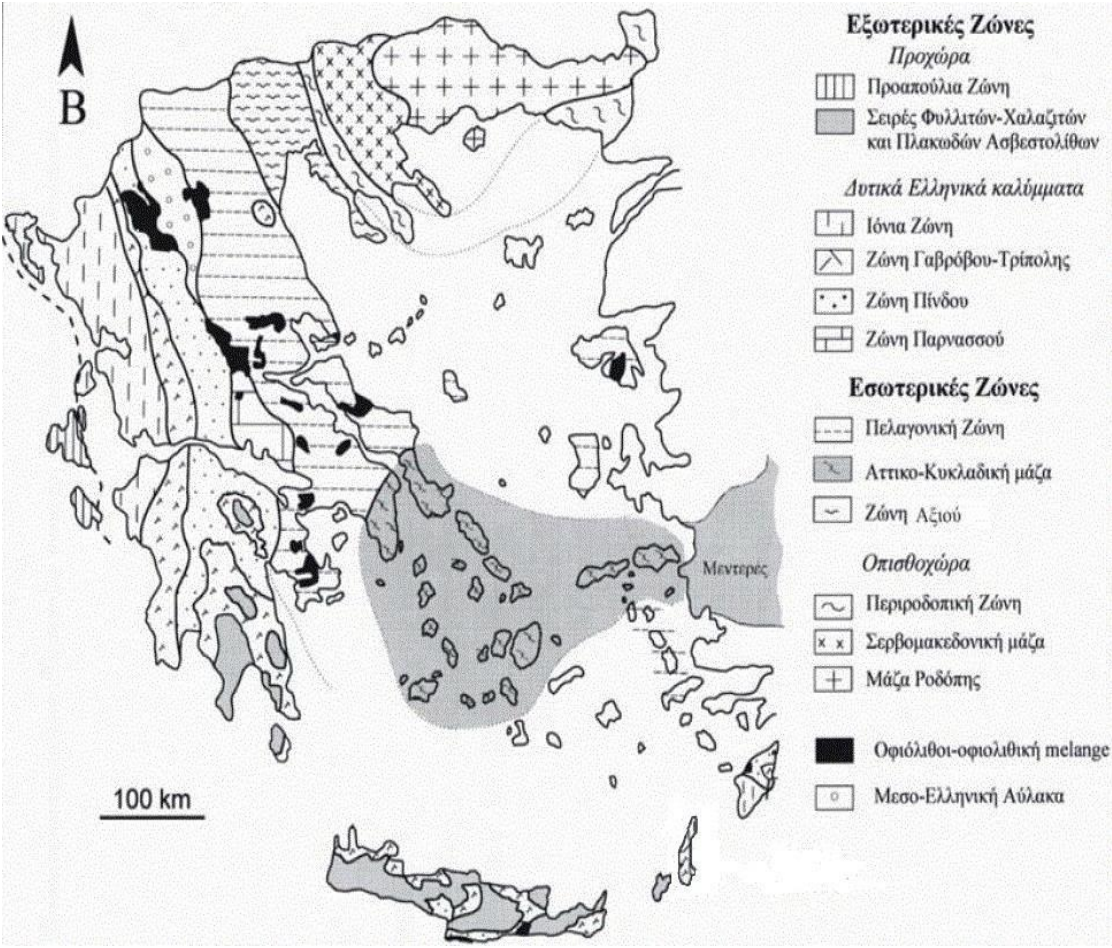
Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 445 m και η μέση κλίση 23,7%. Το ανάγλυφο είναι αρκετά έντονο με ήπιες έως μηδενικές κλίσεις στο πεδινό τμήμα της λεκάνης, έντονες κλίσεις στα πιο ορεινά τμήματα, όπως το βορειοδυτικό και το νότιο, και πολύ έντονες κλίσεις στο ανατολικό τμήμα. Από τη λεκάνη της Μεσσαράς διέρχονται δύο μεγάλοι ποταμοί, ο Γεροπόταμος (38,4 km) και ο Αναποδιάρης (46 km) που αποστραγγίζουν τη δυτική και ανατολική λεκάνη της Μεσσαράς αντίστοιχα. Άλλοι σημαντικοί ποταμοί της λεκάνης είναι οι δύο παραπόταμοι του Γεροποτάμου, ο Κατσουλίδης και ο Ληθαίος και οι δύο παραπόταμοι του Αναποδιάρη, ο Βαρύτης και ο Κολοκυθάς (από Κρινής 2009).

## 2. 2 Γεωλογική Επισκόπηση

Οι ερευνητές σήμερα, στηριζόμενοι στις νέες απόψεις της Θεωρίας των Λιθοσφαιρικών Πλακών δέχονται σχεδόν ομόφωνα την άποψη ότι η πλειονότητα των Αλπικών σχηματισμών της νήσου Κρήτης ανήκουν σε έναν ευρύτερο χώρο, τον χώρο των Εξωτερικών Ελληνίδων αλλά στην δομή της συμμετέχουν και γεωτεκτονικές ζώνες των Εσωτερικών Ελληνίδων.

Οι γεωτεκτονικές ζώνες του Ελλαδικού χώρου (Εικ. 2. 2. ) διακρίθηκαν σε Εξωτερικές και Εσωτερικές με βάση κυρίως τον ορογενετικό τεκτονισμό που οι σχηματισμοί των ζωνών αυτών έχουν υποστεί. Πιο ειδικά, οι σχηματισμοί των Εξωτερικών ζωνών έχουν υποστεί κατά το Τριτογενές ένα μόνο ορογενετικό τεκτονισμό και κατέχουν το δυτικό και νότιο τμήμα του Ελλαδικού χώρου, ενώ οι σχηματισμοί των Εσωτερικών, εκτός από τον τεκτονισμό του Τριτογενούς, έχουν υποστεί επιπλέον και έναν πρώιμο ορογενετικό τεκτονισμό, που έλαβε χώρα κατά το Ανώτερο Ιουρασικό-Κατώτερο Κρητιδικό, και κατέχουν το ανατολικό (εσωτερικό) τμήμα του ελλαδικού χώρου.

Οι γεωτεκτονικές ζώνες των Ελληνίδων αποτελούν παλαιογεωγραφικούς χώρους του «Παλαιοωκεανού» της Τηθύος, μιας ωκεάνιας περιοχής στον ευρύτερο χώρο της υπερηπείρου της Παγγαίας, ενός ηπειρωτικού τεμάχους που δημιουργήθηκε κατά την Βαρίσκια Ορογένεση. Μέσα στο ωκεάνιο χώρο της Τηθύος η ανάπτυξη μιας μεσοωκεάνιας ράχης που λειτούργησε στο Λιάσιο-Δογγέριο του Ιουρασικού οδήγησε στην διάσπαση της Παγγαίας και στην δημιουργία δύο νέων ηπειρωτικών τεμαχίων, της Λαυρασίας και της Γκοτβάνας και ταυτόχρονα στην υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού της Τηθύος κάτω από τον ηπειρωτικό φλοιό της Λαυρασίας. Το τελευταίο γεγονός που ξεκίνησε το Μέσο Ιουρασικό και ολοκληρώθηκε το Ανώτερο Ιουρασικό-Κατώτερο Κρητιδικό οριοθετεί την απαρχή του τελευταίου Ορογενετικού κύκλου του Αλπικού και ταυτόχρονα για τον Ελληνικό χώρο, την διαφοροποίηση και την τεκτονική εξέλιξη των γεωτεκτονικών Ζωνών των Ελληνίδων οροσειρών.

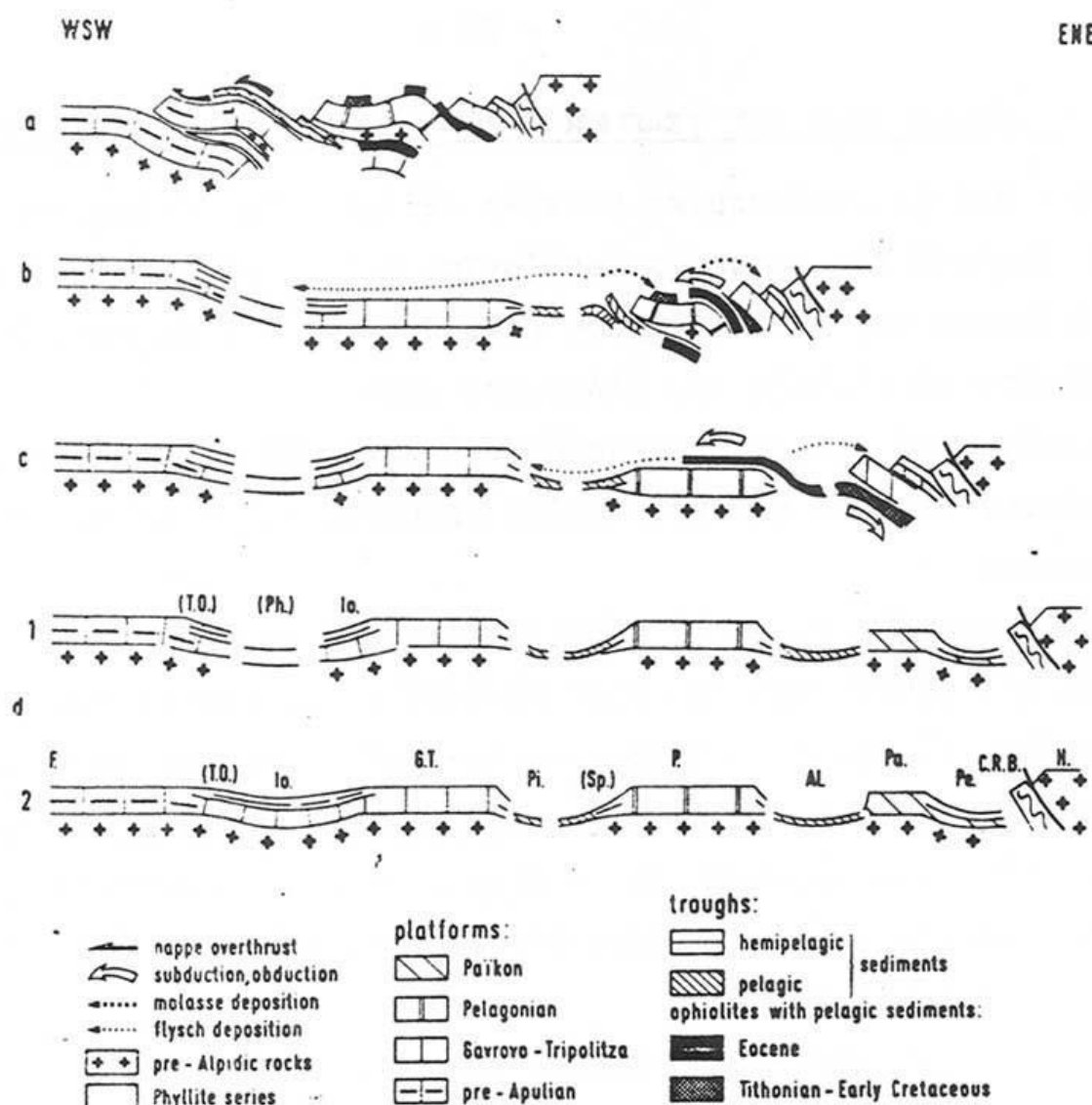


Εικόνα 2.2. Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδος(Jacobshagenetal., 1978, τροποποιημένος από Κοκκάλα, 2000)

Από τα πρωταρχικά και σημαντικά ερωτήματα με τα οποία απασχολήθηκε η παγκόσμια γεωεπιστημονική κοινότητα ήταν και παραμένει η ακριβής θέση και τα όρια του «μητρικού»



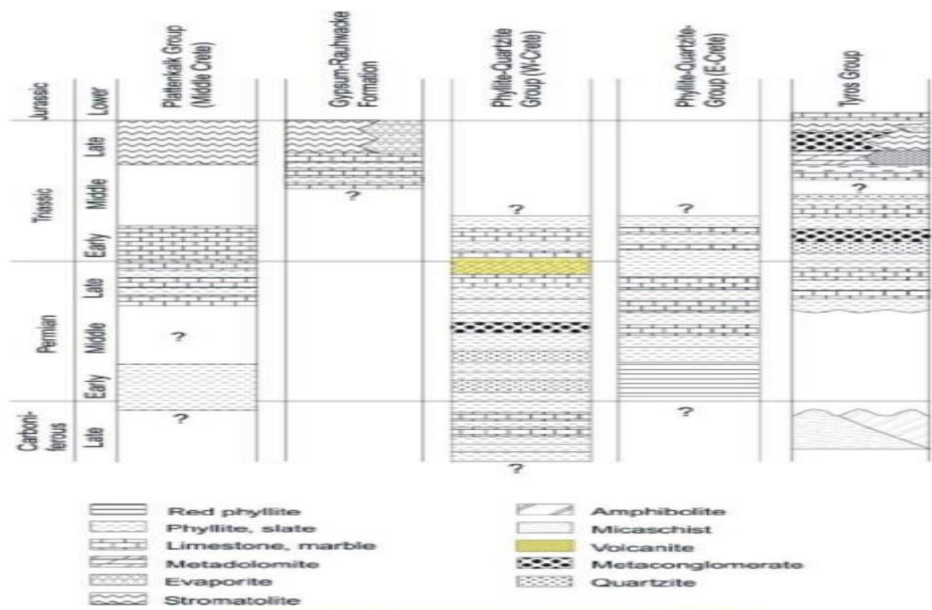
αυτού ωκεανού της Τηθύος. Ειδικότερα για τον ευρύτερο χώρο της Ελλάδας το πρόβλημα εντοπίστηκε από την αρχή της διάδοσης και εφαρμογής της νέας θεωρίας των λιθοσφαιρικών πλακών στο θέμα, με ποια από τις γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας ταυτίζεται ο ωκεανός της Τηθύος ή καλύτερα ποια ζώνη έχει τους σχηματισμούς που αντιπροσωπεύουν τον κατεστραμμένο ωκεάνιο φλοιό της Τηθύος. Η πρώτη τάση που αναπτύχθηκε στους γεωεπιστήμονες τη δεκαετία του 1970, στο ξεκίνημα της νέας θεωρίας, ήταν ότι ο ωκεάνιος χώρος της Τηθύος ταυτίζονταν με τη ζώνη Ωλονού-Πίνδου που είχε θεωρηθεί από την παλιότερα ισχύουσα «Θεωρία των συζυγών Γεωσυγκλίσεων» ως ο τυπικός ωκεάνιος χώρος, το "Ελληνικό ευγεωσύγκλινο". Σε αντίθεση με την γενικευμένη αυτήν αντίληψη το πρώτο γεωδυναμικό μοντέλο που προτάθηκε για την εξέλιξη των Ελληνίδων είναι των Jacobshagen et al. (1976) και το οποίο προβλέπει την ύπαρξη των ωκεάνιων λεκανών Παιονίας, Αλμωπίας, Υποπελαγονικής-Πίνδου και της φυλλιτικής σειράς μεταξύ Ιονίου ζώνης και «Πλακωδών Ασβεστολίθων» (Plattenkalk), Εικ. 2. 3). Οι ωκεάνιες αυτές λεκάνες λειτούργησαν σταδιακά και έκλεισαν διαδοχικά από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά από το Μάλμιο μέχρι το Μειόκαινο προκαλώντας την μετακίνηση της τεκτονογένεσης προς τα Δυτικά επηρεάζοντας διαδοχικά τις Εσωτερικές και Εξωτερικές γεωτεκτονικές Ζώνες. Στο παλαιογεωγραφικό χώρο των εξωτερικών ζωνών των Εξωτερικών Ελληνίδων και ειδικότερα στις ζώνες Παζών και Ιονίου, πάνω από την εβαποριτική ακολουθία ακολούθησε μεγάλου πάχους ανθρακική ιζηματογένεση με παρεμβολές κερατολίθων και μικρού πάχους κλαστικών σχηματισμών, μέχρι την έναρξη της απόθεσης του φλύσχη κατά το Τριτογενές. Τα πετρώματα των δύο αυτών ισοπικών/γεωτεκτονικών ζωνών εμφανίζονται σε μια ορεογραφική-χωρική διάταξη από τα βόρεια σύνορα της χώρας μέχρι την Κεντρική Πελοπόννησο. Νοτιότερα εμφανίζονται αντ'αυτών τα μεταμορφωμένα πετρώματα των Εξωτερικών Ελληνίδων. Τα πετρώματα αυτά εμφανίζονται σε μία ζώνη πάνω από 600 χλμ. και σχηματίζουν μία παραβολική καμπύλη κυρτή προς την προχώρα που ακολουθηθεί τη γεωμετρία του ελληνικού ενεργού τόξου σε μια σειρά από τεκτονικά παράθυρα όχι μόνο στην Πελοπόννησο και τα Κύθηρα αλλά κατεξοχήν στην Κρήτη (Εικ. 2. 2).



Εικόνα 2.3. Σχηματικές τομές που αναπαριστούν την ορογενετική εξέλιξη των Ελληνίδων (κατά Jacobshagen et al., 1986). Πιο συγκεκριμένα: α) Περίοδος Μέσου Μειόκαινου. Επώθηση των κεντρικών Ελληνικών καλυμμάτων (ζώνες Πίνδου, Παρνασσού, Πελαγονικής) πάνω στη ζώνη Γαβρόβου. β) Περίοδος Μέσου - Άνω. Ηωκαίνου. Κλείσιμο του ωκεάνιου χώρου της ζώνης Αζιού. Επώθηση των οφειολίθων από τη ζώνη Αζιού πάνω στην Πελαγονική. Αρχή της ιζηματογένεσης του εξωτερικού φλύσχη. Απόθεση της μολάσσης στην Μεσοελληνική αύλακα και την "αύλακα Αζιού". γ) Περίοδος Ανωτέρου Ιουρασικού - Κατωτέρου Κρητιδικού. Βύθιση του ωκεανού της ζώνης Αζιού κάτω από την Περιοδοπική ζώνη και την Ελληνική Ενδοχώρα. Αρχική τεκτονική τοποθέτηση των οφειολίθων πάνω στην Πελαγονική και δ) Περίοδος Μέσου - Άνω Ιουρασικού. Αύλακες και υβώματα μετά την περιοδοπική ορογένεση. AL = Αλμωπίας, C. R. B. = Περιοδοπική, G. T. = Γαβρόβου-Τρίπολης, H = Ενδοχώρα, Io = Ιόνιος, P = Πελαγονική, Pa = Πάικον, Pe = Παιονίας, Ph = λεκάνη φυλλιτών, Pi = Πίνδου, Sb = Υποπελαγονική, T. O. = Σειρά Plattenkalk.

Μετά το Ολιγόκαινο τα πετρώματα αυτά υποβυθίστηκαν κάτω από το υπόβαθρο της ζώνης Τρίπολης με αποτέλεσμα να υποστούν μεταμόρφωση υψηλών πιέσεων (Seidel et al., 1982). Σύμφωνα με τους Dornsiepen et al (2001), το Φυλλιτικό Κάλυμμα των εξωτερικών Ελληνίδων που εμφανίζεται στην Νότιο Πελοπόννησο και Κρήτη αποτελείται από τις τέσσερις υποενότητες (Εικόνα 2. 4).

Πάνω σε αυτά τα μεταμορφωμένα πετρώματα αποτέθηκαν ασύμφωνα στις λεκάνες που δημιουργήθηκαν κατά το Νεογενές τα αντίστοιχα ιζήματα διαφορετικής λιθολογίας από όπου και προέκυψαν τα πετρώματα του Νεογενούς (Μανούτσου 2008).



Εικόνα 2.4. Σχηματικές λιθοστρωματογραφικές στήλες των μεταμορφωμένων ενοτήτων των εξωτερικών Ελληνίδων (Dornsiepenetal., 2001)

### 2. 2. 1 Γεωλογικό περίγραμμα της Κρήτης

Κατά τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες, οι γνώσεις μας για την γεωλογική δομή της Κρήτης έχουν αυξηθεί σημαντικά. Τα αποτελέσματα των ερευνών στα πλαίσια μεγάλου αριθμού προγραμμάτων ευρωπαϊκών και εθνικών ερευνητικών ιδρυμάτων αλλά και μεμονωμένων ερευνητών, οδήγησε στην έκδοση του πρώτου συνοπτικού γεωλογικού χάρτη της Κρήτης το 1977 σε κλίμακα 1/200. 000. Όπως φαίνεται στον χάρτη αυτόν αλλά και στους επόμενους που εκδόθηκαν από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:500. 000, τμήμα του οποίου παρουσιάζεται στην Εικόνα 2. 5, το μεγαλύτερο ποσοστό προνεογενούς ηλικίας πετρωμάτων που δομούν και εμφανίζονται στην Κρήτη, ανήκουν σε ακολουθίες μεταμορφωμένων πετρωμάτων η παλαιογεωγραφική τοποθέτηση, η τεκτονική τους θέση αλλά ακόμη και η ηλικίες τους παραμένει ένα ανοικτό γεωλογικό κεφάλαιο.



Εικόνα 2.5. Τμήμα του γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος σε κλίμακα 1:500. 000, με κίτρινες και πράσινες αποχρώσεις οι λεκάνες του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς (Ι. Γ. Μ. Ε. )

Η γεωλογία της Κρήτης χαρακτηρίζεται από τη «λεπιοειδή» ανάπτυξη αλληπάλληλων επωθημένων τεκτονικών καλυμμάτων των Ελληνίδων, που κάθε ένα από αυτά συγκροτείται από διαφορετικούς λιθολογικούς σχηματισμούς και τα οποία συνωθούνται στο μικρό σχετικά γεωγραφικό χώρο του νησιού, με γενική κατεύθυνση από Βορρά προς Νότο.

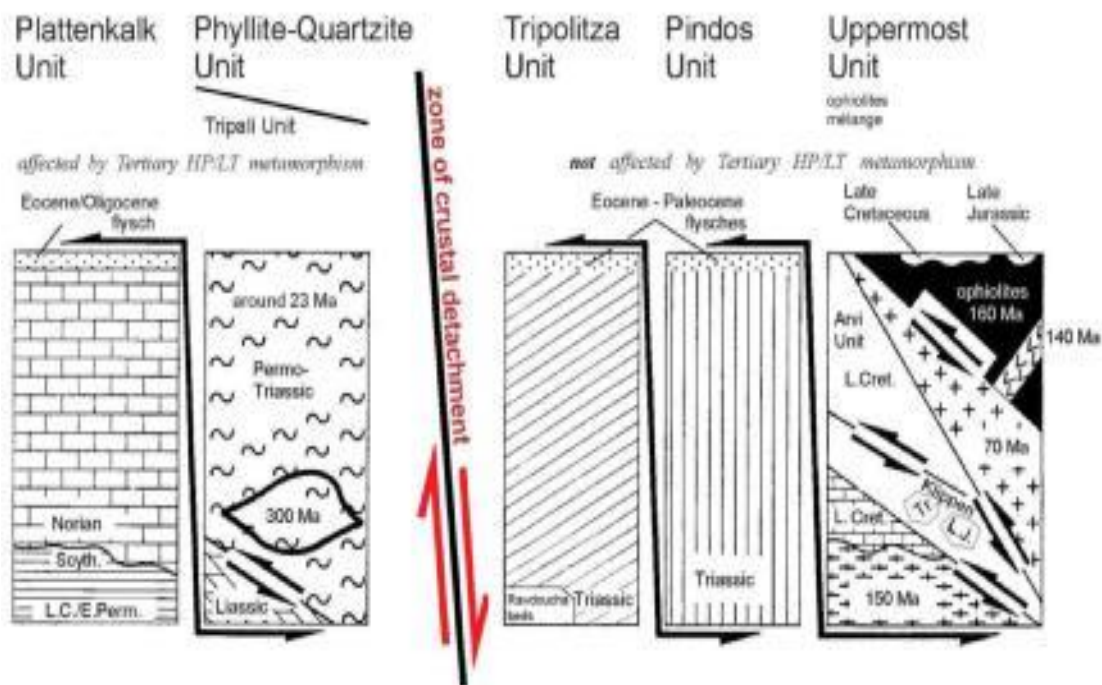
Η γενικότερη πολύπλοκη δομή της νήσου, με τη καλυμματική διάταξη είναι αποτέλεσμα τόσο των τεκτονικών διεργασιών που κορυφώθηκαν στο Τριτογενές και σχετίζονται με την υποβύθιση της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική, όσο και με διαρκή τεκτονική δραστηριότητα ακόμα και στη μεταλλική περίοδο.

Γενικά, η Κρήτη συγκροτείται από την κατώτερη τεκτονική ενότητα η οποία αποτελείται από ένα αυτόχθονο έως παραυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων που περιλαμβάνει την μεταμορφωμένη Ομάδα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων (Plattenkalk) με ηλικία από το Άνω Πέρμιο έως το Ολιγόκαινο.

Με τεκτονική επαφή, ακολουθεί ένα αλλόχθονο σύστημα επωθημένο πάνω στο (παρα) αυτόχθονο, υπό τη μορφή αλληπαλλήλων τεκτονικών καλυμμάτων αλπικών ενοτήτων, και με χαρακτηριστική λεπιοειδή διάταξη. Τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα (Εικ. 2. 6) επωθημένα το ένα πάνω στο άλλο τοποθετούνται με την ακόλουθη σειρά από το υποκείμενο προς το υπερκείμενο:

Ενότητα Τρυπαλίου αποτελούμενη από ημιμεταμορφωμένα έως μεταμορφωμένα κυρίως ανθρακικά πετρώματα ηλικίας Τριαδικό έως Λιάσιο.

Ακολούθως, η Ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών (Φυλλιτικό Κάλυμμα κατά Dornsiepen & Manutsoglu 1994) με ηλικία Άνω Πέρμιο έως και το Κάρνιο όπου στα κατώτερα τμήματα παρουσιάζονται εντός δολομιτών και ραουβάκων εμφανίσεις γύψου και ανυδρίτου και στα ανώτερα εναλλαγές φυλλιτών με στρώσεις χαλαζιτών και στρώσεις μετα-ηφαιστίων.



Εικόνα 2.6. Τεκτονική διάταξη των τεκτονωστρωματογραφικών ενότητων στη Κρήτη(τροποποιημένα από Seidel et al., 1982)

Έπεται η ενότητα Τρίπολης με το κατώτερο τμήμα να αποτελείται από την αργιλοσχιστολιθική – ανθρακική σειρά Ραβδούχα, το ανώτερο τμήμα από την ανθρακική σειρά της Τρίπολης και τέλος, στο ανώτατο τμήμα της σειράς παρουσιάζεται ο φλύσχος της ενότητας της Τρίπολης. Η ηλικία της ενότητας τοποθετείται στο Μέσο - Άνω Τριαδικό.

Ακολουθεί η Ενότητα Ωλονού – Πίνδου, όπου στην Κρήτη εντοπίζεται με τρεις σειρές: Πίνδου στη Δυτική Κρήτη με την τυπική στρωματογραφική ακολουθία της ενότητας της Πίνδου, Εθιάς στην Κεντρική Κρήτη και Μαγκασσά στην Ανατολική Κρήτη. Η ηλικία της ενότητας τοποθετείται από το Άνω Τριαδικό έως και το Μέσο Παλαιόκαινο (από Φυτρολάκης, 1980).

Πάνω από τις παραπάνω αναφερόμενες εξωτερικές ζώνες υπάρχουν σε ανώτερη τεκτονική θέση αλλόχθονα τεκτονικά λείπια των **Εσωτερικών ζωνών**: ένα σύνθετο πολύμεικτο λιθοφασικά τεκτονικό σύμπλεγμα που αποτελείται από επαλληλία καλυμμάτων (Bonneau 1984). Τα διάφορα καλύμματα τα οποία είναι επωθημένα το ένα επάνω στο άλλο από το υπερκείμενο προς το υποκείμενο είναι τα εξής:

- Οφειολιθικό κάλυμμα με σερπεντινωμένους περιδοτίτες, γάββρους, διορίτες, δολερίτες και διαβάσεις, ηλικίας Κατώτατου Ιουρασικού – Ανώτατου Κρητιδικού.



- Κάλυμμα Αστερούσιων με μετα-ιλυολιθικούς, διμαρμαρυγιακούς, χλωριτικούς, επιδοτιτικούς γνευσίους και σχιστολίθους, αμφιβολίτες και μάρμαρα ηλικίας Κατώτατου Ιουρασικού – Ανώτατου Κρητιδικού.

- Κάλυμμα Βάτου με εναλλαγές τεφρών ιλυολίθων και πάγκους από ψαμμιτικούς ασβεστολίθους και ψαμμίτες ηλικίας Ανωτέρου Ιουρασικού.

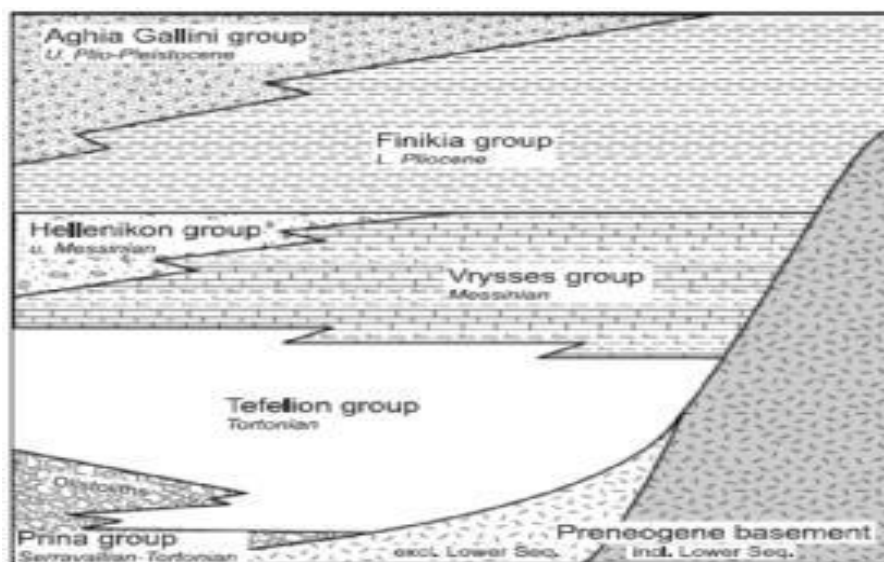
- Κάλυμμα Άρβης με βασάλτες σε «μαξιλαροειδείς λάβες» ηλικίας Ανωτέρου Κρητιδικού (Εικόνα 2. 6).

Τέλος, πάνω από τους αλπικούς σχηματισμούς βρίσκονται πετρώματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς τα οποία συνήθως έχουν κυμαινόμενο πάχος και εξάπλωση στις διάφορες περιοχές της Κρήτης. Τα πετρώματα αυτά σχετίζονται με τις μετεορεγενετικές διεργασίες που επέδρασαν στην περιοχή. Οι απόψεις για το είδος, την διαδοχή και εύρος αυτών των διεργασιών δίστανται στην βιβλιογραφία

Οι εφελκυστικές τάσεις που έλαβαν χώρα στην περιοχή της Κρήτης είχαν ως συνέπεια τη δημιουργία μεγάλων βυθισμάτων, ως αποτέλεσμα της δράσης μεγάλων ρηγμάτων με κύριες διευθύνσεις B-N και A-Δ. Οι κυριότερες λεκάνες που πληρώθηκαν με ιζήματα του Νεογενούς είναι οι λεκάνες Ηρακλείου, Μεσσαράς, Ιεράπετρας και του βορείου τμήματος Νομών Ρεθύμνου και Χανίων. Τα νεογενή αυτά ιζήματα επικάθονται ασύμφωνα στους αλπικούς σχηματισμούς και είναι χερσαίας, ποτάμιας, υφάλμυρης και θαλάσσιας προέλευσης. Παρουσιάζουν ανομοιομορφία ως προς την ηλικία τους και ως προς τη λιθολογία τους. Κατά Meulenkamp (1979) οι σχηματισμοί του Νεογενούς έχουν ομαδοποιηθεί σε λιθοφασικές ομάδες (Εικόνα 2. 7) :

- **Η Ομάδα Πρίνα** αποτελείται από ασβεστολιθικά μαύρα χονδρόκοκκα λατυποπαγή και λατυποκροκαλοπαγή με ασβεστιτικό υλικό συγκόλλησης ενώ εμπεριέχει ολισθόλιθους προνεογενών ασβεστολίθων. Αποτελεί τη βάση των Νεογενών ιζημάτων στις περιοχές της ανατολικής και δυτικής Κρήτης, ή μεταβαίνει πλευρικά ως προς την αμέσως Νεότερη. Η ηλικία της Ομάδας Πρίνα προσδιορίζεται στο Μέσο Μειόκαινο και το περιβάλλον απόθεσης χαρακτηρίζεται μη θαλάσσιο ως υφάλμυρο ή ρηχό θαλάσσιο (Meulenkamp, 1979; Φυτρολάκης, 1980).
- **Η Ομάδα Τεφελίου** τοποθετείται ασύμφωνα είτε πάνω στην Ομάδα Πρίνα, είτε απευθείας πάνω στο προ νεογενές υπόβαθρο. Αποτελείται από χαλαρά θαλάσσια και ποταμολιμναία κροκαλοπαγή, άμμους, αργίλους και ιλύ. Η ηλικία τους τοποθετείται από το Σερραβάλλιο έως το Άνω Τορτόνιο (Meulenkamp, 1979; Βασιλάκης 2006). **Η Ομάδα Τεφελίου αποτελείται από τους σχηματισμούς Βιάννου, Σκινιά και Αμπελούζου.**

- **Η Ομάδα Βρυσών** συντίθεται από το **σχηματισμό της Αγίας Βαρβάρας** και τοποθετείται υπερκείμενη είτε της Ομάδας Τεφελίου είτε του αλπικού υποβάθρου. Αποτελείται από θαλάσσιους βιοκλαστικούς ή υφαλογενείς ασβεστόλιθους, εναλλαγές φυλλωδών και ομογενών μαργών, οι οποίες κατά τόπους εμπεριέχουν παρεμβολές γύψων. Η ηλικία της Ομάδας των βρυσών τοποθετείται στο Άνω Τορτόνιο έως το Κάτω Μεσσήνιο (Meulenkamp, 1979).
- **Η Ομάδα Ελληνικού** παρουσιάζεται τοποθετημένη ασύμφωνα σε παλαιότερους Νεογενής σχηματισμούς ή κατά θέσεις, απευθείας επάνω στο υπόβαθρο ή επάνω στην ομάδα Βρυσών στην οποία όμως κατά τόπους παρεμβάλετε. Περιλαμβάνει ερυθρωπά χερσαίας προέλευσης κροκαλοπαγή, ποταμολιμναίες σχετικώς λεπτόκοκκες αποθέσεις και ενίοτε υφάλμυρες και λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις με εμπεριεχόμενα λεπτά στρώματα γύψου. Η Ομάδα Ελληνικού αποτέθηκε κατά τη διάρκεια της κρίσης αλατότητας του Μεσσηνίου με την ηλικία της να προσδιορίζεται στο Άνω Μεσσήνιο. Στις περιοχές της κεντρικής και ανατολικής Κρήτης δεν υπάρχουν εμφανίσεις της Ομάδας Ελληνικού.
- **Η Ομάδα Φοινικιάς** συντίθεται από το **σχηματισμό της Φοινικιάς** και τοποθετείται επί των στρωμάτων της Ομάδας Ελληνικού, Βρυσών ή του προνεογενούς υποβάθρου. Αποτελείται από ανοιχτής θάλασσας αργίλους και μάργες οι οποίες ενίοτε παρουσιάζουν πυριτικές ενστρώσεις ενώ τμήμα της βάσης της Ομάδας Φοινικιάς, περιέχει ένα λατυποπαγές αποτελούμενο από ιζήματα του Μειόκαινου και του Κατώτερου Πλειόκαινου. Η ηλικία της Ομάδας της Φοινικιάς είναι Πλειοκαινική.
- **Η Ομάδα Αγίας Γαλήνης** συντίθεται από το **σχηματισμό της Αγίας Γαλήνης** και βρίσκεται υπερκείμενη της Ομάδας της Φοινικιάς και κατά ένα μέρος αποτελεί πλευρική αντιστοιχία της. Εμπεριέχει χονδροκλαστικά υλικά, χερσαία ερυθρά κροκαλοπαγή και ποταμοδελταϊκές άμμους και αργίλους. Αποτελεί την τελευταία ενότητα του Νεογενούς στην Κρήτη η οποία ανήκει στο Άνω Πλειόκαινο ή πιθανά στο Άνω Πλειστόκαινο (Meulenkamp, 1979; Ten Veen & Kleinspehn, 2003).



Εικόνα 2.7. Σχηματική απεικόνιση της λιθοστρωματογραφίας της Κρήτης, με τις μεγαλύτερες ομάδες, σχηματισμών του Νεογενούς και το πρωτογενές υπόβαθρο(αδιαίρετο). Παρουσιάζεται η μεταξύ τους σχέση όσο αφορά τη κατακόρυφη και οριζόντια θέση αλλά και τη στρωματογραφική εξέλιξη τους(Meulenkamp, 1979).

Επάνω στους σχηματισμούς του Νεογενούς ή απευθείας στο προ νεογενές υπόβαθρο υπέρκεινται ασύμφωνα τα ιζήματα του Τεταρτογενούς. Πρόκειται για συγκεκολλημένους ή ασύνδετους χερσαίους σχηματισμούς η ηλικία των οποίων τοποθετείται στο Πλειστόκαινο και νεότερη, ενώ οι μορφές τους ποικίλουν σε πλευρικά κορήματα σε κλιτύες, σε αλλουβιακά ριπίδια στις εξόδους χειμάρρων και σε αλλουβιακές αποθέσεις (Meulenkamp, 1979; Φυτρολάκης, 1980).

### 2.2.1. Απόψεις για την Νεοτεκτονική Εξέλιξη της Κρήτης

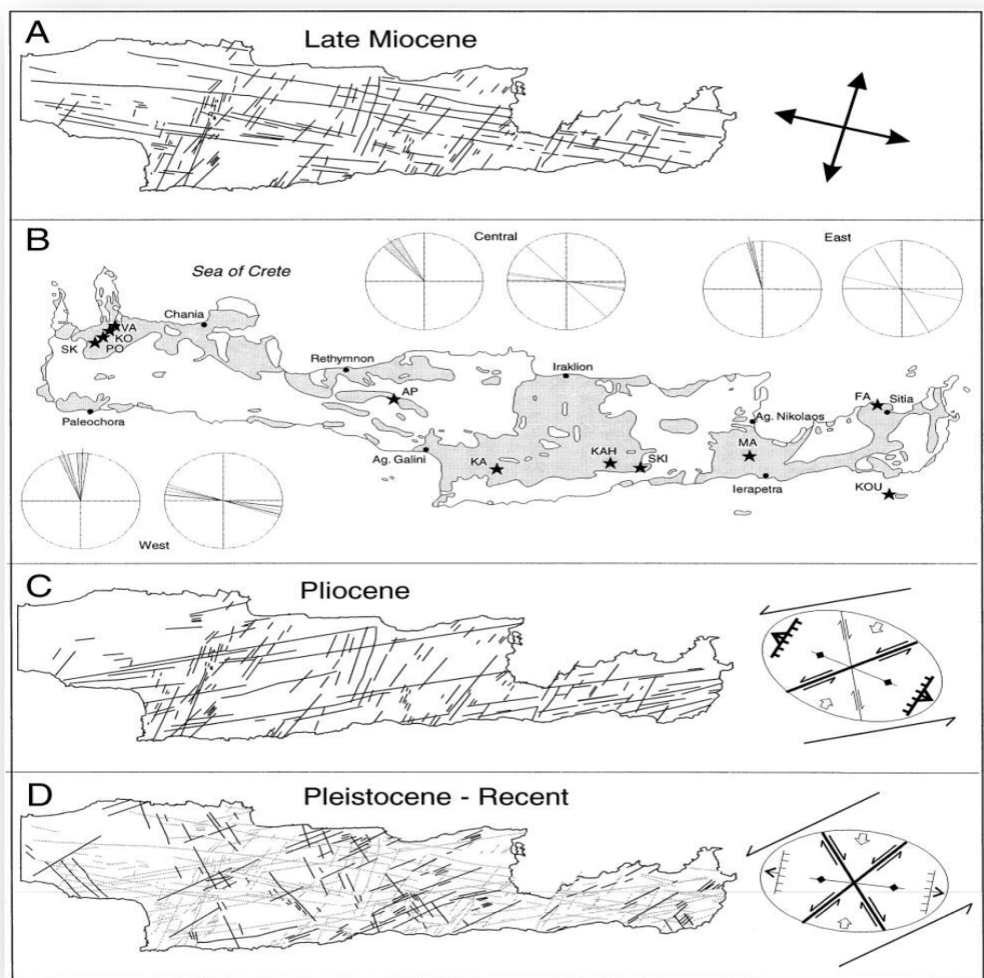
Την άποψη του McKenzie (1972, 1978) που οριοθέτησε την εκκίνηση της νέας θεωρίας των Τεκτονικών Πλακών με την υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την πλάκα του Αιγαίου υποστήριξαν μεταξύ των πρώτων οι Pichon & Angelier (1979) που πρότειναν ότι η έναρξη της υποβύθισης κατά μήκος του ελληνικού τόξου φαίνεται να ξεκίνησε 13 εκ. χρόνια πριν και ότι το σύστημα της τάφρου μετακινείται προς τα Ν-ΝΔ, προκαλώντας ένα εφελκυστικό καθεστώς στην περιοχή προ του τόξου, το οποίο οδήγησε σε γενική βύθιση και στον σχηματισμό του σημερινού Αιγαίου.

Σε αντίθεση οι Meulenkamp et al. (1988) υποστήριξαν ότι η υποβύθιση έχει ξεκινήσει 26 εκ. χρόνια πριν και ότι οι διεργασίες, όπως ο κατακερματισμός της Κρήτης σε βυθίσματα που αποτέλεσαν τις διάφορες λεκάνες του Νεογενούς, 12 εκ. χρόνια πριν δεν πρέπει να αποδίδονται στην έναρξη της υποβύθισης αλλά σχετίζονται με την έναρξη διαδικασιών οπισθοχώρησης του ορογενούς (N-NN μετανάστευση της ελληνικής τάφρου).



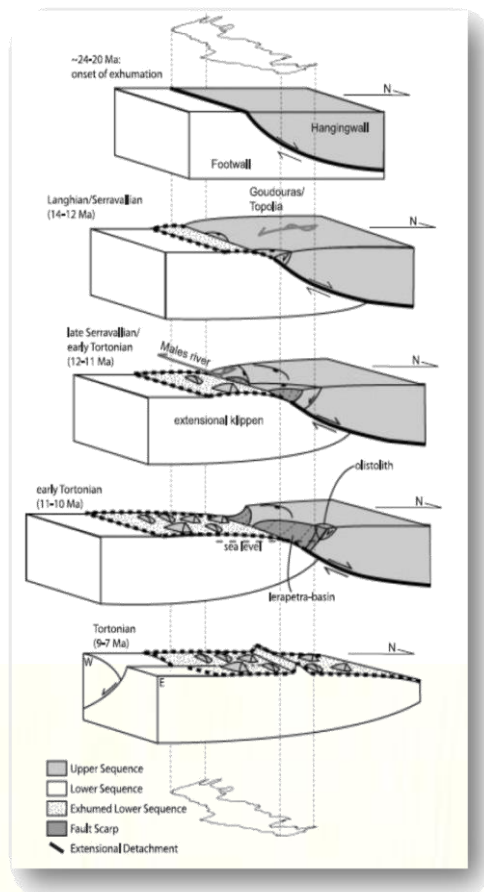
Οι *ten Veen & Meijer (1998)* περιγράφουν την ύπαρξη πέντε τεκτονικών σταδίων για την κεντρική και ανατολική Κρήτη (Εικόνα 2. 8) τα οποία είναι τα εξής: 1) Πριν το Άνω Μειόκαινο (Άνω Σερραβάλλιο) η συμπίεση ήταν ο κυρίαρχος τύπος παραμόρφωσης σχηματίζοντας πτυχές διεύθυνσης B130A και B100A. 2) Στο Κατώτατο Τορτόνιο ένα σύστημα κανονικών ρηγμάτων διευθύνσεων B130E και B100E, παρουσιάζοντας ορθορομβική συμμετρία. 3) Το χρονικό διάστημα από Κάτω Τορτονίου έως το Κάτω Μεσσήνιο από παραμόρφωση κατά μήκος κανονικών ρηγμάτων B100A και B020A διεύθυνσης. Η δράση αυτών των ρηγμάτων πυροδότησε τον κατακερματισμό της Κρήτης 4) Στην διάρκεια του Κάτω Πλειόκαινου δημιουργήθηκαν ρήγματα B075A διεύθυνσης, τα οποία αντιπροσωπεύονται από πολλές εκ των γωνιωδών ασυμφωνιών που παρατηρούνται μεταξύ των του Μεσσηνίου και του Κάτω Πλειόκαινου. 5) Για το διάστημα από το Πλειστόκαινο έως σήμερα δεν παρέχουν στοιχεία επειδή τα αντίστοιχα ιζήματα είναι φτωχά διατηρημένα και δεν παρείχαν ικανοποιητικά δεδομένα (από Μπελιβάνη, 2013).





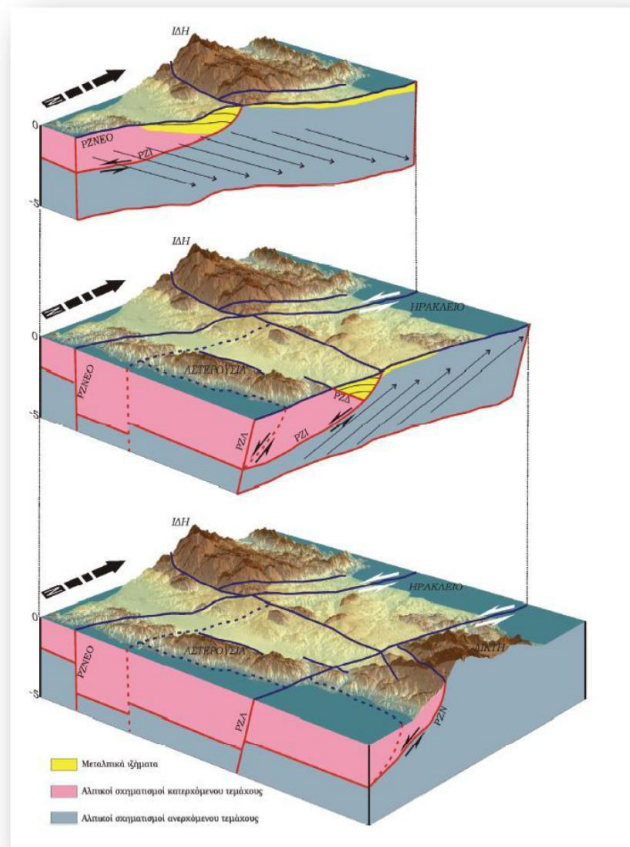
Εικόνα 2.8. Τεκτονοστρωματογραφικά επεισόδια στην κεντρική και ανατολική Κρήτη (Duermeijer et al. 1998)

Κατά van Hinsbergen & Meulenkamp (2006) η νεοτεκτονική εξέλιξη της Κρήτης συνδέεται με μια ζώνη αποκόλλησης που επέτρεψε αφενός την άνοδο των μεταμορφωμένων ενοτήτων της νήσου αλλά αφετέρου την δημιουργία «τεκτονικών ρακών» και περιοχών ιζηματογένεσης μεταξύ αυτών, χώρων δηλαδή που πληρώθηκαν με ιζήματα κατά και μετά το Νεογενές (Εικόνα 2. 9)



**Εικόνα 2.9. Σχηματική αναπαράσταση την ζώνης αποκόλλησης στην περιοχή της Κρήτης. Το κατερχόμενο τέμαχος κινήθηκε εφελκυστικά προς τον Βορρά (κατά van Hinsbergen & Meulenkamp 2006).**

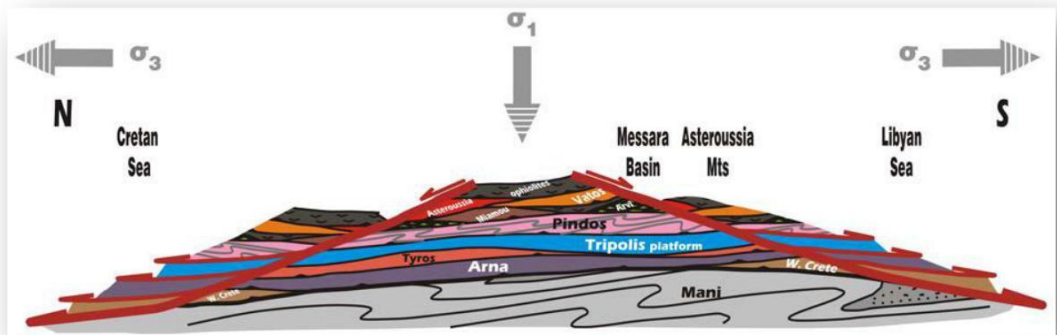
Σύμφωνα με τον Βασιλάκη (2006) οι κύριες διευθύνσεις παραμόρφωσης που εντοπίστηκαν στην λεκάνη της Μεσσαράς συνυπάρχουν σχεδόν σε όλη την περίοδο εξέλιξης της λεκάνης και έχουν άμεση σχέση με την τοποθέτησή της στο νησιωτικό τόξο (Εικόνα 2. 10). Πρόκειται για μια συνεχή εξέλιξη των τεκτονικών δομών που δημιουργήθηκαν είτε παράλληλα στη διεύθυνση του ελληνικού τόξου (Α-Δ) είτε στις συζυγείς διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ. Οι διευθύνσεις αυτές δεν παρατηρούνται ταυτόχρονα σε όλη την περιοχή της λεκάνης με την ίδια ένταση. Ο βασικός παράγοντας που φαίνεται να επηρεάζει τη διεύθυνση της κύριας παραμόρφωσης σε κάθε περιοχή αφορά τη θέση του κάθε ρηξιτεμάχους ως προς τις τεκτονικές δομές που έχουν δημιουργηθεί λόγω της σχετικής κίνησης της μικροπλάκας του Αιγαίου προς νότο.



**Εικόνα 2.10. Σχηματικά στερεοδιαγράμματα της περιοχής της κεντρικής Κρήτης και οι κύριες ρηξιγενείς ζώνες, που έχουν επηρεάσει την ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Μεσσαράς μετά το Μέσο Μειόκαινο, με γωνία θέασης προς τα ΒΔ. (Από Βασιλάκη 2006).**

Συμφώνα με τους Papanikolaou & Vassilakis (2008) η παραμορφωτική ιστορία των μονάδων της Κρήτης μπορεί να συνοψιστεί ως εξής (Εικόνα 2. 11) : 1) στο Ολιγόκαινο έως το Κάτω Μειόκαινο υπάρχει συμπιεστική παραμόρφωση που παράγει ανάστροφα ρήγματα, παράλληλα με το τόξο, διεύθυνσης Α-Δ, τα οποία κλίνουν Νότια, 2) στο Μέσο Μειόκαινο υπάρχει εφελκυστική παραμόρφωση κατά μήκος, παράλληλων στο τόξο, ρηγμάτων αποκόλλησης διεύθυνσης Α-, με κίνηση της οροφής των ρηγμάτων προς Βορρά και Νότο, 3) στο Άνω Μειόκαινο έως Τεταρτογενές έχουμε εγκάρσια παραμόρφωση εφελκυσμού (*transtensional deformation*), κατά μήκος μεγάλης γωνίας κανονικών και

πλαγιοκανονικών ρηγμάτων τα οποία διακόπτουν τις παλαιότερες, παράλληλες προς το τόξο, δομές (Εικ. 2. 11).



Εικόνα 2.11. Γενικευμένο μοντέλο τεκτονικής εξέλιξης της Κρήτης (κατά Papanikolaou & Vassilakis 2008).

### 2.3. Γεωλογικό περίγραμμα της περιοχής μελέτης

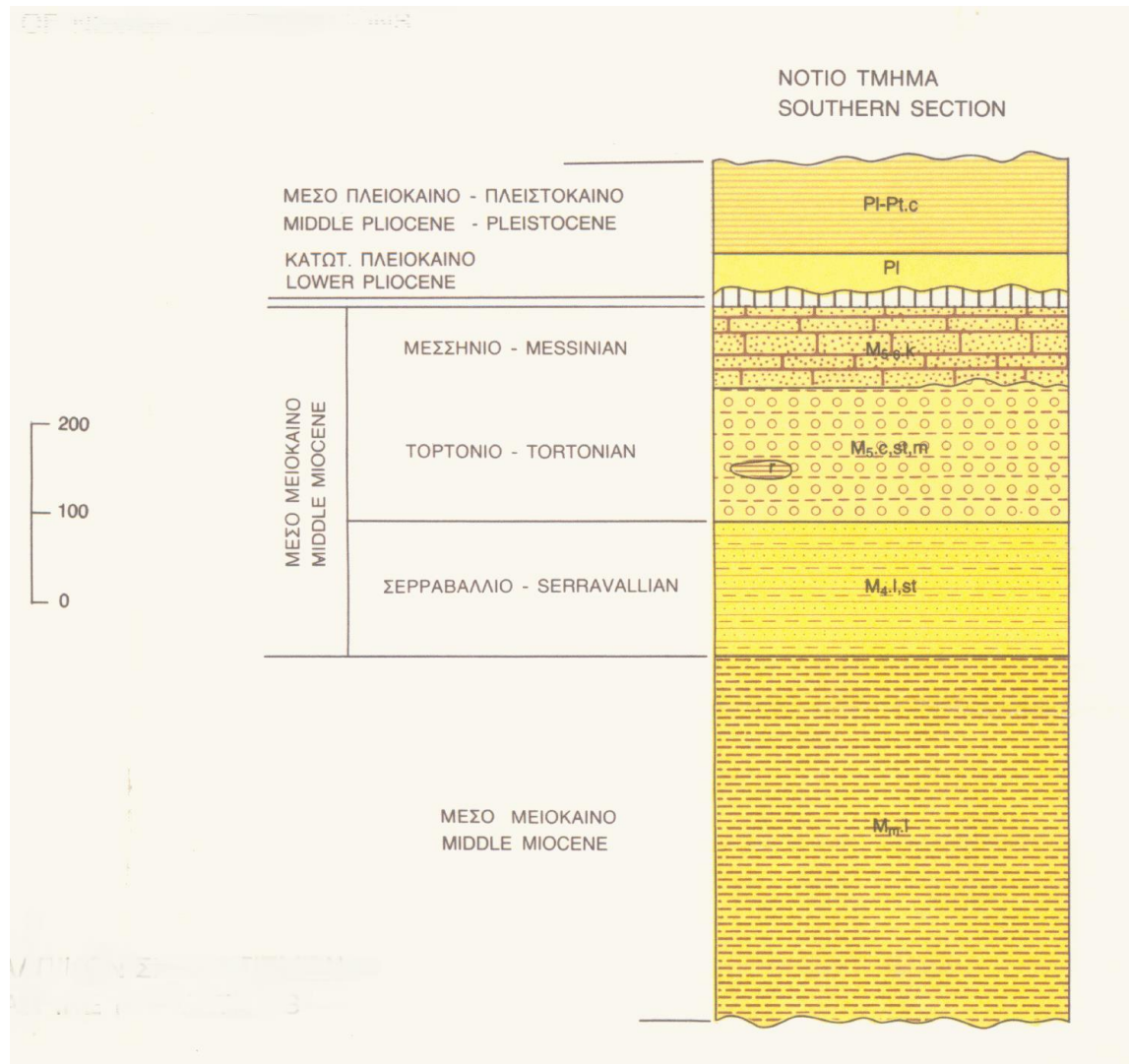
Η περιοχή μελέτης εκτείνεται κατά μήκος τεχνητών πρανών πολλών χιλιομέτρων που διανοίχτηκαν κατά την κατασκευή της επαρχιακής οδού Αρκαλοχώρι – Μάρθα. Τα πετρώματα που δομούν την περιοχή περιγράφονται σε δύο φύλλα χάρτη του ΙΓΜΕ, φύλλο Άνω Βιάννο και Μοχός. Στην θέση αυτήν δεν θα περιγραφούν αναλυτικά οι προνεογενείς αλλά ούτε και οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί της περιοχής. Η περιγραφή θα περιοριστεί στους κύριους σχηματισμούς ενδιαφέροντος από τα δύο φύλλα χάρτη: Σχηματισμοί, Βιάννου, Σκοινιά και Αμπελούζου.





- του σχηματισμού. Ερυθρά κροκαλοπαγή, άμμοι και ιλυούχες άργιλοι κοντά στο Ρουσοχώρι.
- Μέσο Μειόκαινο: Σχηματισμός Σκοινιά: γενικά καλά στρωμένες θαλάσσιες άργιλοι χρώματος σκούρου μπλε, γκρι, πρασινωπού και ιλιούχες άργιλοι με παρεμβολές καστανωπών ψαμμιτών. Το όριο με τον υποκείμενο σχηματισμό Βιάννου έχει μπει κατ' εκτίμηση στη βάση του κατώτατου θαλάσσιου στρώματος

Παρατίθεται η στρωματογραφική στήλη του νότιου τμήματος του φύλλου χάρτη Μοχός.



Εικόνα 2.13. Στρωματογραφική στήλη νότιου τμήματος φύλλου χάρτη Μοχός

### Φύλλο Χάρτη Άνω Βιάννος

- Ανώτερο Σεραβάλλιο: Σχηματισμός Σκινιά: γενικά καλά στρωμένες σκούρες κυανές, σκούρες τεφρές ή πρασινοκύανες θαλάσσιες άργιλοι και ιλυώδεις άργιλοι με παρεμβολές καστανόχρωμων ψαμμιτών.
- Μέσο Μειόκαινο: Σχηματισμός Βιάννου: γενικά καλά στρωμένες ποταμολιμναίες σκούρες τεφρές έως πρασινωπές άργιλοι, ιλυώδεις άργιλοι με κατά θέσεις λιγνίτη ή και ενστρώσεις ασβεστόλιθων και καλά διαβαθμισμένοι καστανόχρωμοι ψαμμίτες. Παρεμβολές πολύμικτων κροκαλοπαγών κυρίως στο κατώτερο τμήμα του σχηματισμού.





### 3. Πορώδες – Διαπερατότητα

#### 3. 1Γενικά για το Πορώδες και τη Διαπερατότητα

Για τον προσδιορισμό της ποιότητας αλλά και της δυνατότητας εκμετάλλευσης ενός ταμιευτήρα πρέπει να προσδιοριστούν οι πετροφυσικές του ιδιότητες. Δύο από τους βασικότερους παράγοντες που πρέπει να προσδιοριστούν είναι το πορώδες και η διαπερατότητα. Η σημαντικότητα των δύο αυτών παραμέτρων έγκειται αφ’ ενός μεν γιατί το πορώδες δείχνει την ποσότητα των ρευστών που θα μπορούσε να περιέχει ο ταμιευτήρας αφετέρου η διαπερατότητα οδηγεί σε συμπεράσματα όσον αφορά την ικανότητα του πετρώματος να επιτρέπει τη διέλευση του ρευστού μέσα από τους πόρους του. Η διαπερατότητα ως συμπέρασμα των παραπάνω αποτελεί συνάρτηση του ενεργού πορώδους. Τα πορώδη των πετρωμάτων που συναντώνται συχνά σε σχέση με τη διαπερατότητά τους δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί(Μπακόπουλος 2006).

Πορώδες(%)	Εκτίμηση Πορώδους	Διαπερατότητα(md)
0-5	Αμελητέο	Πρακτικά μη μετρήσιμη
5-10	Φτωχό	Πρακτικά μη μετρήσιμη
10-15	Μέτριο	1-10
15-20	Καλό	10-100
20-25	Πολύ Καλό	100-1000

Πίνακας 3. 1. Εκτίμηση του πορώδους και της διαπερατότητας πετρωμάτων (Από Μακόπουλο, 2006 κατά Levorsen,1987)

#### 3. 2Πορώδες

Το πορώδες μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες:Συνολικό (ή ολικό πορώδες) και ενεργό ή ανοιχτό πορώδες. Το συνολικό πορώδες ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού όγκου των πόρων(ανοιχτώ ή κλειστών) προς το συνολικό όγκο του υλικού όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$p = \frac{V_p}{V_t} \% \text{ (εξίσωση 3. 1)}$$

p το συνολικό πορώδες, Vp οσυνολικός όγκος των πόρωνκαι Vt ο συνολικός όγκος του υλικού.

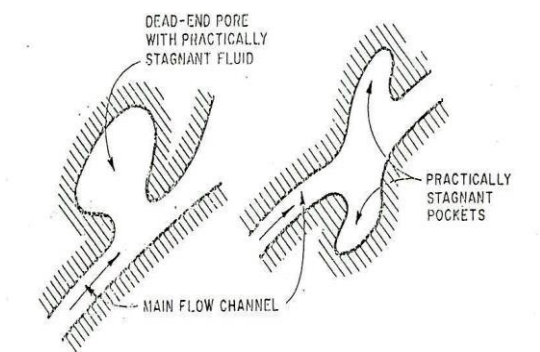
Ακόμα το συνολικό πορώδες μπορεί να εκφραστεί και με τη χρήση των μεγεθών της φαινόμενης πυκνότητας υλικού και της φαινόμενης πυκνότητας σωματιδίων

$$P = \left(1 - \frac{P_{bulk}}{P_{particle}}\right) \% \text{ (εξίσωση 3. 2)}$$

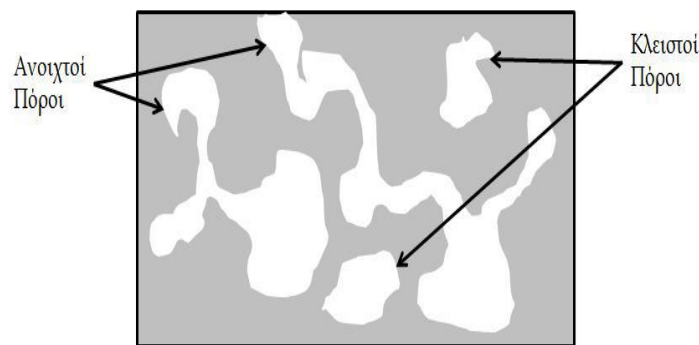
Pbulkφαινόμενη πυκνότητα του υλικού, Pparticle η φαινόμενη πυκνότητα των σωματιδίων.

Το συνολικό πορώδες εκφράζεται ως αδιάστατη ποσότητα, συνήθως επί τοις εκατό.

Το ενεργό πορώδες είναι το ποσοστό εκείνο των πόρων που είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους (ή συνεκτικού όγκου).Ακόμα στο ενεργό πορώδες ανήκουν, συνεισφέροντας αμελητέα στη δομή, και οι πόροι τυφλού άκρου ή στάσιμοι θύλακες. Από τους δύο ορισμούς προκύπτει ότι ο λόγος ενεργού πορώδους δια το ολικό πορώδες είναι αξιωματικά μικρότερος ή ίσος με την μονάδα(Κασιώτη 2009,Τσακίρογλου 1990).



Εικόνα 3. 1. Πόροι νεκρού άκρου (από Τσακίρογλου 1990)



Εικόνα 3. 2: Ανοιχτό και κλειστό πορώδες(από Κασιώτη 2009)

Υπάρχει και η έννοια του κλειστού πορώδους που όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα αποτελείται από το σύνολο των πόρων που δεν συνδέονται μεταξύ τους.

Το πορώδες μπορεί επίσης να χαρακτηριστεί και σαν πρωτογενές δηλαδή το πορώδες που οφείλεται στα διάκενα που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια του σχηματισμού του πετρώματος και σαν δευτερογενές δηλαδή το πορώδες που οφείλεται στα διάκενα που

δημιουργήθηκαν λόγω τεκτονισμού, αποσάθρωσης, διάλυσης, δράσης του έμβιου κόσμου κ. α..Το πρωτογενές πορώδες εξαρτάται από τη διάταξη το μέγεθος και τη μορφή των κόκκων.[1]Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι αναμενόμενες τιμές πορώδους φυσικών ιζηματογενών υλικών.

Ιζηματογενές Υλικό	Πορώδες(%)
Τύρφη	60-80
Εδάφη	50-60
Άργιλος	45-55
Λάσπη	40-50
Μίγμα μεσόκοκκης & Χονδρόκοκκης άμμου	35-40
Ομοιόμορφη άμμος	30-40
Μίγμα λεπτόκοκκης & μεσόκοκκης άμμου	30-35
Χαλίκια	30-40
Χαλίκια και άμμος	30-35
Ψαμμίτης	10-20
Μάρμαρο	1-10
Ασβεστόλιθος	1-10

Πίνακας 3. 2. Τυπικές τιμές πορώδους φυσικών ιζηματογενών υλικών(Τσακίρογλου 1990)

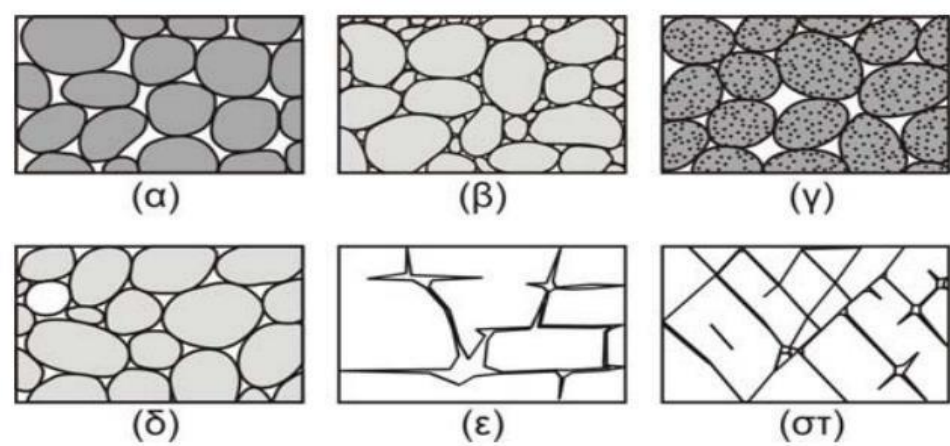
3.2.1. Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το πορώδες

i. Το σχήμα των κόκκων. Αυτό σε ένα ποσοστό καθορίζει τη μορφή και τις διαστάσεις των πόρων ή κενών γενικά. Μπορούμε να το καταλάβουμε καλύτερα αν φαντασθούμε ένα σύναγμα από σφαιρικούς ή από κυβικούς κόκκους με την ίδια διάταξη και ίδιο βαθμό καθίζησης· τότε οι κυβικοί κόκκοι έχουν πάντα μεγαλύτερο πορώδες. Γενικά ταγωνιώδη υλικά δημιουργούν μεγαλύτερο πορώδες από τα αποστρογγυλεμένα.

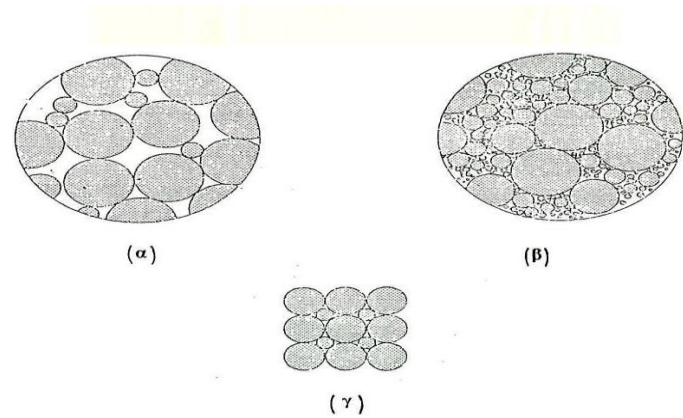
ii. Την κοκκομετρική σύσταση του σχηματισμού. Με τον όρο «κοκκομετρική σύσταση» εννοούμε την κατανομή της διαμέτρου των κόκκων σε συνάρτηση με το αντίστοιχο βάρος τους δηλαδή τη συμμετοχή του βάρους που αντιστοιχεί σε κάθε τιμή της διαμέτρου σε σχέση με το συνολικό βάρος του υλικού.

iii. Τη διάταξη των κόκκων. Ο ρόλος της στον καθορισμό του πορώδους γίνεται αντιληπτός αν έχουμε ένα ομογενές υλικό με σφαιρικούς κόκκους. Τότε οι σφαιρικοί κόκκοι μπορούν να διαταχθούν π. χ. με κυβικό ή ρομβοεδρικό τρόπο.

iv. Την κονίαση των κόκκων, τα αργιλικά υλικά, τα άλατα, τη συνίζηση και κυρίως τη διαγένεση. Όλα αυτά προκαλούν μείωση του ολικού πορώδους. Η διαγένεση παρατηρείται σε παλαιότερες και συνήθως σε βαθύτερες προσχώσεις και αποθέσεις. Έτσι στα κοκκώδη πετρώματα παρατηρείται μείωση του πορώδους με το βάθος(από Θεοχάρης, 2014,εντός Μαντζιώκας 2016).



Εικόνα 3. 3. Παραδείγματα διάκενων: α) καλή διαβάθμιση υλικού με υψηλό πορώδες, β) φτωχή διαβάθμιση με μικρό πορώδες, γ) καλή διαβάθμιση σε πορώδη χαλίκια με υψηλό πορώδες, δ) καλή διαβάθμιση με παρουσία ορυκτής ύλης και μειωμένο πορώδες, ε) πορώδες από διάλυση, στ) πορώδες από ρηγματώση (από Meinzer, 1923 και Βουδούρης 2009).



Εικόνα 3. 4. Επίδραση της ταξινόμησης στο πορώδες (α) Υλικό με καλή ταξινόμηση κόκκων,(β) Υλικό με φτωχή ταξινόμηση των κόκκων,(γ) Κυβική διάταξη σφαιρικών κόκκων δύο μεγεθών (Bear, 1972)

### 3.2.2. Λοιπές ταξινομήσεις του Πορώδους

Το οικονομικό αλλά και επιστημονικό ενδιαφέρον που παρουσιάζει η έννοια του πορώδους έχει οδηγήσει πλειάδα ερευνητών στο να διαχωρίσουν το πορώδες σε κατηγορίες.

Οι Choquette&Pray,1970 ταξινόμησαν το πορώδες στις εξής τρεις κατηγορίες οι οποίες είναι:

- Πορώδες που διατηρεί τους ιστολογικούς χαρακτήρες του πετρώματος
- Πορώδες που δεν διατηρεί ή τέμνει την δομή του πετρώματος
- Ενδιάμεσο πορώδες που διατηρεί ή όχι την πρωτογενή δομή

Διακρίνονται οι εξής τύποι πορώδους:

- **Μεσοκοκκώδες πορώδες.** Πρόκειται για το πρωτογενές πορώδες που δημιουργείται κατά την απόθεση των ιζημάτων
- **Ενδοκοκκώδες πορώδες.** Πρόκειται για πορώδες που οφείλεται στην εσωτερική πρωτογενή μικροδομή των κόκκων και ιδιαίτερα των σκελετικών.
- **Μεσοκρυσταλλικό πορώδες.** Πρόκειται για το δευτερογενές πορώδες που αναπτύσσεται σε ανακρυσταλωμένους ασβεστολίθους και δολομίτες.
- **Πορώδες από διάλυση των κόκκων.** Πρόκειται για δευτερογενές πορώδες που δημιουργείται από τη διάλυση των κόκκων λόγω της ασταθούς πρωτογενούς ορυκτολογικής τους σύστασης (Αραγωνίτης ή ασβεστίτης πλούσιος σε Mg). Η διάλυση του αραγωνίτη, των βιοκλαστών και των ωοειδών δημιουργεί βιοπορώδες και ωοπορώδες αντίστοιχα.
- **Πορώδες ξήρανσης.** Πρόκειται για το πορώδες που οφείλεται στη δημιουργία παραθυρεοειδών κοιλοτήτων και είναι σύννηθες στα περιπαλιροιακά ιζήματα λόγω της ξήρανσης που υφίστανται. Το ποσοστό του πορώδους αυτού είναι μικρό, λόγω της ταχείας πλήρωσης των παραθυρεοειδών κοιλοτήτων με ίζημα ή/και τσιμέντο (γεωπετελική δομή)
- **Προστατευτικό πορώδες.** Πρόκειται για πορώδες που δημιουργείται κάτω από μεγάλα κυρτά αλλοχημικά συστατικά.
- **Ιστολογικό πορώδες.** Πρόκειται για πορώδες που δημιουργείται από τη σκελετική ανάπτυξη οργανισμών (π. χ. κοράλλια, ασβεστολιθικά φύκη). Το πορώδες αυτό μπορεί να είναι σημαντικό στα σύγχρονα υφαλογενή ιζήματα, αλλά σπάνια διατηρείται στους παλαιούς σχηματισμούς, λόγω της υψηλής ταχύτητας ιζηματογένεσης γύρω από τους υφάλους και της πρώιμης τσιμεντοποίησης.
- **Πορώδες ρωγμών.** Το πορώδες αυτό δεν διατηρεί τον πρωτογενή ιστό και διασχίζει τα ιστολογικά στοιχεία του πετρώματος. Ρωγμές δημιουργούνται συνήθως από την τεκτονική καταπόνηση, τη ξήρανση και τη διάλυση εβαποριτών.
- **Πορώδες καναλιών.** Οι ασβεστόλιθοι υφίστανται διάλυση όταν βρεθούν σε ακόρεστα διαλύματα και δημιουργούν κανάλια κατά μήκος ρωγμών. Κανάλια αυτού του τύπου είναι συνήθη στους καρστικούς σχηματισμούς.
- **Πορώδες μικρών κοιλοτήτων.** Πρόκειται για πορώδες που οφείλεται στην παρουσία πόρων, διαμέτρου  $>1/16\text{mm}$  που μόλις διακρίνονται με γυμνό μάτι. Το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών των πόρων δημιουργείται από την αύξηση των μεσοκοκκώδων ή μεσοκρυσταλλικών πόρων ή από διάλυση που προκαλούν εδαφικά, πλούσια σε  $\text{CO}_2$ , διαλύματα.
- **Πορώδες σπηλαίων.** Πρόκειται για πορώδες διαλυσιγενούς προέλευσης που οφείλεται στη δημιουργία σπηλαίων, στο πλαίσιο παλαιοκαρστικών διεργασιών.

- **Πορώδες λατυποποίησης.** Αποτελεί εξέλιξη του πορώδους "ρωγμών" και κατά συνέπεια έχει και αυτό τεκτονική ή διαλυσιγενή προέλευση. Μικρό ποσοστό πορώδους προκύπτει από διεργασίες βιοδιάτρησης, βιοαναμόχλευσης και συρρίκνωσης, λόγω ξήρανσης των ιζημάτων (από Πομόνη-Παπαϊωάννου, 2005).

Ακόμα το πορώδες ταξινομείται σε μικροπορώδες, μεσοπορώδες και μακροπορώδες ανάλογα με τη διάμετρο των πόρων. Η ταξινόμηση των πόρων κατά IUPAC δίδεται παρακάτω.

Ονομασία	Διάμετρος(nm)
Μικροπόροι	<2
Μεσοπόροι	2-50
Μακροπόροι	>50

Πίνακας 1. 3. Ταξινόμηση πόρων με βάση τη διάμετρό τους κατά IUPAC [2]

### 3. 3 Μεθοδολογίες Προσδιορισμού Πορώδους

Κατά την πάροδο των ετών και την πρόοδο της επιστήμης εξελίχτηκαν από τους ερευνητές σωρεία μεθόδων προσδιορισμού του πορώδους. Κάθε μία εκ των μεθόδων αυτών δημιουργήθηκε με έμφαση σε ένα διαφορετικό αντικείμενο.

Η πρώτη μέθοδος μέτρησης του πορώδους που απαντάται στην βιβλιογραφία αναπτύχθηκε από τον Αρχιμήδη. Η μέθοδος βασίζεται στην ιδιότητα του νερού να εισέρχεται στους πόρους του προς μέτρηση δείγματος. Η διαδικασία μέτρησης ακολουθεί τα εξής βήματα:

- ✓ Διαμόρφωση δοκιμίων γνωστών διαστάσεων και κανονικής γεωμετρίας
- ✓ Μέτρηση των διαστάσεων του δοκιμίου
- ✓ Ζύγιση του δοκιμίου
- ✓ Βύθιση του δοκιμίου στο νερό για χρονικό διάστημα ικανό για να εισέλθει το νερό στους πόρους
- ✓ Ζύγιση του δοκιμίου μετά την βύθιση

Το συμπέρασμα για το πορώδες προκύπτει από τη διαφορά μάζας που προκύπτει από τις δύο ζυγίσεις. Λαμβάνεται υπ’ όψιν ότι η πυκνότητα του νερού είναι ένα γραμμάριο ανά κυβικό εκατοστό. Δηλαδή το πορώδες στη μέθοδο του Αρχιμήδη δίνεται από την εξίσωση:

$$p = V_{ολικό} - (V_{δοκιμίου} - m_{νερού}) \text{ \%}(εξίσωση 3. 3)$$

Όπου  $m_1$  η μάζα του υλικού πριν τη βύθιση του στο νερό και  $m_2$  η μάζα μετά τη βύθιση.



Οι μέθοδοι προσδιορισμού του πορώδους διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, α) τις άμεσες μεθόδους που βασίζονται στην μέτρηση του όγκου των πόρων και του όγκου του δείγματος και β) στις έμμεσες μεθόδους που βασίζονται στη μέτρηση κάποιας ιδιότητας του κενού χώρου.

Οι σημαντικότερες άμεσες μέθοδοι μέτρησης του πορώδους όπως περιγράφονται από τον Dullien, 1979 είναι οι εξής:

- **Μέθοδος εισρόφησης.** Βύθιση του πορώδους δείγματος σε ένα τέλεια διαβρέχον υγρό κάτω από κενό για αρκετό χρονικό διάστημα θα έχει σαν αποτέλεσμα την εισρόφηση του υγρού σε όλο τον πορώδη χώρο. Ζύγιση του δείγματος πριν και μετά την εισρόφηση σε συνδυασμό με την πυκνότητα του υγρού επιτρέπει τον υπολογισμό του όγκου των πόρων. Εφόσον το δείγμα είναι πλήρως κορεσμένο με το διαβρέχον υγρό μία μέτρηση της ογκομετρικής εκτόπισης μέσα στο ίδιο υγρό δίνει άμεσα τον ολικό όγκο του δείγματος. Αν η εισρόφηση γίνει προσεκτικά θα δώσει τις καλύτερες τιμές για το ενεργό πορώδες.
- **Μέθοδος εισδυσής υδραργύρου.** (Ποροσιμετρία υδραργύρου). Γνωρίζοντας τον όγκο και το βάρος υποδοχέα (διεισδύμετρο υδραργύρου) και μετρώντας το βάρος του δείγματος και το βάρος υποδοχέα-δείγματος-υδραργύρου σε συνδυασμό με την πυκνότητα του υδραργύρου υπολογίζεται ο ολικός όγκος δείγματος. Ο ολικός όγκος συνεκτικών πόρων υπολογίζεται από τον όγκο εισδυσής υδραργύρου στη μέγιστη πίεση, με την προϋπόθεση βέβαια ότι ο υδράργυρος εισδύει και στους μικρότερους πόρους.
- **Μέθοδος εκτόνωσης αερίου.** Σε αυτή την περίπτωση ο ολικός όγκος του δείγματος προσδιορίζεται ξεχωριστά. Το δείγμα κλείνεται σε ένα δοχείο γνωστού όγκου κάτω από γνωστή πίεση αερίου και συνδέεται με ένα εκκενωμένο δοχείο γνωστού όγκου. Άνοιγμα της βαλβίδας μεταξύ των δύο δοχείων έχει ως αποτέλεσμα το αέριο να εκτονωθεί μέσα στο εκκενωμένο δοχείο και η πίεσή του να ελαττωθεί. Ο ενεργός όγκος των πόρων μπορεί να υπολογιστεί με βάση το νόμο των ιδανικών αερίων, γνωρίζοντας την τελική πίεση και τον όγκο του δείγματος.
- **Οπτικές μέθοδοι.** Σε αυτή την περίπτωση υποτίθεται ότι η πορώδης δομή είναι τυχαία οπότε το πορώδες θα είναι ίσο με το λόγο της επιφάνειας των πόρων προς την ολική επιφάνεια σε μια λεία τυχαία επίπεδη τομή του δείγματος όπως προκύπτει από τη στερεολογία (από Τσακίρογλου 1990 κατά Underwood, 1970)

Παραδείγματα έμμεσων μεθόδων μέτρησης του πορώδους είναι η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενός αγωγίμου ρευστού που γεμίζει τους πόρους του δείγματος ή η μέτρηση προσρόφησης ραδιενεργών σωματιδίων από ένα ρευστό που γεμίζει την πορώδη δομή (Bear 1972).

#### Λοιπές μέθοδοι προσδιορισμού πορώδους

Το πορώδες παρουσιάζει επιστημονικό ενδιαφέρον και από άλλους κλάδους των επιστημών, συνεπώς έχει καθιερωθεί μεγάλος εύρος μεθόδων για τον προσδιορισμό του.

Το πορώδες μπορεί να εκτιμηθεί με διαγραφίες. Οι διαγραφίες υπάγονται στις εξής κατηγορίες:

- **Οι διαγραφίες νετρονίου** χρησιμοποιούνται κυρίως στην περιχαράκωση πορωδών σχηματισμών και στον υπολογισμό του πορώδους αυτών των σχηματισμών. Οι διαγραφίες νετρονίου αποκρίνονται κυρίως στη ποσότητα υδρογόνου η οποία υπάρχει στον υπό μελέτη σχηματισμό. Έτσι σε σχηματισμούς των οποίων οι πόροι πληρούνται από νερό ή πετρέλαιο, οι διαγραφίες νετρονίου δίνουν ενδείξεις του πορώδους. Επίσης από τον συνδυασμό των διαγραφιών νετρονίου με άλλες διαγραφίες πορώδους, προκύπτουν πληροφορίες σχετικά με τη λιθολογία του σχηματισμού. Τέλος, είναι δυνατόν να υπολογισθεί το πορώδες με μεγαλύτερη ακρίβεια όταν συνδυασθούν περισσότερες από μία διαγραφίες πορώδους (π.χ. διαγραφίες νετρονίου και πυκνότητας). Πρόκειται για συνεχή καταγραφή της επαγόμενης ακτινοβολίας που παράγεται από βομβαρδισμό ενός γεωλογικού σχηματισμού από πηγή νετρονίων που περιέχεται στην οβίδα. Εκτοξεύονται γρήγορα νετρόνια που η ταχύτητα τους μειώνεται από συγκρούσεις, με άτομα υδρογόνου μέχρι να παγιδευτούν. Η σύλληψη αυτή έχει σαν αποτέλεσμα μίας δευτερογενούς ακτινοβολίας 'γ'. Τα σύγχρονα μηχανήματα μετρούν τα θερμικά νετρόνια με ανιχνευτή τύπου He-3. Τα νετρόνια που εκπέμπονται συγκρούονται και σκεδάζονται με τα άτομα υδρογόνου που συνήθως ευρίσκονται στο νερό το οποίο υπάρχει στο πορώδες των πετρωμάτων. Είναι λοιπόν φανερό ότι όσο πιο μεγάλο είναι το πορώδες ενός πετρώματος και όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός πλήρωσης του (saturation) τόσο μικρότερος θα είναι ο αριθμός των νετρονίων που καταγράφονται από την οβίδα μέτρησης. Επομένως οι διαγραφίες νετρονίων είναι πολύ χρήσιμες στον εντοπισμό πετρωμάτων μεγάλου πορώδους.
- **Οι διαγραφίες πυκνότητας** είναι γραφήματα της πυκνότητας συναρτήσει του βάθους από τις οποίες κυρίως προσδιορίζεται το πορώδες. Οι διαγραφίες πυκνότητας δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για την ερμηνεία των βαρυτικών και σεισμικών δεδομένων. Επίσης σε συνδυασμό με τις ακουστικές διαγραφίες χρησιμοποιούνται στο υπολογισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των σχηματισμών. Για τη μέτρηση της πυκνότητας χρησιμοποιούνται ανιχνευτής ακτινών γάμμα, και ραδιενεργός πηγή (π.χ. Co60, Cs137) η οποία εκπέμπει ακτινοβολία γάμμα



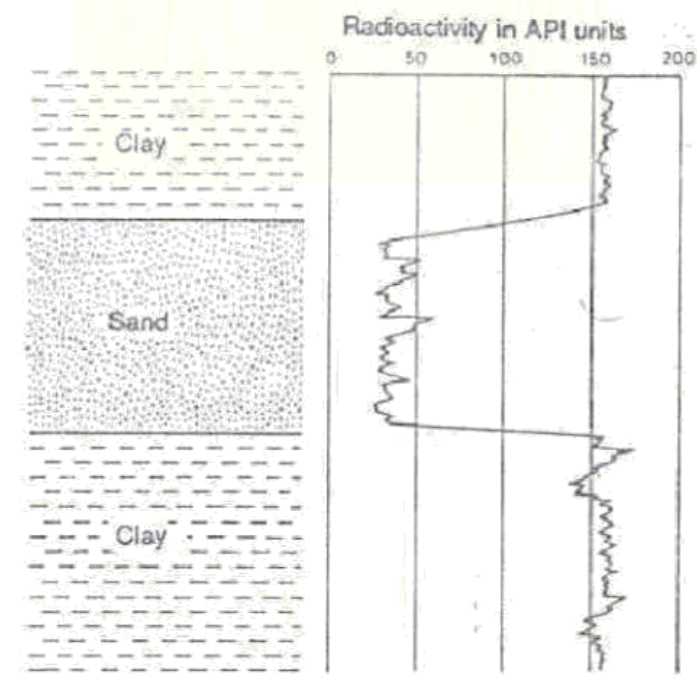
γνωστής έντασης. Η ένταση των διαχεόμενων ακτινών γάμμα είναι ανάλογη της πυκνότητας των ηλεκτρονίων. Η πυκνότητα του σχηματισμού προκύπτει από εμπειρική σχέση η οποία συνδέει την πυκνότητα του σχηματισμού και την πυκνότητα των ηλεκτρονίων. (από Βαφείδης, 2011)

- **Οι ακουστικές διαγραφίες** στην απλούστερη τους μορφή αποτελούνται από μια συσκευή ακουστικών διαγραφών και μια πηγή ακουστικών κυμάτων συχνότητας 20KHz και ένα γεώφωνο πιεζοηλεκτρικού τύπου. Η ακουστική διαγραφή είναι η καταγραφή του χρόνου διαδρομής  $\Delta t$ , (Interval ή Transit time) τον οποίο χρειάζεται το ακουστικό κύμα για να διανύσει 1ft (ή 1m) του σχηματισμού, συναρτήσει του βάθους. Ο χρόνος διαδρομής,  $\Delta t$ , είναι αντιστρόφως ανάλογος της ταχύτητας διάδοσης των ακουστικών κυμάτων και εξαρτάται από το πορώδες και τη λιθολογία του σχηματισμού. Η εξάρτηση του  $\Delta t$  από το πορώδες καθιστά τις ακουστικές διαγραφίες πολύ χρήσιμες στην εκτίμηση του πορώδους όταν είναι γνωστή η λιθολογία. Στις ακουστικές διαγραφίες, εκτός από το χρόνο διαδρομής  $\Delta t$ , καταγράφεται και ο συνολικός χρόνος διαδρομής του ακουστικού κύματος (Integrated transit time) ο οποίος ισούται με το άθροισμα των χρόνων διαδρομής  $\Delta t$  που αναφέρονται στο ίδιο σχηματισμό. Ο συνολικός χρόνος διαδρομής χρησιμοποιείται στην επεξεργασία και στην ερμηνεία των σεισμικών καταγραφών ανάκλασης. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή μετράμε το χρόνο που απαιτείται για να διαδοθεί ένα σεισμικό κύμα μεταξύ δύο σημείων των τοιχωμάτων της γεώτρησης. Ο χρόνος διάδοσης του σεισμικού κύματος εξαρτάται τόσο από την λιθολογία όσο και από το πορώδες του πετρώματος.
- **Η διαγραφή ακτινών γάμμα** σε ιζηματογενείς σχηματισμούς συνήθως δίνει πληροφορίες σχετικά με τον εντοπισμό στρωμάτων αργιλικών σχιστόλιθων και στρωμάτων που περιέχουν αργιλικές προσμίξεις. Αυτό οφείλεται στο ότι τα ραδιενεργά στοιχεία τείνουν να συγκεντρώνονται στα αργιλικά πετρώματα. Ιζηματογενείς σχηματισμοί χωρίς αργιλικές προσμίξεις εμφανίζουν χαμηλές τιμές φυσικής ραδιενέργειας εκτός αν το νερό του σχηματισμού περιέχει ραδιενεργά άλατα. Η διαγραφή ακτινών γάμμα είναι δυνατόν να καταγραφεί και σε σωληνωμένες γεωτρήσεις, γεγονός που την καθιστά πολύ χρήσιμη στο συσχετισμό διαγραφιών. Συχνά χρησιμοποιείται σαν συμπληρωματική της διαγραφίας φυσικού δυναμικού και επίσης αντικαθιστά την διαγραφή φυσικού δυναμικού όταν η γεωτρητική λάσπη έχει υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων, ή έχει σαν βάση το πετρέλαιο. Χρησιμοποιεί ραδιενεργό πηγή Κοβαλτίου ( $^{60}\text{Co}$ ) και Ανιχνευτή ακτινοβολίας γάμμα. Ο αριθμός των ακτινών γάμμα που επιστρέφουν στον ανιχνευτή είναι ανάλογος της πυκνότητας ηλεκτρονίων του

περιβάλλοντος υλικού, άρα ανάλογος και της κανονικής πυκνότητας. Το βάθος διείσδυσης είναι περίπου 30 cm για ιζηματογενείς σχηματισμούς. Η λήψη των μετρήσεων γίνεται με χαμηλή ταχύτητα κίνησης της οβίδας μετρήσεων καθ' ότι οι μεταβολές στην ταχύτητα κίνησης, δύνανται να επηρεάσουν σημαντικά την ακρίβεια των μετρήσεων. Συμπαγείς σχηματισμοί απορροφούν μεγάλο ποσοστό ακτινών γ ενώ σχηματισμοί χαμηλής πυκνότητας απορροφούν μικρότερο. Έτσι, υψηλοί ρυθμοί δείχνουν σχηματισμό χαμηλής πυκνότητας και αντίθετα.

Οι ραδιενεργές ιδιότητες των κυριότερων γεωλογικών σχηματισμών μπορούν να περιγραφούν ως εξής:

Άργιλοι και σχιστόλιθοι. Η άργιλος είναι μη συμπαγές πέτρωμα αποτελούμενη από υλικά αποσάθρωσης και περιέχει κυρίως αστρίους και μαρμαρυγία. Ο σχιστόλιθος μπορεί να θεωρηθεί σαν συμπαγής άργιλος. Και τα δύο πετρώματα περιέχουν ικανές ποσότητες του ισοτόπου  $^{40}\text{K}$ . Το ισότοπο αυτό πολλές φορές εμπλουτίζεται με ανταλλαγή κατιόντων κατά τα στάδια της αρχικής ιζηματογένεσης του πετρώματος. Επιπλέον το ραδιενεργό ισότοπο  $^{238}\text{U}$  μπορεί να εγκλωβισθεί στις αργίλους ειδικά όταν η ιζηματογένεση λαμβάνει χώρα σε θαλάσσιο περιβάλλον. Τόσο οι άργιλοι όσο και οι σχιστόλιθοι χαρακτηρίζονται από σημαντικά επίπεδα ακτινοβολίας γάμμα.



**Εικόνα 3.5** Η καμπύλη μιας διαγραφίας γάμμα παρουσιάζει αυξημένες τιμές όταν η οβίδα διέρχεται μπροστά από αργιλικούς σχηματισμούς και μικρότερες τιμές σε περίπτωση αμμωδών σχηματισμών. (από Τσούρλος, 2015)

*Άμμοι και αμμόλιθοι. Με το δεδομένο ότι οι σχηματισμοί αυτοί περιέχουν σαν κύριο συστατικό τον μη ραδιενεργό χαλαζία, χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας γάμμα.*

Πίνακας 3.4. Μεθοδολογίες μέτρησης και προσέγγισης του πορώδους Μέτρηση Πορώδους

Υδρογεωλογία	<b>Εμπειρικός νόμος του Darcy</b> <b>Με τα ποροσίμετρα</b> <b>Με ζύγιση δείγματος (Νόμος του Αρχιμήδη)</b> <b>Με συσκευές που χρησιμοποιούν αέριο</b>		
Με γεωφυσικές μεθόδους (Διαγραφίες)	Ηλεκτρικές	Διάταξη ενός ηλεκτροδίου	ενός
	Φυσικού Δυναμικού	Διάταξη δύο ηλεκτροδίων	δύο
	Ραδιενέργειας	Διάταξη ακτινοβολίας γάμμα	
	Ακουστικής Ταχύτητας	Διαγραφή νετρονίου	
Αναζήτηση Υδρογονανθράκων	Καταγραφή πυκνότητας		
	Διαγραφή σεισμικής διάταξης		
	Ποροσίμετρο τύπου Boyle		
	Ποροσιμετρία Υδραργύρου		
Κεραμικά	Ποροσιμετρία Αζώτου		
	Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM)		
	Εισαγωγή σχηματιστών πόρων	Δημιουργία αέριας φάσης	
	Χρήση εκμαγείων (π.χ η χρήση ξύλου και παραγώγων	Πρόσθετα διατήρησης	

	του)	όγκου
	Μέσω αντιδράσεων συμπίκνωσηςκαι εξάτμισης.	Οργανικοί σχηματιστές πόρων
Τσιμέντο	Έμμεσοι μέθοδοι	Ποροσιμετρία Υδραργύρου
		Μέθοδοι Μετατόπισης
		Θερμοποροσιμετρία
		Τεχνικές Πυρηνικού
		Μαγνητικού Συντονισμού
		Διασπορά Μικρής Ακτίνας
		(Διασπορά Νετρονίων)
	Άμεσες μέθοδοι	Τεχνικές επεξεργασίας εικόνας
		(π.χ Οπτικό Μικροσκόπιο ή
		Μικροσκόπιο Σάρωσης
		Ηλεκτρονίων

3. 4Διαπερατότητα

Η διαπερατότητα αποτελεί μία ακόμα πρωτεύουσα παράμετρο που καθορίζει την ποιότητα ενός ταμιευτήρα,διαδραματίζοντας κύριο ρόλο στην δυνατότητα εκμετάλλευσής του,είτε προκειται για ταμιευτήρα πετρελαίου είτε φυσικού αερίου είτε ακόμα και νερού.

Η διαπερατότητα σύμφωνα με την Κατή εκφράζει την ευκολία ροής ενός ρευστού μέσα στο πέτρωμα και εξαρτάται από τη γεωμετρία και το μέγεθος τών πόρων,ιδιαίτερα αυτών που επικοινωνούν μεταξύ τους καθώς και από τις ιδιότητες του ίδιου του ρευστου,όπως το ιζώδες,τις τριχοειδείς πιέσεις κλπ. Οι μετρήσεις διαπερατότητας πραγματοποιούνται από ειδικά περατόμετρα μέσω εισπίεσης υγρού ή αερίου και σε κυλινδρικά δείγματα καθορισμένων διαστάσεων. Η ροή των ρευστών μέσα, σε ένα τέτοιο δείγμα,θα ακολουθήσει γενικά το νόμο του Darcy και επομένως ο όγκος του ρευστού(Q) που τελικά θα μεταφερθεί μέσα από τον κύλινδρο θα είναι:

Q = K. ΔΡ. A/L. μ(εξίσωση 3. 4)

, K η διαπερατότητα,ΔΡ = P1 – P2,η διαφορά της πίεσης στα δύο άκρα του κυλίνδρου, (L) =το μήκος του και μ=το ιζώδες του ρευστού.

Επίσης στον Τσακίρογλου 1990 ορίζεται η διαπερατότητα«ως το μέτρο της υδραυλικής αγωγιμότητας ενός πορώδους μέσου σε μονοφασική ροή ενός νευτώνειου ρευστού».

Η διαπερατότητα εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- *Βαθμός διασύνδεσης και επικοινωνίας των πόρων μέσα στη μάζα του πετρώματος(ενεργό πορώδες)*
- *Φυσικό μέγεθος των πόρων που για τα κοκκώδη υλικά έχει σχέση με το μέγεθος η μορφή και τη διάταξη των κόκκων, αφού πολύ μικρού μεγέθους πόροι συνεπάγονται πολύ χαμηλή υδροπερατότητα. Συνεπώς στους βραχώδεις σχηματισμούς η διαπερατότητα εξαρτάται κυρίως από το δευτερογενές πορώδες και είναι μόνο έμμεσα συνδεδεμένη με το πρωτογενές.*
- *Μέγεθος των διόδων επικοινωνίας(οπές πόρων, τριχοειδή αγγεία) ανάμεσα στους πόρους(Τσακίρογλου 1990).*

### **3. 5 Προσδιορισμός Διαπερατότητας Πετρωμάτων**

Η σχετική διαπερατότητα των πετρωμάτων μπορεί να μετρηθεί σε έναν πυρήνα, που λαμβάνεται από το γεωλογικό δείγμα, είτε με τη χρήση μεθόδων σταθερής είτε ασταθούς κατάστασης. Στις μεθόδους σταθερής κατάστασης ένα ρευστό, με γνωστή αναλογία συστατικών, εισπνέζεται εντός του δείγματός έως ότου επέλθει κορεσμός και πίεση ισορροπίας.

Μεγάλος αριθμός τεχνικών έχει χρησιμοποιηθεί για να επιτευχθεί ομοιόμορφος κορεσμός. Το κύριο μέλημα κατά το σχεδιασμό του πειράματος είναι να εξαλείψει ή να μειώσει τη βαθμίδα του κορεσμού η οποία προκαλείται από επιδράσεις τριχοειδών πιέσεων στο σύνορο του πυρήνα.

Οι μέθοδοι σταθερής κατάστασης προτιμώνται έναντι των μεθόδων ασταθούς κατάστασης από πολλούς ερευνητές για πετρώματα ενδιάμεσης διαβρεξιμότητας, αν και έχουν αναφερθεί δυσκολίες στην εφαρμογή της μεθόδου σταθερής κατάστασης Hassler σε αυτήν την περίπτωση πετρώματος. Στη μέθοδο τριχοειδών πιέσεων μόνο η μη διαβρέχουσα φάση εισπνέζεται εντός του πυρήνα κατά τη διάρκεια του πειράματος. Το ρευστό απομακρύνει την διαβρέξιμη φάση και ο κορεσμός και των δύο ρευστών αλλάζει κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Οι μέθοδοι ασταθούς κατάστασης χρησιμοποιούνται πλέον κατά κόρον στις μετρήσεις σχετικής διαπερατότητας πετρωμάτων. Μερικές από τις πιο συνηθισμένες μεθόδους μέτρησης της σχετικής διαπερατότητας περιγράφονται παρακάτω.

#### Μέθοδοι Σταθερής Κατάστασης

##### *A) Μέθοδος Penn-State*

Αυτή η μέθοδος σταθερής κατάστασης για την μέτρηση της σχετικής διαπερατότητας σχεδιάστηκε από τον Morse. et. al.(1947).

Η εργαστηριακή διαδικασία ξεκινά με τον κορεσμό του δείγματος με μία ρευστή φάση (π. χ. νερό) και τη ρύθμιση του ρυθμού ροής της φάσης αυτής μέσω του δείγματος μέχρι να ληφθεί μία προκαθορισμένη βαθμίδα πίεσης. Η εισπίεση μίας δεύτερης φάσης(π. χ.



αέριο) ξεκινά με χαμηλό ρυθμό ενώ η ροή της πρώτης φάσης μειώνεται ελαφρώς, έτσι ώστε η διαφορική πίεση σε ολόκληρο το σύστημα να παραμένει σταθερή.

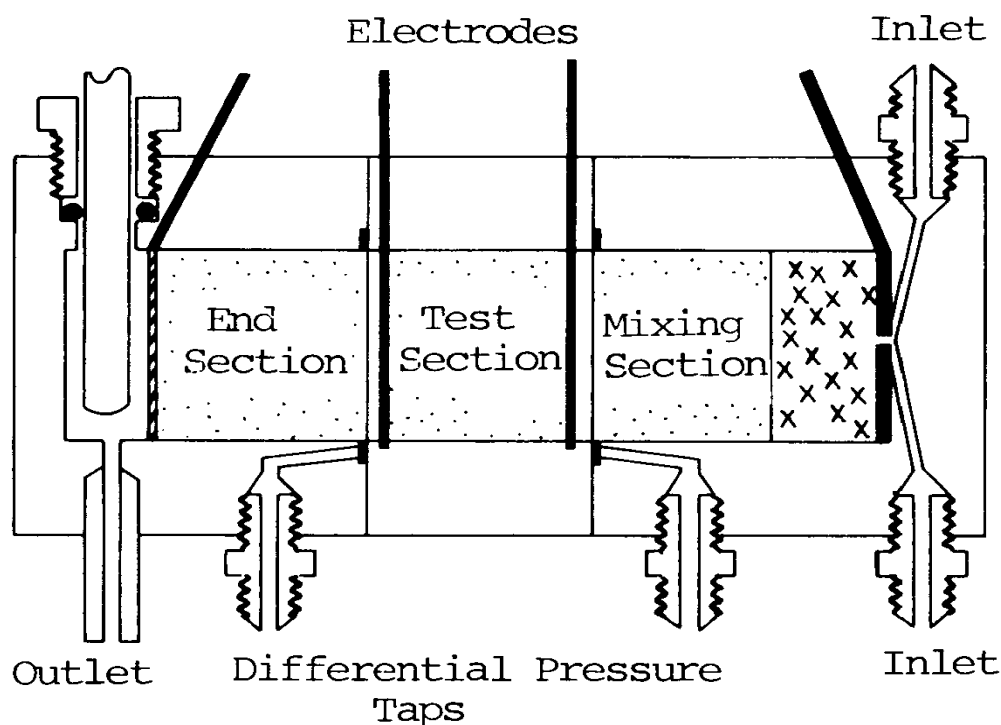
Αφού επιτευχθεί μία κατάσταση ισορροπίας, οι δύο ρυθμοί ροής καταγράφονται και το ποσοστό κορεσμού της κάθε φάσης προσδιορίζεται με την αφαίρεση του δείγματος από την πειραματική διάταξη και τη ζύγιση του.

Αυτή η διαδικασία δημιουργεί πιθανότητα πειραματικού σφάλματος, δεδομένου ότι μία μικρή ποσότητα ρευστού μπορεί να χαθεί λόγω της διαστολής του αερίου και της εξάτμισης. Συνίσταται ο πυρήνας να ζυγίζεται με έλαιο έτσι ώστε να εξαλειφθεί το πρόβλημα της απόκτησης της ίδιας ποσότητας υγρού φιλμ στην επιφάνεια του πυρήνα για κάθε ζύγιση. Η εκτίμηση του κορεσμού του νερού με τη μέτρηση ηλεκτρικής αντίστασης είναι μία ταχύτερη διαδικασία από τη ζύγιση του πυρήνα. Ωστόσο ακρίβεια που λαμβάνεται με τη μέτρηση την ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι αμφισβητήσιμη αφού η αντίσταση μπορεί να επηρεαστεί από τη κατανομή των υγρών, καθώς και από τον κορεσμό σε ρευστό.

Άλλες μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον επί τόπου προσδιορισμό του κορεσμού σε ρευστό των πυρήνων περιλαμβάνουν μέτρηση της ηλεκτρικής χωρητικότητας, πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού, σκέδαση νετρονίων, απορρόφηση ακτινών X, απορρόφηση ακτινών  $\gamma$ , ογκομετρική ισορροπία, απόσταξη υπό κενό καθώς και τεχνικές μικροκυμάτων.

Αφού προσδιοριστεί ο κορεσμός του ρευστού στον πυρήνα και ξανασυναρμολογηθεί η συσκευή Penn-State, μία νέα συνθήκη ισορροπίας δημιουργείται και ο δείκτης ροής και ο κορεσμός σε ρευστό προσδιορίζεται όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται συχνά σε υψηλότερα ποσοστά κορεσμού της δεύτερης φάσης έως ότου συγκεντρωθούν τα δεδομένα για την δημιουργία της πλήρους καμπύλης σχετικής διαπερατότητας.

Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση σχετικής διαπερατότητας είτε σε αυξανόμενο είτε μειούμενο κορεσμό της φάσης διαθεσιμότητας, ενώ μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε συστήματα υγρού-υγρού όσο και σε συστήματα υγρού-αερίου. Η κατεύθυνση της αλλαγής του κορεσμού που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο πρέπει να ανταποκρίνεται στις συνθήκες περιβάλλοντος. Καλή τριχοειδής επαφή μεταξύ του δείγματος και του παρακείμενου πυρήνα είναι απαραίτητη για την πραγματοποίηση ακριβών μετρήσεων. Η θερμοκρασία θα πρέπει επίσης να παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει το πείραμα σε συνθήκες ισορροπίας μπορεί να διαφέρουν από μία έως τρεις ημέρες.



Εικόνα 3. 5. Πειραματική διάταξη μεθόδου Penn-State(Honarpouret. al. 1986)

#### Β) Δυναμική Μέθοδος Ενός Δείγματος

Η συσκευή και η πειραματική διαδικασία διαφέρουν από αυτές που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο Penn-State κυρίως στο χειρισμό των τελικών αποτελεσμάτων. Αντί να τοποθετείται ένα δείγμα ελέγχου ανάμεσα σε δύο δείγματα πυρήνα, οι δύο φάσεις ρευστού εγχέονται ταυτόχρονα μέσω ενός ενιαίου πυρήνα. Οι τελικές επιπτώσεις ελαχιστοποιούνται με τη χρήση σχετικά υψηλού ρυθμού ροής, έτσι ώστε η περιοχή υψηλού κορεσμού της φάσης διαβροχής στην πρόσοψη εξόδου του πυρήνα να είναι μικρή. Η θεωρία που παρουσιάστηκε από τον Richardson et. al. (1955) για την περιγραφή της κατανομής του κορεσμού εντός του πυρήνα μπορεί να αναπτυχθεί με βάση το νόμο του Darcy.

Από τον ορισμό της τριχοειδούς πίεσεως φαίνεται ότι ο Richardson et al. (1955) κατέληξε στο συμπέρασμα, με βάση πειραματικά δεδομένα, ότι ο κορεσμός της φάσης μη διαβροχής στο άκρο αποφόρτισης του πυρήνα έχει τιμή ισορροπίας.

Ο Richardson et al. (1955) συμπέρανε από πειραματικά δεδομένα ότι ο κορεσμός της μη διαβρέχουσας φάσης στο άκρο αποφόρτισης του πυρήνα βρίσκεται σε τιμή ισορροπίας.

Αμφότεροι οι υπολογισμοί και οι πειραματικές μετρήσεις δείχνουν ότι η περιοχή υψηλού κορεσμού της διαβρέχουσας φάσης στο άκρο εκκενώσεως του πυρήνα είναι μεγαλύτερη στους χαμηλούς ρυθμούς ροής από ότι στους υψηλούς.

#### *Γ) Μέθοδος Στατικού Ρευστού*

Ο Leas et al. περιγράφει μια τεχνική για τη μέτρηση της διαπερατότητας σε αέριο με την υγρή φάση κρατούμενη στάσιμη εντός του πυρήνα από τριχοειδείς πιέσεις.

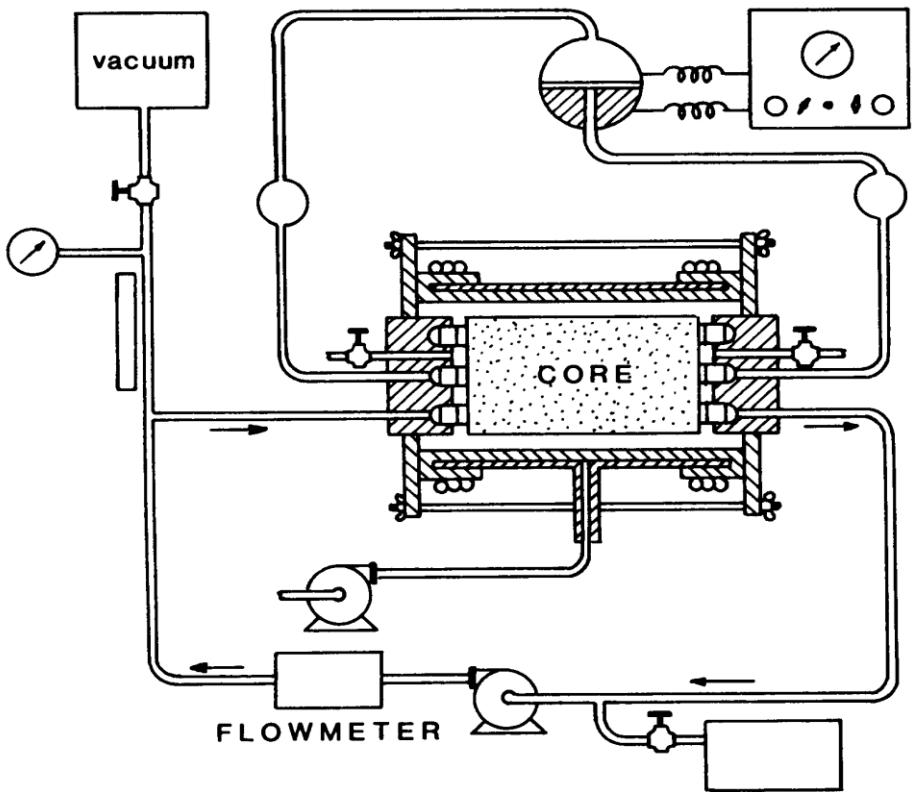
Η τεχνική αυτή τροποποιήθηκε ελαφρώς από τον Osoba et al.(1952)που κράτησε στατική την υγρή φάση μέσα στον πυρήνα με τη βοήθεια των εμποδίων που ήταν διαπερατά από το αέριο αλλά όχι από το υγρό. Οι Rapoport και Lease(1951) χρησιμοποίησαν μια παρόμοια τεχνική η οποία έκανε χρήση ημιπερατών εμποδίων που κρατούσαν στατική την αέρια φάση, ενώ επέτρεπαν στην υγρή φάση να ρέει. Ο Corey et al.(1956)επέκτεινε την μέθοδο στατικού ρευστού σε ένα τριφασικό σύστημα, με τη χρησιμοποίηση των εμποδίων που ήταν διαπερατά από το νερό, αλλά αδιαπέρατα από το πετρέλαιο και το αέριο. Ο Osoba et al.(1952)παρατήρησε ότι η σχετική διαπερατότητα σε αέριο, όταν καθορίζεται από την μέθοδο στατικού ρευστού, συμφωνούσε ικανοποιητικά με τις τιμές που μετρήθηκαν με άλλες τεχνικές για ορισμένες από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι σχετική διαπερατότητα σε αέριο που καθορίζεται από την τεχνική στατικού ρευστού ήταν γενικά χαμηλότερη από ότι με άλλες μεθόδους στην περιοχή της κορεσμού αερίου ισορροπίας. Αυτή η κατάσταση οδήγησε σε μια τιμή ισορροπίας κορεσμού αερίου η οποία ήταν υψηλότερα από εκείνα που λαμβάνονται από τις άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούνται (Penn-State, Δυναμική Ενός Δείγματος και Hassler).Οι Saraf & McCaffery (1982) εξέτασαν το εάν η μέθοδος στατικού ρευστού είναι ρεαλιστική, δεδομένου ότι όλα τα κινούμενα ρευστά δεν επιτρέπεται να ρέουν ταυτόχρονα κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

#### *Δ) Μέθοδος Hassler*

Αυτή είναι μια μέθοδος σταθερής κατάστασης για τη μέτρηση της σχετικής διαπερατότητας το οποίο περιγράφηκε από τον Hassler(1944). Η τεχνική αυτή αργότερα μελετήθηκε και τροποποιήθηκε από τους Gates και Lietz(1954), Brownscombe et al.,(1951),Osoba et al.(1952) και Josendal et al.(1952). Οι ημιδιαπερατές μεμβράνες εγκαθίσταται σε κάθε άκρο της διάταξης Hassler(1944). Αυτές οι μεμβράνες διατηρούν τις δύο ρευστές φάσεις ξεχωριστές στην είσοδο και την έξοδο του πυρήνα, αλλά επιτρέπουν και στις δύο φάσεις να ρέουν ταυτόχρονα μέσω του πυρήνα. Η πίεσησε κάθε ρευστή φάση μετράτε ξεχωριστά μέσω ενός ημιπερατού φράγματος. Με τη ρύθμιση του ρυθμού ροής της φάσης μη διαβροχής, οι βαθμίδες πίεσης στις δύο φάσεις μπορούν να γίνουν ίσες, εξισώνοντας τις τριχοειδείς πιέσεις στην είσοδο και την έξοδο του πυρήνα. Αυτή η διαδικασία έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ομοιόμορφο κορεσμού σε όλο το μήκος του πυρήνα, ακόμη και σε χαμηλές ταχύτητες ροής, και έτσι να εξαλείψει την επίδραση

των τριχοειδών πιέσεων. Η τεχνική λειτουργεί καλά κάτω από συνθήκες όπου το πορώδες μέσο είναι ισχυρά κορεσμένο με ένα από τα ρευστά, όμως έχουν αναφερθεί δυσκολίες στη διαδικασία κάτω από συνθήκες του ενδιάμεσης διαβρεξιμότητας.

Η μέθοδος Hassler δεν χρησιμοποιείται ευρέως αυτή τη στιγμή, δεδομένου ότι τα δεδομένα μπορούν να αποκτηθούν γρηγορότερα με άλλες εργαστηριακές τεχνικές.



Εικόνα 3. 6. Πειραματική διάταξη μεθόδου Hassler(Honarpouretal. 1986)

*E) Μέθοδος Hafford*

Σε αυτή τη μέθοδο η φάση μη διαβροχής εγχέεται απευθείας εντός του δείγματος και η φάση διαβροχής εγχέεται μέσω ενός δίσκου που είναι αδιαπέρατος από φάση μη διαβροχής. Το κεντρικό τμήμα του ημιπερατού δίσκου απομονώνεται από τον υπόλοιπο δίσκο από ένα μικρό μεταλλικό μανδύα. Το κεντρικό τμήμα του δίσκου χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της πίεσης όπου διαβρέχει το ρευστό στην είσοδο του δείγματος.

Η διαφορά πίεσης μεταξύ του ρευστού διαβροχής και μη διαβροχής είναι ένα μέτρο της τριχοειδούς πίεσεως στο δείγμα στο τέλος της εισροής. Ο σχεδιασμός της συσκευής

Hafford διευκολύνει τη διερεύνηση οριακών επιπτώσεων στο τέλος της εισροής του πυρήνα.

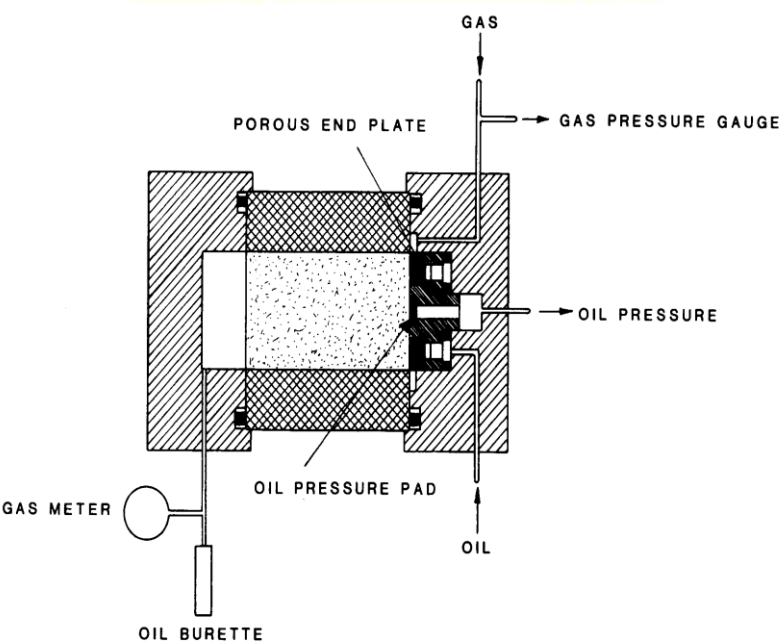
Η επίδραση των οριακών επιπτώσεων στην εκροή ελαχιστοποιείται με τη χρήση ενός υψηλού ρυθμού ροής.

Στ) Μέθοδος Διασκορπισμένης Τροφοδοσίας

Αυτή είναι μια μέθοδος σταθερής κατάστασης για τη μέτρηση σχετικής διαπερατότητας η οποία σχεδιάστηκε από τον Richardson et al.(1955)Η τεχνική είναι παρόμοια αυτήν του Hafford και της δυναμικής μεθόδου ενός δείγματος.

Στη μέθοδο διασκορπισμένης τροφοδοσίας, το ρευστό διαβροχής εισέρχεται στο δείγμα δοκιμής με το πρώτο πέρασμα μέσω ενός τμήματος διασποράς, το οποίο είναι κατασκευασμένο από ένα πορώδες υλικό παρόμοιο με το δείγμα δοκιμής.

Αυτό το υλικό δεν περιέχει μία συσκευή για τη μέτρηση της πίεσης εισόδου της φάσης διαβροχής όπως και η συσκευή Hafford. Το τμήμα διασποράς διανέμει το υγρό διαβροχής, έτσι ώστε να εισέρχεται το δείγμα δοκιμής σχεδόν ομοιόμορφα πάνω από το πρόσωπο εισόδου. Η φάση μη διαβροχής εισάγεται σε ακτινικούς αύλακες οι οποίοι τοποθετούνται με μηχανικά μέσα εντός της όψης εξόδου του τμήματος διασποράς, στην ένωση μεταξύ του υλικού διασποράς και του δείγματος δοκιμής. Οι βαθμίδες πίεσης που χρησιμοποιούνται για τις δοκιμές είναι αρκετά υψηλές ώστε η οριακή επίδραση στην όψη εξόδου του πυρήνα να είναι ασήμαντη.



Εικόνα 3. 7. Πειραματική διάταξη μεθόδου διασκορπισμένης τροφοδοσίας(Honarpouretal. 1986)



### Μέθοδοι Ασταθούς Κατάστασης

Οι μετρήσεις διαπερατότητας με τις μεθόδους ασταθούς κατάστασης μπορούν να εκτελεστούν σαφώς ταχύτερα από ότι αυτές με τις μεθόδους σταθερής κατάστασης.

Ως παράγωγο της εργασίας του Welge αναπτύχθηκε η μέθοδος JBN για τον υπολογισμό της σχετικής διαπερατότητας ξεχωριστών φάσεων από δεδομένα δοκιμών υπό ασταθή κατάσταση.

Κατά το σχεδιασμό των πειραμάτων με τα οποία θα καθοριστεί η σχετική διαπερατότητα ενός δείγματος λαμβάνονται υπ' όψιν οι εξής παράγοντες:

- Οι βαθμίδες πίεσης πρέπει να είναι αρκετά μεγάλες ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις των τριχοειδών πιέσεων.
- Η διαφορική πίεση σε ολόκληρο τον πυρήνα να είναι σημαντικά μικρότερη της πίεσης λειτουργίας ώστε οι επιπτώσεις της συμπίεστικότητας να είναι ίσωνος σημασίας.
- Ο πυρήνας να είναι ομοιογενής.
- Η πίεση εισόδου και οι συνθήκες που επικρατούν στον πυρήνα να είναι σταθερές.

### Λοιπές Μέθοδοι Προσδιορισμού Διαπερατότητας

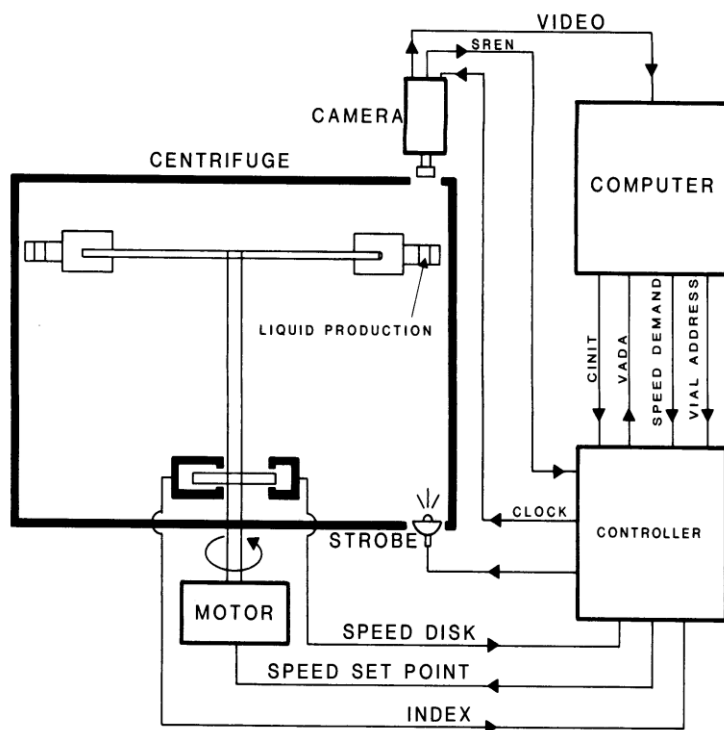
Πέραν των μεθόδων σταθερής και ασταθούς κατάστασης αναπτύχθηκαν κατά το παρελθόν και άλλες κατηγορίες μεθόδων.

Αυτές είναι οι εξής:

- ✓ Μέθοδοι τριχοειδών πιέσεων
- ✓ Μέθοδος Φυγοκέντρισης
- ✓ Υπολογισμός από δεδομένα πεδίου

Στη μέθοδο τριχοειδών πιέσεων μία αέρια φάση αντικαθιστά μία υγρή. Η χρήση των τεχνικών γενικά περιορίζεται σε συστήματα αερίου-πετρελαίου και αερίου-νερού, αν και είναι δυνατό να υπολογιστεί η σχετική διαπερατότητας σε σύστημα νερού-πετρελαίου από δεδομένα τριχοειδούς πίεσεως. Οι τεχνικές αυτές είναι χρήσιμες σε πετρώματα που έχουν τόσο χαμηλή διαπερατότητα ώστε οι δοκιμές ροής να είναι άχρηστες.

Οι μέθοδοι φυγοκέντρισης βασίζονται στην παρακολούθηση των υγρών που παράγονται από δείγματα πετρωμάτων που είναι αρχικά κορεσμένα σε μία ή δύο φάσεις. Τα υγρά συλλέγονται σε διαφανείς σωλήνες συνδεδεμένους με το εξάρτημα που κρατάει το δείγμα και η παραγωγή παρακολουθείται καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Αν και δεν χρησιμοποιούνται ευρέως οι μέθοδοι αυτές είναι ταχύτερες από τις μεθόδους σταθερής κατάστασης.



Εικόνα 3. 8. Πειραματική διάταξη μεθόδων φυγοκεντρικής(Honarpouretal. 1986)

Τέλος είναι δυνατός και ο υπολογισμός της σχετικής διαπερατότητας ενός πετρώματος από δεδομένα πεδίου (Honarpour etal., 1986 και βιβλιογραφικές αναφορές εντός αυτού).

## 4. Μεθοδολογίες

Κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε μία σειρά πειραματικών μεθοδολογιών όπως διαμόρφωση δοκιμίων με την χρήση του εργαστηριακού πυρηνολύπτη (καροταρίας), του εργαστηριακού δισκοπρίονου καθώς και του λειαντή δοκιμίων, ο προσδιορισμός του πορώδους με τη χρήση ποροσίμετρου τύπου Boyle, μέτρηση διαπερατότητας με την μέθοδο του υποδοχέα Hassler καθώς και ιζηματολογική ανάλυση. Πέραν όμως των εργαστηριακών διαδικασιών πραγματοποιήθηκε εργασία υπαίθρου (δειγματοληψία) στην ευρύτερη περιοχή του Αρκαλοχωρίου η οποία αποτελεί την περιοχή μελέτης.

Τα γεωλογικά δείγματα υποβλήθηκαν σε διαδικασία μέτρησης του πορώδους, δοκιμή μέτρησης διαπερατότητας. Από τα 34 γεωλογικά δείγματα τα 17 απέδωσαν 38 πυρήνες των οποίων μετρήθηκε το πορώδες, ενώ η διαπερατότητα μετρήθηκε σε 16 εξ' αυτών. Συνδυασμός μετρήσεων πορώδους και διαπερατότητας επετεύχθη σε 11 δείγματα.

Οι μετρήσεις πορώδους πραγματοποιήθηκαν με το ποροσίμετρο Boyle ενώ οι μετρήσεις διαπερατότητας με τη χρήση του υποδοχέα Hassler, με δυνατότητα εφαρμογής εξωτερικής εγκάρσιας ακτινωτής πίεσης (overburden pressure) για πιστή φυσική προσομοίωση των συνθηκών ροής του ρευστού στον σχηματισμό.

Τέλος πραγματοποιήθηκε κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων ώστε να εξαχθούν πληροφορίες για τις στατιστικές παραμέτρους των κοκκομετρικών κατανομών των δειγμάτων όπως το μέσο κοκκομετρικό μέγεθος (mean grain size), την ταξιθέτηση (sorting) την ασυμμετρία (skewness), την κύρτωση (Kurtosis) κατά τη στιγμή της απόθεσης των ψαμμιτικών φάσεων των ιζημάτων. Επίσης έγινε υπολογισμός των % ποσοστών των κλασμάτων άμμου, πηλού και αργίλου τα οποία ύστερα από προβολή σε τρίγωνα ταξινόμησης κατά Folk (1970) προσδιορίστηκε ο λιθολογικός χαρακτήρας των δειγμάτων. Οι παραπάνω παράμετροι μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για το χαρακτήρα των ψαμμιτών και το περιβάλλον απόθεσης. Τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής παρουσιάζονται παρακάτω.

### 4. 1Εργασία Υπαίθρου

Για τον προσδιορισμό των πετροφυσικών χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία ψαμμιτών του Νεογενούς από τον δρόμο Αρκαλοχώρι-Μάρθα, εντός της λεκάνης της Μεσσαράς, στα Νότια του νομού Ηρακλείου. Από την τομή που φαίνεται από τον δρόμο ελήφθησαν 34 γεωλογικά δείγματα. Τα σημεία στάσεων αναφέρονται στον πίνακα 4.1.

### Πρώτη στάση

Κατά την πρώτη στάση συναντήθηκε μία μετάβαση από μάργα σε ψαμμιτούχα μάργα. Σε εκείνο το σημείο λήφθηκε το δείγμα AM1 που είναι ψαμμιτούχα μάργα.

### Δεύτερη στάση

Λίγο πιο κάτω ελήφθη το δείγμα AM2 το οποίο είναι πιο ψαμμιτικό σε σχέση με το AM1. Το δείγμα AM3 ελήφθη από ψαμμιτούχο ορίζοντα με συγκρίματα. Το δείγμα AM4 είναι καφέ ψαμμίτης ενώ το AM5 πάρθηκε από στρώμα άστρωτου ψαμμίτη με κροκάλες.

### Τρίτη στάση

Στην στάση αυτήν βρέθηκαν ψαμμίτες ανάμεσα σε κροκαλοπαγή από όπου και ελήφθησαν τα δείγματα AM6α,β,γ τα οποία είναι κροκάλες με ψαμμίτη. Από εκείνη τη θέση πάρθηκαν και τα δείγματα AM7 που είναι ψαμμίτης ανάμεσα σε κροκαλοπαγή και μάργες, AM8 που αποτελεί ψαμμίτη από μετάβαση μάργας σε ψαμμίτη και το AM9 που είναι ψαμμίτης από τον ίδιο πάγκο. Ακόμα παρατηρήθηκε μετάβαση από ψαμμίτη σε μάργα. Παρακάτω απαντήθηκε μετάβαση από κροκαλοπαγή σε μη συνεκτικούς ψαμμίτες, σε ψαμμιτικούς πάγκους. Εκεί συναντήθηκαν και ενδείξεις εδαφογένεσης. Σε εκείνη την τοποθεσία ελήφθη ο ψαθυρός ψαμμίτης με το όνομα δείγματος να είναι AM10.

### Τέταρτη στάση

Σε αυτήν την στάση, στον δρόμο προς τη Μάρθα ελήφθησαν τα δείγματα AM11 που είναι συμπαγής ψαμμίτης από ψαμμιτικό πάγκο. Ακόμα ελήφθησαν τα AM12 (συμπαγής ψαμμίτης από ψαμμιτικό πάγκο) καθώς και το AM13 το οποίο ελήφθη από πάγκο ψαμμίτη. Το δείγμα AM14 είναι μη συμπαγής ψαμμίτης.

Τα δείγματα που πάρθηκαν από την πολυρηγματομένη θέση, είναι τα AM15 (άμμος από τα υποκείμενα) και το AM16 (ψαμμίτης από τα υπερκείμενα).

### Πέμπτη στάση

Απέναντι από την προηγούμενη τοποθεσία βρέθηκαν εναλλαγές κροκαλοπαγών με ψαμμιτικούς πάγκους που περιέχουν κροκάλες (εν μέρει έχουν φύγει και έχει μείνει το αποτύπωμα). Οι ψαμμίτες που παρουσιάζονται στην θέση αυτή είναι πολύ χαλαροί.

### Έκτη στάση

Το AM17 είναι ψαμμίτης (άμμος) και το AM18 συμπαγής ασβεστίτικος ψαμμίτης. Το AM19 είναι συμπαγής ψαμμίτης σε εναλλαγή με μη συμπαγή.

Το δείγμα AM20 είναι συμπαγής ψαμμίτης με απολιθώματα και το AM21 συμπαγής ψαμμίτης με απολιθώματα. Τα κροκαλοπαγή που βρέθηκαν καταγράφηκαν ως ψεύδοκροκαλοπαγή.

#### Έβδομη στάση

Πιο κάτω στον εν λόγω δρόμο παρατηρήθηκε ένα προφίλ με ψαμμιτικά κανάλια από όπου ελήφθησαν και τρία δείγματα, τα AM22, AM23 και AM24 τα οποία είναι συνεκτικοί ψαμμίτες.

Λίγο πιο κάτω παρουσιάζεται ψαμμίτης μεγάλου πάχους (πάνω από 2 μέτρα) που εξελίσσεται σε εναλλαγές ιλιολίθων με ψαμμίτες. Από εκείνο το σημείο τα δείγματα AM25 (δύο τεμάχια συμπαγούς ψαμμίτη), AM26 (τμήμα από ψαμμιτικό ορίζοντα του ίδιου πάχους) και AM27 (συμπαγής ψαμμίτης).

Μερικά μόνο μέτρα πιο κάτω (20 μέτρα περίπου) βρέθηκαν ψαμμίτες σε πάγκους που εξελίσσονται σε πάγκου μεγαλύτερους των 2 μέτρων. Από εκείνο το σημείο ελήφθησαν τα δείγματα AM28 (ψαμμίτης με μάργα), AM29 (ενδιάμεσος ψαμμίτης) και AM30 (ψαμμίτης από το μεγάλο πάγκο).

#### Όγδοη στάση

Λίγο πριν τη διασταύρωση Ιεράπετρα-Άγιοι Δέκα πάρθηκαν τα δείγματα AM31 (συμπαγής ψαμμίτης), AM32α,β (συμπαγείς ψαμμίτες από εναλλαγές ψαμμιτικών πάγκων) και AM33 (ψαμμίτης από εναλλαγές ψαμμιτών με μάργες).



Πίνακας 4. 1. Πίνακας παρουσίασης συντεταγμένων θέσεων δειγματοληψίας

Δείγμα	E	N	Y	Ακρίβειαμ
AM1	617452	3885554	259	6
AM2	617454	3885971	259	6
AM3	617454	3885971	259	6
AM4	617454	3889571	259	6
AM5	617454	3889571	259	6
AM6	617711	3884771	215	3
AM7	617711	3884771	215	3
AM8	617711	3884771	215	3
AM9	617711	3884771	215	3
AM10	617711	3884771	215	3
AM11	619772	3882617	287	5
AM12	619772	3882617	287	5
AM13	619772	3882617	287	5
AM14	619772	3882617	287	5
AM15	619772	3882617	287	5
AM16	619772	3882617	287	5
AM17	615876	3882527	281	11
AM18	615876	3882527	281	11
AM19	615876	3882527	281	11
AM20	615876	3882527	281	11
AM21	615876	3882527	281	11
AM22	620517	3882445	262	4
AM23	620517	3882445	262	4
AM24	620517	3882445	262	4
AM25	620277	3882475	247	5
AM26	620277	3882475	247	5
AM27	620277	3882475	247	5
AM28	620277	3882475	247	5
AM29	620277	3882475	247	5
AM30	620277	3882475	247	5
AM31	621426	3881843	290	3
AM32	621426	3881843	290	3
AM33	621426	3881843	290	3

4. 2Διαμόρφωση δοκιμίων

Η λήψη πυρήνων αποτελεί μία σύντομη και ευρέως διαδεδομένη μέθοδος ποιοτικού ελέγχου η οποία βασίζεται στην διάτρηση και αποκοπή κυλινδρικού δοκιμίου. Η διαδικασία της προετοιμασίας των δειγμάτων καθώς και αυτή της πυρηνοληψίας πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης

σύμφωνα με τις δοθείσες από την βιβλιογραφία προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές δίδονται από την βιβλιογραφία ως εξής:

- ✓ Τα δοκίμια πρέπει να είναι κυλινδρικά με διάμετρο κατά προτίμηση μεγαλύτερη ή ίση με NX(δηλαδή 25,4mm) και ύψος 2,5-3 φορές την διάμετρο.
- ✓ Τα δοκίμια πρέπει να διαμορφωθούν με την χρήση μόνο καθαρού νερού στα κοπτικά και λειαντικά εργαλεία) και όχι να γίνεται χρήση πρόσθετων υλικών για ενίσχυση ή κατεργασία των άκρων του δοκιμίου. Οι κυλινδρικές επιφάνειες πρέπει να είναι λείες με ανοχή 0. 025 mm
- ✓ Οι βάσεις του κυλινδρικού δοκιμίου πρέπει να είναι παράλληλες μεταξύ τους με ανοχή περίπου 0. 02 mm και ορθογώνιες ως προς τον άξονα συμμετρίας του δοκιμίου με ανοχή 0. 001 ακτίνα.

Για την κοπή και την διαμόρφωση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν τα εξής εργαστηριακά όργανα: α) γεωτρύπανο (καροταρία), και σε ορισμένες περιπτώσεις σε συνεργασία με τον κ. Αποστολάκη το β) δισκοπρίονο κοπής πετρωμάτων και γ) λειαντής δοκιμίων (από Αγιουτάντης, 2002)

#### Εργαστηριακός Πυρηνολήπτης(Καροταρία)

Το μηχάνημα της παρακάτω εικόνας (Εικόνα 4. 1) λειτουργεί με την ίδια αρχή όπως και ένα τρυπάνι. Πρόκειται για ένα άξονα που περιστρέφεται κατά την κατακόρυφο και στη άκρη φέρει άκρο το οποίο κόβει το πέτρωμα.

Η διαφορά του με το απλό τρυπάνι είναι ότι το κοπτικό άκρο του είναι δακτυλιοειδές (πυρηνολήπτης) και έτσι το κομμάτι πετρώματος που προκύπτει είναι κυλινδρικό. Για την κοπή του δοκιμίου το πέτρωμα στερεώνεται σταθερά σε εσχάρα που βρίσκεται στην βάση της μηχανής κοπής κάτω από το κοπτικό άκρο.

Στην συνέχεια το πέτρωμα και το κοπτικό άκρο έρχονται σε επαφή και ξεκινά η κοπή. Η κατακόρυφη δύναμη που είναι απαραίτητη για την κοπή των δοκιμών ασκείται χειροκίνητα. Στην μηχανή υπάρχει κλειστό κύκλωμα νερού για την ψύξη του κοπτικού άκρου το οποίο τίθεται σε λειτουργία κατά την έναρξη της κοπής.

Συνολικά ελήφθησαν 17 πυρήνες με προσανατολισμό είτε κάθετο είτε παράλληλο στη στρώση. Για τον λόγο αυτό τα κυλινδρικά δοκίμια κατά την οριζόντια διεύθυνση ονομάστηκαν ΗΑ και τα αντίστοιχα κάθετα VΑ. Η διαδικασία ονοματολογίας των πυρήνων παρουσιάζεται σχηματικά παρακάτω.



Εικόνα 4. 2. Εργαστηριακός πυρηνολήπτης(καροταρία)

#### Εργαστηριακό δισκοπρίονο κοπής δοκιμίων

Μετά την κοπή των δοκιμίων σε κυλινδρικά πρέπει να διαμορφωθούν οι άκρες των κυλίνδρων αυτών, γιατί κατά το τέλος της κοπής τα δοκίμια διαχωρίζονται με σπάσιμο από τον υπόλοιπο όγκο του πετρώματος. Το κάθε δοκίμιο τοποθετείται στο μηχάνημα και στερεώνεται σταθερά, έτσι ώστε να βρίσκεται κάθετα στον άξονα περιστροφής του δίσκου. Το δοκίμιο αρχικά απέχει λίγα εκατοστά από το δίσκο. Ο δίσκος (Εικόνα 4. 2) τίθεται σε κίνηση και μετακινείται με σταθερή ταχύτητα προς το δοκίμιο κόβοντας το ανώμαλο άκρο. Η ίδια διαδικασία γίνεται και για το άλλο άκρο του δοκιμίου. Το μηχάνημα αυτό διαθέτει επίσης κλειστό κύκλωμα νερού για τη ψύξη του δίσκου.



Εικόνα 4. 3. Εργαστηριακό δισκοπρίονο (από Κουβάλας 2006)

#### Εργαστηριακός λειαντής δοκιμίων

Το δοκίμιο τοποθετείται σταθερά σε ειδική βάση που φέρει το μηχάνημα έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η παραλληλότητά του με τον άξονα λείανσης, άρα και τη δημιουργία οριζόντιας επιφάνειας.

Το μηχάνημα τίθεται σε λειτουργία. Ο δίσκος εφάπτεται στο δοκίμιο και λειαίνει την επιφάνεια του δοκιμίου. Η μετακίνηση του δίσκου γίνεται χειροκίνητα κατά την οριζόντια διεύθυνση. Μετά από λίγες επαναλήψεις της οριζόντιας αυτής κίνησης ο δίσκος σταματά να έρχεται σε επαφή με το δοκίμιο. Τότε, ο δίσκος μετακινείται χειροκίνητα κατά την κατακόρυφη διεύθυνση έως ότου έρθει πάλι σε επαφή με το δοκίμιο. Μετά από μια με δυο επαναλήψεις το δοκίμιο βγαίνει από τη μηχανή και τοποθετείται σε λεία οριζόντια επιφάνεια.

Στη συνέχεια εξετάζεται η τέλεια εφαρμογή της λειανθείσας επιφάνειας με την επιφάνεια αυτή. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου επιτευχθεί η τέλεια εφαρμογή τους και για τις δυο άκρες του δοκιμίου. Το μηχάνημα διαθέτει επίσης κλειστό κύκλωμα νερού για τη ψύξη του δίσκου λείανσης (από Αγιουτάντης, 2002).



**Εικόνα 4. 4. Λειαντής εργαστηρίου Μηχανικής Πετρωμάτων Πολυτεχνείου Κρήτης**

#### 4. 3Μέτρηση του πορώδους

Για την μέτρηση του πορώδους που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Ανάλυσης Ρευστών και Πυρήνων υπόγειων Ταμιευτήρων, χρησιμοποιήθηκε η στηριζόμενη στο ποροσίμετρο τύπου Boyle μέθοδος. Το δείγμα αφότου τοποθετήθηκε στον φούρνο για 24 ώρες, έτσι ώστε να αφαιρεθεί τυχόν υγρασία τοποθετήθηκε εντός δοχείου κενού αέρος γνωστού όγκου  $V_s$ .

Το δοχείο συνδέεται με άλλο δοχείο γνωστού όγκου  $V_R$  το οποίο περιέχει αέριο ήλιο (He) υπό πίεση  $P_1$ . Με την εκτόνωση του αερίου στο πρώτο δοχείο αποκαθίσταται πίεση  $P_2$  στο σύστημα. Σύμφωνα λοιπόν με τον νόμο του Boyle ισχύει:

$$\diamond P_1 V_1 = P_2 V_2 \text{ (Εξίσωση 4. 1)}$$

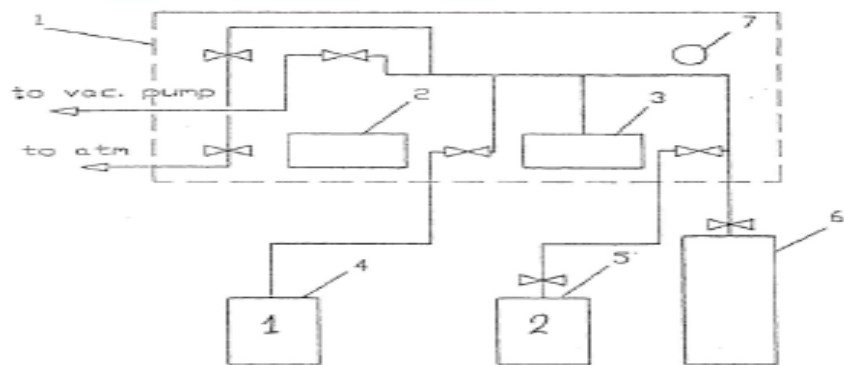
Στην συγκεκριμένη περίπτωση η εξίσωση 4. 1 παίρνει την μορφή της εξίσωσης 4. 2 από την οποία υπολογίζεται ο όγκος των κόκκων του πετρώματος.

$$\diamond P_1 V_R = P_2 (V_R + V_s - V_g) \text{ (Εξίσωση 4. 2)}$$

Το ποροσίμετρο τύπου Boyle το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην μέτρηση του πορώδους αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- Μεταλλικά αεροστεγή δοχεία 1,2
- Ψηφιακό μανόμετρο με διακριτικές ικανότητα μέτρησης 0. 01 bar
- Σύστημα σωλήνων και βαλβίδων
- Αντλία κενού
- Φιάλη He





Σχήμα Ε2: Πειραματική διάταξη μέτρησης πορώδους. 1-Πάνελ ελέγχου, 2,3- Μανόμετρα, 4,5-Δοχεία μέτρησης, 6-Φιάλη Ηλίου, 7-Διακόπτης λειτουργίας

Εικόνα 4. 1. Πειραματική διάταξη ποροσίμετρου τύπου Boyle (Βαρότσης 2014)

Απαραίτητο βήμα για τον ακριβή προσδιορισμό του πορώδους είναι η βαθμονόμηση του ποροσίμετρου τύπου Boyle, δηλαδή ο προσδιορισμός του συνολικού όγκου τόσο των δοχείων όσο και της υπόλοιπης πειραματικής διάταξης.

Αρχικά τοποθετούνται σφαίρες(μπίλιες - ρουλεμάν) γνωστής διαμέτρου στο πρώτο δοχείο και δημιουργείται κενό. Εν συνεχεία το δοχείο αυτό μέσω του συστήματος βαλβίδων απομονώνεται από το υπόλοιπο σύστημα. Στη συνέχεια εκτονώνεται η πίεση από το δοχείο που περιέχει τις μεταλλικές σφαίρες και σημειώνεται η ένδειξη της πίεσης μετά την δημιουργία κατάστασης ισορροπίας εντός του δοχείου.

Στη συνέχεια τοποθετείται ακόμα μια σφαίρα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου επέλθει πλήρωση του δοχείου από τις μεταλλικές σφαίρες. Για τον προσδιορισμό του πορώδους στα προς μέτρηση δοκίμια τα δοκίμια αυτά τοποθετούνται στη θέση των μεταλλικών σφαιρών. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου μετρηθεί το πορώδες σε όλα τα δοκίμια. Οι μετρήσεις που προκύπτουν και η εξίσωση της καμπύλης δίνουν τον όγκο των κόκκων του πετρώματος. Ως παράδειγμα παρατίθεται ο προσδιορισμός του πορώδους για το δοκίμιο AM1VA1.

Πίνακας 4. 2. Αποτελέσματα μετρήσεων στερεών προτύπων

Μέγεθος Σφαιρών	Σφαίρες	V(ml)	$P_{αρχ}$ (bar)	$P_R$ (bar)	$P_{τελ}$ (bar)
	0	0	-0.99	6	2.58
	2	2.145062	-0.99	6	2.70
	4	4.290123	-0.99	6	2.74

Μεγάλες D=1,57cm	6	6.435185	-0.99	6	2.84
	8	8.580247	-0.99	6	2.96
Μικρές D=0. 395 cm	10	10.725310	-0.99	6	3.07
	12	12.87037	-0.99	6	3.19
	15	16.08796	-0.99	6	3.33
	15 + 10	16.41066	-0.99	6	3.42
	15 + 20	16.73335	-0.99	6	3.44
	15 + 30	17.05604	-0.99	6	3.46
	15 + 40	17.37874	-0.99	6	3.47
	15 + 50	17.70143	-0.99	6	3.51
	15 + 60	18.02412	-0.99	6	3.54
	15 + 70	18.43682	-0.99	6	3.55
	15 + 80	18.66951	-0.99	6	3.57
	15 + 90	18.99220	-0.99	6	3.60
	15 + 100	19.31490	-0.99	6	3.63
	15 + 110	19.63590	-0.99	6	3.64
	15 + 120	19.96028	-0.99	6	3.66
	15 + 130	20.28297	-0.99	6	3.70
	15 + 140	20.60567	-0.99	6	3.75
	15 + 150	20.92836	-0.99	6	3.76
	15 + 160	21.25105	-0.99	6	3.77
	15 + 170	21.57375	-0.99	6	3.78
	15 + 180	21.89634	-0.99	6	3.85

Πίνακας 4. 3. Μέτρηση πορώδους για το δοκίμιο AM1VA1

Μήκος δοκιμίου	(L)	1. 7	cm
Διάμετρος δοκιμίου	(D)	2. 56	cm
Ολικός όγκος δοκιμίου	(BV)	8. 75	cm <sup>3</sup>
Όγκος πόρων	(VG)	5. 67	cm <sup>3</sup>
Πορώδες		35. 17	%
Μέτρηση 1 πίεσεως δοκιμίου	-0. 99		bar
Μέτρηση 2 πίεσεως δοκιμίου	2. 82		bar

Η εξίσωση προσδιορισμού του πορώδους έχει ως εξής:

$$GV = -42,82289 \cdot \frac{P_R - P_{τελ}}{P_{τελ} - P_{αρχ}} + 41460$$

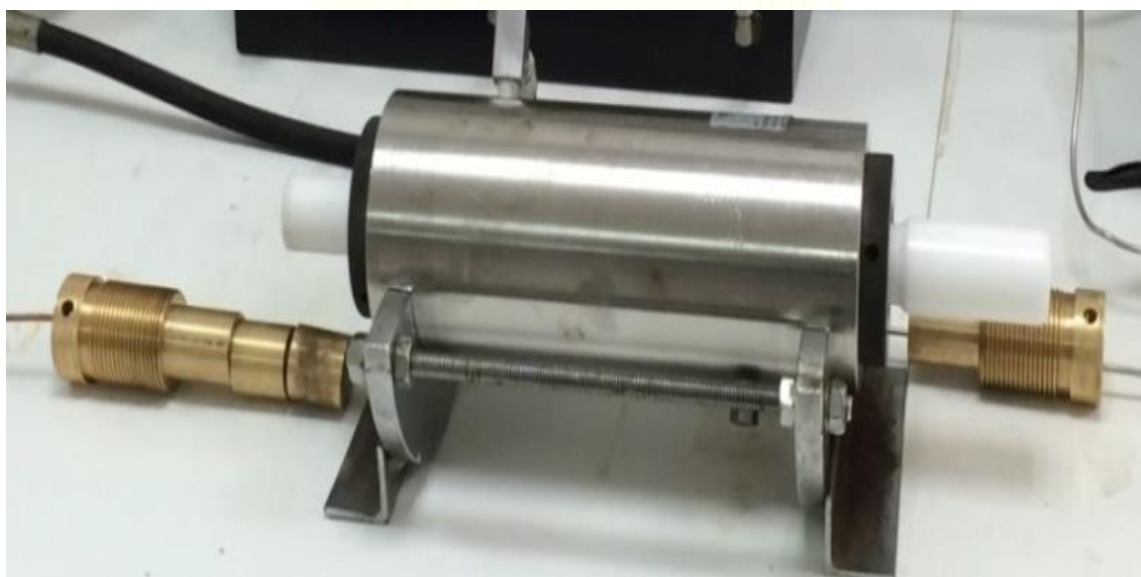
Η εξίσωση αυτή ισχύει για όγκους GV από 0 έως 21,5 ml.



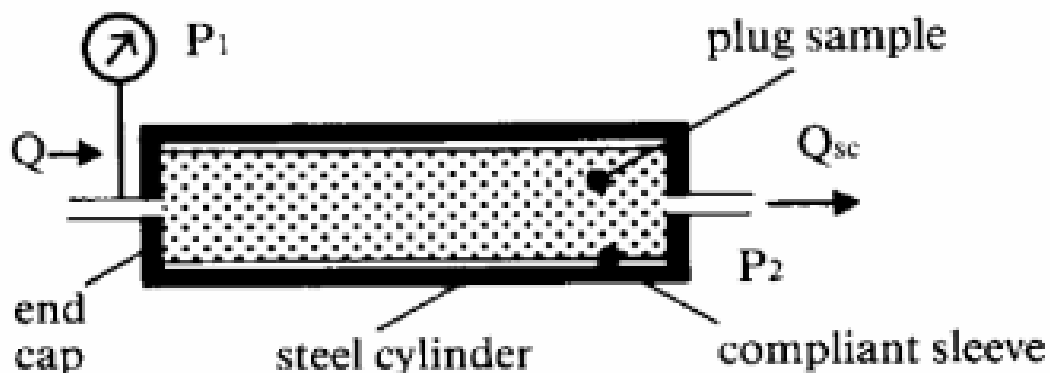
Όλη η πειραματική διάταξη έχει σαν βασικό στοιχείο της τον υποδοχέα δειγμάτων. Πρόκειται για έναν υποδοχέα Hassler με δυνατότητα άσκησης εξωτερικής εγκάρσιας ακτινωτής πίεσης (overburden pressure), έτσι ώστε να προσομοιωθούν οι συνθήκες ροής του ρευστού εντός του υπόγειου ταμιευτήρα. Με την μεταβολή της πίεσης αυτής προσομοιώνεται το βάθος του ταμιευτήρα. Η πειραματική διάταξη αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Μεταλλικός κύλινδρος
- Δύο μεταλλικές βάσεις
- Ελαστικός δακτύλιος

Το δοκίμιο πρέπει να έχει διάμετρο μία ίντσα και μήκος τουλάχιστον 5cm. Το δοκίμιο τοποθετείται στον υποδοχέα και συγκρατείται από δύο κυλινδρικά κελύφη, μέσω των οποίων διαθέτουν αυτά, διέρχεται ο αέρας. Ο κενός χώρος ανάμεσα στον ελαστικό δακτύλιο και τον εξωτερικό μεταλλικό κύλινδρο συνδέεται με την υδραυλική αντλία πίεσης. Στο χώρο αυτό εισάγεται υδραυλικό λάδι με πίεση ικανή να προσαρμόσει απόλυτα τον δακτύλιο πάνω στον πυρήνα και να αποτρέψει την διέλευση του αέρα γύρω από το δοκίμιο. Η πίεση αυτή είναι χαρακτηριστική για κάθε δοκίμιο και προσδιορίζεται πειραματικά. Η πίεση που ασκείται με το υδραυλικό λάδι χρησιμεύει και στην προσομοίωση συνθηκών ταμιευτήρα. Υπάρχει δυνατότητα άσκησης πίεσης έως 2500psi.



**Εικόνα 4.7. Διαπερατόμετρο Hassler εργαστηρίου Ανάλυσης Ρευστών και Πυρήνων Υπόγειων Ταμιευτήρων (Βαρότσης 2014)**



Εικόνα 4.8. Σχηματική απεικόνιση διαπερατόμετρου Hassler (Βαρότσης 2014)

Η μέθοδος παρέχει ακρίβεια της τάξεως του  $\pm 5\%$  της πραγματικής τιμής όταν και μόνο όταν οι τιμές που μετρήθηκαν βρίσκονται εντός των ορίων 10-500 md. Σε περιπτώσεις όπου η τιμή της διαπερατότητας προσδιορίζεται κάτω από το 1 md η ακρίβεια της μεθόδου είναι  $\pm 20\%$  ενώ όταν οι τιμές ξεπερνούν τα 500 md η ακρίβεια με την οποία λαμβάνεται η μέτρηση είναι  $\pm 10\%$  επί της πραγματικής τιμής. Κατά τις συνήθεις εργαστηριακές μετρήσεις, η διαπερατότητα η οποία μετρείται δεν αντιστοιχεί απόλυτα στην πραγματική διαπερατότητα του πετρώματος το οποίο ευρισκόμενο σε βάθος χιλιάδων μέτρων υφίσταται την πίεση των υπερκείμενων πετρωμάτων (Μαντζιώκας 2016).

Τα δείγματα πυρήνων τα οποία συλλέγονται για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας κόβονται σε κυλινδρική μορφή και σε διεύθυνση παράλληλη προς το επίπεδο επίστρωσης. Δείγματα κομμένα σε κάθετη διεύθυνση ως προς το επίπεδο επίστρωσης χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της **κατακόρυφου** διαπερατότητας (Βαρότσης 2014).

4.5. Ιζηματολογική Ανάλυση-Κοκκομετρικές Αναλύσεις

Στην ιζηματολογία το μέγεθος και η κατανομή των κόκκων αποτελούν βασικό αντικείμενο μελέτης, καθώς με βάση αυτά καθορίζεται ένα μεγάλο κομμάτι των ιδιοτήτων των ιζημάτων.

Θεμελιώδη διαδικασία στις ιζηματολογικές αναλύσεις αποτελεί η κοκκομετρική ανάλυση, καθώς με βάση τα δεδομένα που προκύπτουν από αυτήν, καθορίζεται σημαντικός αριθμός στατιστικών παραμέτρων. Σε αυτές τις παραμέτρους βασίζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν για:

- Την κατανομή του κοκκομετρικού μεγέθους των κόκκων των ιζημάτων
- Τα ποσοστά κατανομής των ομάδων μεγεθών των κόκκων του πετρώματος
- Η ταξινόμηση του πετρώματος από το οποίο ανακτήθηκε το δείγμα
- Το περιβάλλον απόθεσης των ιζημάτων

Οι πρώτοι που διαπίστωσαν την μεγάλη ποικιλία του μεγέθους των κόκκων και τους ταξινόμησαν σε τρεις βασικές ομάδες, τις ψηφίδες(κροκάλες-χαλίκια), τους ψαμμίτες(άμμους) και τους πυλίτες(ιλύες-αργίλους), ήταν οι αρχαίοι Έλληνες (από Μουρτζάκη 2011). Αυτή η ταξινόμηση, παραλλαγμένη από σύγχρονους ερευνητές ισχύει ακόμα και σήμερα με τα όρια που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.4. Ταξινόμηση υλικού με βάση το μέγεθος των κόκκων

Μέγεθος κόκκων	>2mm	Κροκάλες-Χαλίκια	
Μέγεθος κόκκων	2mm-0. 0625mm	Άμμος(Sand)	
Μέγεθος κόκκων	0. 0625-0. 0020	Ιλύς(Silt)	Πηλός(Mud) =
Μέγεθος κόκκων	<0. 0020	Αργίλος(Clay)	Ιλύς(Silt) +50%(Clay)



Σκοπός της κοκκομετρικής ανάλυσης ο προσδιορισμός των κοκκομετρικών παραμέτρων, για την περιγραφή της κοκκομετρικής κατανομής των ιζημάτων. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε με την χρήση κοσκίνων για το αδρομερές μέρος του υλικού(>63μm), ενώ για το λεπτομερές μέρος χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος laser.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν 20 κοκκομετρικές αναλύσεις, παρόλο που υπήρχαν 34 γεωλογικά δείγματα. Ο λόγος που συνέβη αυτό ήταν ότι τα 14 δείγματα δεν αποσυμπετρώθηκαν ικανοποιητικά έτσι ώστε να υποστούν κοκκομετρική ανάλυση.

Η διαδικασία της κοκκομετρικής ανάλυσης ξεκινούσε με την τοποθέτηση μίας ποσότητας της τάξεως των 250-300 γραμμαρίων δείγματος σε δοχείο χωρητικότητας 2 λίτρων, και την προσθήκη νερού. Το δείγμα αναδεύονταν και παρέμενε στο νερό για χρονικό διάστημα ικανό ώστε να αποσυμπετρωθεί(το διάστημα εκτιμήθηκε στις 24 ώρες).

Μετά το πέρας του διαστήματος αυτού τα δείγματα υποβλήθηκαν σε υγρή κοσκίνηση(με τη χρήση του κόσκινου διαμέτρου 63μm) έτσι ώστε να γίνει ο πρώτος διαχωρισμός του αδρομερούς(κροκάλες-χαλίκια-άμμος) από το λεπτομερές υλικό(πηλός-άργιλος). Ο λόγος που έγινε αυτό είναι ότι εάν η διαδικασία αυτή της υγρής κοσκίνησης παραλειπόταν θα είχαμε συσσώρευση υλικού στο κόσκινο των 63μm κατά την ξηρή κοσκίνηση.

Το διερχόμενο υλικό τοποθετούνταν σε ποτήρια ζέσεως των 400ml, ενώ το συγκρατούμενο σε ποτήρια ζέσεως 1000ml.

Τα ποτήρια ζέσεως με το διερχόμενο υλικό τοποθετούνταν στο φούρνο για ξήρανση, σε θερμοκρασία 60° κελσίου. Η θερμοκρασία αυτή επελέγη ώστε να μην έρθει το νερό σε θερμοκρασία βρασμού και υπάρξει απώλεια υλικού λόγω του κοχλασμού.

Το συγκρατούμενο υλικό αφότου ξηράνθηκε, ζυγίστηκε και χωρίστηκε σε δύο περίπου ίσα μέρη υποβλήθηκε σε ξηρή κοσκίνηση. Στο δε υλικό που διήλθε από το κόσκινο των 63μm εφαρμόστηκε η μέθοδος laser.

Σημαντική σημείωση αποτελεί το γεγονός ότι οι μετρήσεις που αποδόθηκαν από τη μηχανή laser απέδιδαν μετρήσεις κατ' όγκο, ενώ οι μετρήσεις από την κοσκίνηση απέδιδαν μετρήσεις κατά βάρος. Συνεπώς οι μετρήσεις των δύο διαδικασιών δεν μπορούσαν να συνδυαστούν.

Για την προσαρμογή των μετρήσεων, έτσι ώστε να εξαχθεί συμπέρασμα από τις ιζηματολογικές αναλύσεις, χρησιμοποιήθηκε η αναγωγή του %w/w(κόσκινα) σε % w/v(laser).



**Εικόνα4.9. Εργαστηριακή διαδικασία υγρής κοσκίνησης**



**Εικόνα4.10. Εργαστηριακή διαδικασία ξηρής κοσκίνησης με μηχανή κοσκίνησης**

Από τα δεδομένα που εξήχθησαν από τις κοκκομετρικές αναλύσεις κατασκευάστηκαν οι αθροιστικές κοκκομετρικές καμπύλες και καθορίστηκε ο λιθολογικός χαρακτήρας των ιζημάτων με την ταξινόμηση κατά Folk και Ward(1970). Έπειτα υπολογίστηκαν οι στατιστικές παράμετροι (διάμεσος Md, αριθμητικός μέσος Mz, τυπική απόκλιση σί, ασυμμετρία, και κύρτωση).

Πίνακας 4.5. Στατιστικές παράμετροι ιζηματολογικών αναλύσεων(Κοντόπουλος 2007)

Στατιστικές παράμετροι	Τύποι στατιστικών παραμέτρων
Διάμεσος(Md)	Φ50
Αριθμητικός μέσος(Mz)	(Φ16+Φ50+Φ84) /3
Τυπική απόκλιση(σG)	(Φ84-Φ16) /2
Τυπική απόκλιση(σi)	((Φ84-Φ16) /4) +((Φ95-Φ5) /6,6)
Ασυμμετρία(SK1)	((Φ16+Φ84-2*Φ50) /(2*(Φ84-Φ16) ) ) +((Φ5+Φ95-2*Φ50) /(2*(Φ95-Φ5) ) )

➤ Διάμεσος (Median, Md)

Το 50% κατά βάρος των κομματιών είναι χονδρότερα από τη διάμεσο και το 50% λεπτότερα από αυτήν. Η διάμεσος είναι η διάμετρος που αντιστοιχεί στο σημείο της αθροιστικής καμπύλης 50% και μπορεί να εκφραστεί είτε σε mm είτε σε τιμές φ.

➤ Αριθμητικός Μέσος (Mean size)

Ο Inman πρότεινε τη φόρμουλα  $(\phi_{16}+\phi_{84}/2)$  για τον αριθμητικό μέσο, αλλά ο τύπος αυτός δεν είναι αποτελεσματικός σε ασύμμετρες καμπύλες. Ο Γραφικός Μέσος (graphic mean) (MZ) κατά Folk που δίνεται από τη φόρμουλα  $MZ=(\phi_{16}+\phi_{50}+\phi_{84}/3)$  είναι πολύ πιο κοντά στο μέσο που δίνει η μέθοδος των ροπών και δίνει πιο πιστή συνολική εικόνα της κατανομής σε σχέση με τη διάμεσο μια και είναι στηριγμένη σε τρία σημεία.

➤ Τυπική απόκλιση (Standard Deviation)

Η σταθερή απόκλιση εκφράζει την ομοιομορφία ή ταξιθέτηση (sorting) των ιζημάτων. Η φόρμουλα κατά Inman  $(\phi_{84}-\phi_{16}/2)$  δίνει την γραφική σταθερή απόκλιση σG (graphic standard deviation).

➤ Ασυμμετρία (skewness / asymmetry)

Όταν οι τιμές μιας μεταβλητής δεν ισαπέχουν από το σημείο της μέγιστης συχνότητας (επικρατούσα τιμή ή τύπος =Mode) και πάντα από τη μια πλευρά του σημείου μέγιστης συχνότητας (Mode) υπάρχει μεγαλύτερος αριθμός συχνοτήτων σε σχέση προς την άλλη πλευρά του, τότε η καμπύλη είναι ασύμμετρη.

➤ Κύρτωση (Kurtosis ή peakedness)

Η κύρτωση μετρά την αναλογία μεταξύ της διασποράς των τιμών (sorting) στα άκρα και της διασποράς των τιμών στην κεντρική περιοχή της κατανομής, δηλαδή αναφέρεται στο βαθμό συγκέντρωσης των τιμών της μεταβλητής γύρω από το μέσον και τα άκρα (“tails”) της κατανομής.

➤ Επικρατούσα τιμή (Mode)

Η επικρατούσα τιμή δηλώνει την διάμετρο εκείνη που παρουσιάζει την πιο μεγάλη συχνότητα απάντησης. Αντιστοιχεί στο πιο απότομο σημείο της αθροιστικής καμπύλης και στο υψηλότερο σημείο πάνω στην καμπύλη συχνοτήτων(από Κοντόπουλος, 2007).



Πίνακας4.6. Συγκριτικά χαρακτηριστικά των μεθόδων ξηρής/υγρής κοσκίνησης& Διάθλασης με laser(Laser diffraction Analysis) (από Πολιώτης, 2011)

Χαρακτηριστικά	Μέθοδος Ξηρής /Υγρής κοσκίνησης	Μέθοδος διάθλασης με Laser
Ποσότητα Δειγμάτων	Μεγάλα & χρονοβόρα δείγματα	Μικρά δείγματα (0,5gr)
Φάσμα Μετρήσεων	<63 μm	0. 02 έως 2000 μm
Αποτελέσματα	Παράγει ποσοστό (%) Ιλύος, Άμμου, Αργίλου	Παράγει συνεχή αποτελέσματα, PSD (particle size distribution), καλύτερη εκτίμηση αργιλικού κλάσματος (θεωρία Mie, Pieri et al., 2007), υποτίμηση αργιλικού κλάσματος (Konert et al., 1997)
Μέγεθος	Καθιερωμένη μέθοδος αναφοράς	Νέα μέθοδος, χωρίς διαθέσιμες συσχετίσεις
Μέγεθος Σωματιδίων	Υποθέτουμε τα σωματίδια ως σφαιρικά	Το μέγεθος σωματιδίων επηρεάζει τα αποτελέσματα, υπερεκτίμηση μεγέθους.
Διαδικασία Ανάλυσης	Πιο σύνθετη	Απλή
Ταχύτητα	Μικρή	Μεγάλη
Αυτοματισμός	Όχι	Ναι
Επιδεξιότητα Χειριστή	Υψηλή	Μικρή
Κόστος	Σχετικά χαμηλό	Υψηλό
Πυκνότητα σωματιδίων	Εξαρτάται από την πυκνότητα των σωματιδίων (ίση με χαλαζία, 2,65 – 3 gr/cm)	Ανεξάρτητο από την πυκνότητα των σωματιδίων
Κατανομή Μάζας	PSD, από κλάσμα μάζας	PSD, από κλάσμα όγκου

5. Αποτελέσματα

Οι τιμές των χαρακτηριστικών πετροφυσικών παραμέτρων, όπως το πορώδες και η διαπερατότητα, εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τη μεταβολή των φυσικών και χημικών παραμέτρων του αρχικού ιζήματος σε ποικίλα αποθετικά περιβάλλοντα, κατά την απόθεση και την διαγένεση.

Για τον καθορισμό των δύο αυτών παραμέτρων ακολουθήθηκε στα δείγματα που πάρθηκαν από την φυσική τομή στην περιοχή του δρόμου Αρκαλοχώρι - Μάρθα μια τυπική διαδικασία. Ένας πρώτος χαρακτηρισμός των πετρωμάτων κατά την δειγματοληψία στο πεδίο βοήθησε ώστε τα δείγματα χειρός να έχουν αν όχι παρόμοια, παραπλήσια οπτικά χαρακτηριστικά όσον αφορά το μέγεθος και την υφή των κόκκων τους. Ο ακριβής λιθολογικός χαρακτηρισμός τους κατά Folk (1974) πραγματοποιήθηκε ύστερα από κοκκομετρική ανάλυση(όσων δειγμάτων ρευστοποιήθηκαν ύστερα από εμβάπτιση σε νερό). Το πορώδες και η διαπερατότητα προσδιορίστηκαν με τη χρήση του ποροσίμετρου τύπου Boyleκαι του διαπερατόμετρου Hassler όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Στους επόμενους πίνακες παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

5.1. Αποτελέσματα Δοκιμών Προσδιορισμού Πορώδους και Διαπερατότητας

Στους πίνακες που δίδονται παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραματικών διαδικασιών προσδιορισμού πορώδους και διαπερατότητας. Ακόμα παρουσιάζεται η διαστασιολόγηση των δοκιμίων και η ονοματολογία τους.

Πίνακας 5.1. Παράδειγμα ονοματολογίας δοκιμίου για το δοκίμιο AM6BVA1.1

Σύμβολο	Επεξήγηση
AM	Όνομα τομής
6B	Αριθμός δείγματος
VAή HA	Προσανατολισμός πυρήνα ως προς τη στρώση
1	Αύξον αριθμός πυρήνα
2	Αύξον αριθμός δοκιμίου που αποδόθηκε εκ του πυρήνα

Πίνακας 5. 2. Πίνακας διαστασιολόγησης δοκιμίων

Δείγμα	Πυρήνας	Ύψος (cm)	Διάμετρος(cm)
AM1	AM1VA1	1,7	1,56
AM6B	AM6BVA1	3,63	2,47
	AM6BVA2. 1	3,88	2,41



AM9	AM6BVA2. 2	5,05	2,44
	AM9VA1	2,77	2,54
AM11	AM11VA1	3,24	2,54
AM12	AM12VA1	3,67	2,56
AM18	AM18VA1	3,09	2,54
AM19	AM19VA1. 1	3,09	2,53
	AM19VA1. 2	3,87	2,54
	AM19VA2	5,02	2,52
AM21	AM21VA1	2,07	2,44
	AM22VA1. 1	3,58	2,50
AM22	AM22VA1. 2	4,58	2,50
	AM22VA2. 1	3,94	2,48
	AM22VA2. 2	4,32	2,49
	AM22VA3. 1	3,15	2,51
	AM22VA3. 2	2,91	2,49
	AM22VA3. 3	3,55	2,49
AM23	AM23VA1	3,68	2,51
AM24	AM24VA1	2,24	2,47
	AM24VA2	2,16	2,55
	AM24VA3. 1	3,57	2,54
	AM24VA3. 2	3,94	2,47
	AM24HA1. 1	4,28	2,49
	AM24HA1. 2	2,74	2,48
AM25	AM25VA1	3,15	2,51
AM26	AM26VA1	3,68	2,54
	AM26VA2	1,70	2,54
AM27	AM27VA1. 1	2,42	2,50
	AM27VA1. 2	4,37	2,51
	AM27VA2	2,45	2,53
AM30	AM30VA1	4,57	2,51
AM31	AM31VA1. 1	3,05	2,42
	AM31VA1. 2	4,31	2,51
	AM31HA1	3,69	2,53
AM32	AM32VA1	2,41	2,52
	AM32VA2	4,92	2,54

Στον πίνακα που δίδεται παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων πορώδους και διαπερατότητας. Σημειώνεται ότι τα δείγματα στα οποία δεν υπάρχουν τιμές ούτε στην στήλη του πορώδους, αλλά ούτε και σε αυτήν της διαπερατότητας, δεν απέδωσαν πυρήνα κατά την διαδικασία της πυρηνοληψίας. Όσον αφορά τα δείγματα που έχουν τιμή μόνο στη στήλη του πορώδους, τα δοκίμια κρίθηκαν ακατάλληλα για μέτρηση διαπερατότητας (είτε επειδή το μήκος τους ήταν μικρότερο από 5cm είτε επειδή κρίθηκε ότι θα αστοχούσαν κατά την άσκηση την ακτινωτήςπίεσης).

Πίνακας 5.3. Πίνακας δεδομένων πορώδους και διαπερατότητας δοκιμίων

Όνομα δείγματος	Όνομα πυρήνα	Πορώδες (%)	Διαπερατότητα (md)			
			200 (atm)	100 (atm)	50 (atm)	25 (atm)
AM1	AM1VA1	35,17	-	0,15	0,14	0,18
AM2	-	-	-	-	-	-
AM3	-	-	-	-	-	-
AM4	-	-	-	-	-	-
AM5	-	-	-	-	-	-
AM6A	-	-	-	-	-	-
AM6B	AM6BVA1	14,06	-	-	-	-
	AM6BVA2. 1	21,99	-	-	-	-
	AM6BVA2. 2	23,10	-	-	-	-
AM6Γ	-	-	-	-	-	-
AM7	-	-	-	-	-	-
AM8	-	-	-	-	-	-
AM9	AM9VA1	11,26	-	-	-	-
AM10	-	-	-	-	-	-
AM11	AM11VA1	7,98	-	-	-	-
AM12	AM12VA1	13,38	0,11	0,13	0,12	0,13
AM13	-	-	-	-	-	-
AM14	-	-	-	-	-	-

AM15	-	-	-	-	-	-
AM16	-	-	-	-	-	-
AM17	-	-	-	-	-	-
AM18	AM18VA1	19,82	-	-	-	-
AM19	AM19VA1. 1	19,82	-	-	-	-
	AM19VA1. 2	11,92	0,12	0,14	0,12	0,14
	AM19VA2	9,55	0,15	0,16	0,14	0,17
AM20	-	-	-	-	-	-
AM21	AM21VA1	2,84	-	-	-	-
AM22	AM22VA1. 1	6,89	-	-	-	-
	AM22VA1. 2	5,02	0	0	0	0
	AM22VA2. 1	5,35	-	-	-	-
	AM22VA2. 2	4,26	0	0	0	0
	AM22VA3. 1	11,42	-	-	-	-
	AM22VA3. 2	9,69	-	-	-	-
	AM22VA3. 3	4,46	0,11	0,13	0,11	0,4
AM23	AM23VA1	5,97	0,11	0,13	0,11	0,13
AM24	AM24VA1	18,33	-	-	-	-
	AM24VA2	21,60	-	-	-	-
	AM24VA3. 1	12,12	-	-	-	-
	AM24VA3. 2	9,30	0,13	0,14	0,13	0,14
	AM24HA1. 1	7,37	-	-	-	-
	AM24HA1. 2	1,46	0	0	0	0,14
AM25	AM25VA1	10,36	-	-	-	-
AM26	AM26VA1	9,80	0	0,11	0,01	0,02
	AM26VA2	1,82	-	-	-	-
AM27	AM27VA1. 1	11,52	-	-	-	-
	AM27VA1. 2	8,13	0,13	0,16	0,14	0,14
	AM27VA2	13,20	-	-	-	-
AM28	-	-	-	-	-	-
AM29	-	-	-	-	-	-
AM30	AM30VA1	11,54	0,14	0,16	0,14	0,15
AM31	AM31VA1. 1	6,36	-	-	-	-

	AM31VA1. 2	3,64	0,13	0,15	0,13	0,14
	AM31HA1	1,32	0,10	0,13	0,11	0,12
AM32	AM32VA1	2,16	-	-	-	-
	AM32VA2	9,67	0,15	0,16	0,14	0,16
AM33	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 5.4. Πίνακας παρουσίασης περιγραφής πεδίου, περιγραφής κατά Folk(1974), ονομασίας πυρήνων, μήκους δοκιμίων και κοκκομετρικής ανάλυσης

Όνομα δείγματος	Περιγραφή πεδίου	Περιγραφή κατά Folk	Ονομασία πυρήνων	Μήκος πυρήνων (cm)	Κοκκομετρική ανάλυση
AM1	Ψαμμιτούχα Μάργα	Ελαφριά ψηφιδούχος ιλυούχος άμμος	AM1VA1	1,7	✓
AM2	Πιο ψαμμιτικό σε σχέση με το AM1	Ιλυούχος άμμος	-	-	✓
AM3	Δείγμα από ψαμμιτούχο ορίζοντα με συγκρίματα	Αμμούχος ιλύς	-	-	✓
AM4	Καφέ ψαμμίτης	Ιλυούχος άμμος	-	-	✓
AM5	Άσπρωτος ψαμμίτης με κροκάλες	Αμμούχος ιλύς	-	-	✓
AM6A	Κροκάλες με ψαμμίτη	Ιλυούχος άμμος	-	-	✓
AM6B	Κροκάλες με ψαμμίτη	-	AM6BVA1	3,63	-
			AM6BVA2. 1	3,88	
			AM6BVA2. 2	5,05	
AM6Γ	Κροκάλες με ψαμμίτη	Ιλυούχος άμμος	-	-	✓
AM7	Ψαμμίτης που βρισκόταν ανάμεσα σε κροκαλοπαγή και μάργες	Ιλυούχος άμμος	-	-	✓
AM8	Ψαμμίτης από μετάβαση μάργας σε ψαμμίτη	Ελαφριά ψηφιδούχος ιλυούχος άμμος	-	-	✓
AM9	Ψαμμίτης από μετάβαση ψαμμίτη σε μάργα	-	AM9VA1	2,77	-

AM10	Ψαθυρός ψαμμίτης	Ιλυσούχος άμμος	-	-	✓
AM11	Συμπαγής ψαμμίτης από ψαμμιτικό πάγκο	-	AM11VA1	3,24	-
AM12	Συμπαγής ψαμμίτης από ψαμμιτικό πάγκο	Ιλυσούχος άμμος	AM12VA1	3,67	✓
AM13	Ψαμμίτης	Ιλυσούχος άμμος	-		✓
AM14	Μη συμπαγής ψαμμίτης	Ιλυσούχος άμμος	-		✓
AM15	Άμμος από τα υποκείμενα	Αμμούχος ιλύς	-		✓
AM16	Ψαμμίτης από τα υπερκείμενα	Ιλυσούχος άμμος	-	-	✓
AM17	Ψαμμίτης	Ιλυσούχος άμμος	-	-	✓
AM18	Συμπαγής ασβεστιτικός ψαμμίτης	-	AM18VA1	3,09	-
AM19	Συμπαγής ψαμμίτης σε εναλλαγή με μη συμπαγή	-	AM19VA1. 1 AM19VA1. 2 AM19VA2	3,09 3,87 5,02	-
AM20	Συμπαγής ψαμμίτης με απολιθώματα	-			-
AM21	Συμπαγής ψαμμίτης με απολιθώματα	-	AM21VA1	2,07	-
AM22	Συνεκτικός ψαμμίτης	-	AM22VA1. 1 AM22VA1. 2 AM22VA2. 1 AM22VA2. 2 AM22VA3. 1 AM22VA3. 2 AM22VA3. 3	3,58 4,58 3,94 4,32 3,15 2,91 3,55	-
AM23	Συνεκτικός ψαμμίτης	-	AM23VA1	3,68	-
AM24	Συνεκτικός ψαμμίτης	-	AM24VA1 AM24VA2 AM24VA3. 1	2,24 2,16 3,57	-

			AM24VA3. 2	3,94	
			AM24HA1. 1	4,28	
			AM24HA1. 2	2,74	
AM25	Συμπαγής ψαμμίτης	Ιλυούχος άμμος	AM25VA1	3,15	✓
AM26	Τμήμα ψαμμιτικού ορίζοντα	-	AM26VA1	3,68	-
			AM26VA2	1,70	
AM27	Συμπαγής ψαμμίτης	-	AM27VA1. 1	2,42	-
			AM27VA1. 2	4,37	
			AM27VA2	2,45	
AM28	Ψαμμίτης με μάργα	Ιλυούχος άμμος	-	-	-
AM29	Ενδιάμεσος ψαμμίτης	Ιλυούχος άμμος	-	-	-
AM30	Ψαμμίτης από μεγάλο ψαμμιτικό πάγκο(>2m)	-	AM30VA1	4,57	-
AM31	Συμπαγής ψαμμίτης	-	AM31VA1. 1	3,05	-
			AM31VA1. 2	4,31	
			AM31HA1	3,69	
AM32	Συμπαγείς ψαμμίτες από εναλλαγές ψαμμιτικών πάγκων	-	AM32VA1	2,41	-
			AM32VA2	4,92	
AM33	Ψαμμίτης από εναλλαγές ψαμμιτών με μάργες	Ιλυούχος άμμος	-	-	-



5.2. Αποτελέσματα Ιζηματολογικών Αναλύσεων

Στην παράγραφο αυτήν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ιζηματολογικών αναλύσεων. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά προέκυψαν τα τρίγωνα κατά Folk (1974), οι στατιστικές παράμετροι καθώς και οι καμπύλες των αθροιστικών κατανομών.

Με βάση τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων προέκυψαν οι τιμές των στατιστικών παραμέτρων που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Ακόμα προέκυψαν και τα μεγέθη  $\varphi_1$  και  $\varphi_{50}$  που παρουσιάζονται στον πίνακα 5.8.

Πίνακας 5.5. Αποτελέσματα κοκκομετρικών αναλύσεων δειγμάτων

Δείγμα	Χαλίκι %	Άμμος %	Ιλύς %	Πηλός %	Άργιλος %
AM1	0	36,9	52,6	63,0	10,4
AM2	0	56. 9	38. 9	43. 1	4. 2
AM3	0	37. 8	54. 9	62. 2	7. 4
AM4	0	61. 8	34. 2	38. 2	4. 0
AM5	0	40. 7	43. 7	59. 3	15. 7
AM6A	0	85. 1	13. 1	14. 9	1. 8
AM6C	0	80. 5	17. 4	2. 0	19. 5
AM7	0	79. 1	18. 5	20. 9	2. 5
AM8	1. 1	55. 9	35. 6	42. 9	7. 3
AM10	0	57. 0	38. 4	43. 0	4. 6
AM12	0	65. 9	30. 4	34. 1	3. 6
AM13	0	69. 6	30. 0	30. 4	0. 4
AM14	0	70. 3	27. 4	29. 7	2. 4
AM15	0	47. 2	45. 1	52. 8	7. 7
AM16	0	80. 0	17. 8	20. 0	2. 3
AM17	0	70. 7	26. 1	29. 3	3. 2
AM25B	0	69. 3	27. 8	30. 7	2. 9
AM28	0	55. 1	39. 2	32. 4	5. 7
AM29	0	66. 8	28. 5	33. 2	4. 7
AM33	0	67. 6	28. 7	32. 4	3. 7

Πίνακας 5.6. Πίνακας παρουσίασης στατιστικών παραμέτρων ιζηματολογικών αναλύσεων

Όνομα Δείγματος	μ	σ	S	K
AM1	7,08	2,18	-0,19	0,94
AM2	3,82	1,67	0,14	1,91
AM3	4,60	1,82	0,33	1,53
AM4	3,59	1,84	0,19	1,35
AM5	4,43	2,82	0,23	0,80
AM6A	2,57	1,41	0,22	1,11
AM6Γ	2,34	1,32	0,37	1,08
AM7	2,73	1,49	0,30	1,24
AM8	4,19	2,15	0,38	1,13
AM10	3,62	1,68	0,17	1,55
AM12	2,21	1,48	0,80	0,96
AM13	3,52	0,80	-0,31	1,13
AM14	3,70	1,03	0,31	1,93
AM15	3,57	2,19	0,16	0,94
AM16	2,75	1,53	0,30	1,40
AM17	3,75	1,36	0,45	1,84
AM25B	2,17	1,42	0,79	0,98
AM28	3,45	1,50	0,35	1,42
AM29	3,71	1,75	0,29	1,64
AM33	3,24	1,57	0,23	1,38

Πίνακας 5.7. Πίνακας παρουσίασης παραμέτρων  $\Phi_1$  και  $\Phi_{50}$

Όνομα δείγματος	$\Phi_1$	$\Phi_{50}$
AM1	1,569776	4,339054
AM2	1,098181	3,812365
AM3	2,205157	4,275217
AM4	1,154086	3,596853
AM5	1,378917	4,306811
AM6A	1,111755	2,554631
AM6Γ	1,13038	2,554631
AM7	1,431497	2,818026
AM8	1,962976	3,678896
AM10	2,483242	3,788807
AM12	2,013833	3,470888
AM13	2,388325	3,651342
AM14	2,934569	3,617979
AM15	2,527119	4,07848
AM16	1,743073	2,781946

AM17	2,755873	3,450607
AM25B	2,357526	3,318225
AM28	2,36	3,246605
AM29	2,466106	3,449453
AM33	2,440007	3,246605

Πίνακας5.8.Χαρακτηρισμόςκοκκομετρικώνπαραμέτρων

Δείγμα	Ταξιθέτηση	Ασυμμετρία	Κύρτωση
AM1	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	αρνητική ασυμμετρία	μεσόκυρτη
AM2	φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	πολύ λεπτόκυρτη
AM3	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	πολύ λεπτόκυρτη
AM4	φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
AM5	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	πλατύκυρτη
AM6A	φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	μεσόκυρτη
AM6C	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	μεσόκυρτη
AM7	φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
AM8	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
AM10	φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	πολύ λεπτόκυρτη
AM12	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	μεσόκυρτη
AM14	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ αρνητική ασυμμετρία	πολύ λεπτόκυρτη
AM15	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	μεσόκυρτη
AM16	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
AM17	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	πολύ λεπτόκυρτη
AM25B	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	μεσόκυρτη
AM28	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
AM29	φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	πολύ λεπτόκυρτη
AM33	φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη

- ✓ σί: <0,35φ πολύ καλή ταξιθέτηση, 0,35φ-0,50φ καλή ταξιθέτηση, 0,50φ-0,71φ μέτρια καλή ταξιθέτηση, 0,71φ-1,00φ μέτρια ταξιθέτηση, 1,00φ-2,0 0φ φτωχή ταξιθέτηση, 2,00φ-4,00φ πάρα πολύ φτωχή ταξιθέτηση, >4,00φ άκρως φτωχή ταξιθέτηση.
- ✓ Ski: (+) 1,00-(+) 0,30 πολύ θετική ασυμμετρία, (+) 0,30-(+) 0,10 θετική ασυμμετρία - (+) 0,10-(-) 0,10 σχεδόν κανονική ασυμμετρία, (-) 0,10-(-) 0,30 αρνητική ασυμμετρία - (-) 0,30-(-) 1,00 πολύ αρνητική ασυμμετρία.
- ✓ KG: <0,67 πολύ πλατύκυρτη, 0,67 -0,90 πλατύκυρτη, 0,90-1,11 μεσόκυρτη, 1,11-1,50 λεπτόκυρτη, 1,50-3,00 πολύ λεπτόκυρτη, >3,00 πάρα πολύ λεπτόκυρτη.
- ✓ Md: διάμεσος, Mz: αριθμητικός μέσος, σί:σταθερή απόκλιση, Ski: ασυμμετρία, KG:κύρτωση.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα: ο βαθμός ταξιθέτησης δείχνει ότι το 75% των δειγμάτων έχουν φτωχή ταξιθέτηση(1,00φ-2,0 0φ), ενώ το 20% των δειγμάτων χαρακτηρίζεται από πολύ φτωχή ταξιθέτηση.

Το 45% των δειγμάτων παρουσιάζουν πολύ θετική συμμετρία((+) 1,00-(+) 0,30), το 45% των δειγμάτων θετική συμμετρία((+) 0,30-(+) 0,10) ενώ μόλις 5% των δειγμάτων παρουσιάζουν αρνητική((-) 0,10-(-) 0,30) και πολύ αρνητική συμμετρία((-) 0,30-(-) 1,00).Επομένως η συμμετρία των δειγμάτων χαρακτηρίζεται συνολικά θετική.

Όσον αφορά την κύρτωση το 35% των δειγμάτων αποδίδουν καμπύλες που ανήκουν στις λεπτόκυρτες(1,11-1,50), το 30% στις πολύ λεπτόκυρτες(1,50-3,00), 30% στις μεσόκυρτες(0,90-1,11) και μόλις το 5% στις πλατύκυρτες(0,67 -0,90).

Με βάση τα ποσοστά των κλασμάτων που αποδόθηκαν από τις ιζηματολογικές αναλύσεις, τα αναλυθέντα δείγματα προβλήθηκαν σε τριγωνικά διαγράμματα λιθολογικής ονοματολογίας κατά Folk, 1974.

Η ταξινόμηση σε λιθολογικούς τύπους, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων, γίνεται με τη χρήση τριγωνικών διαγραμμάτων Ταξινόμησης και Ονοματολογίας, σύμφωνα με την ποσοστιαία συμμετοχή του εκάστοτε κλάσματος.

Τα διαγράμματα αυτά διακρίνονται σε διαγράμματα για:

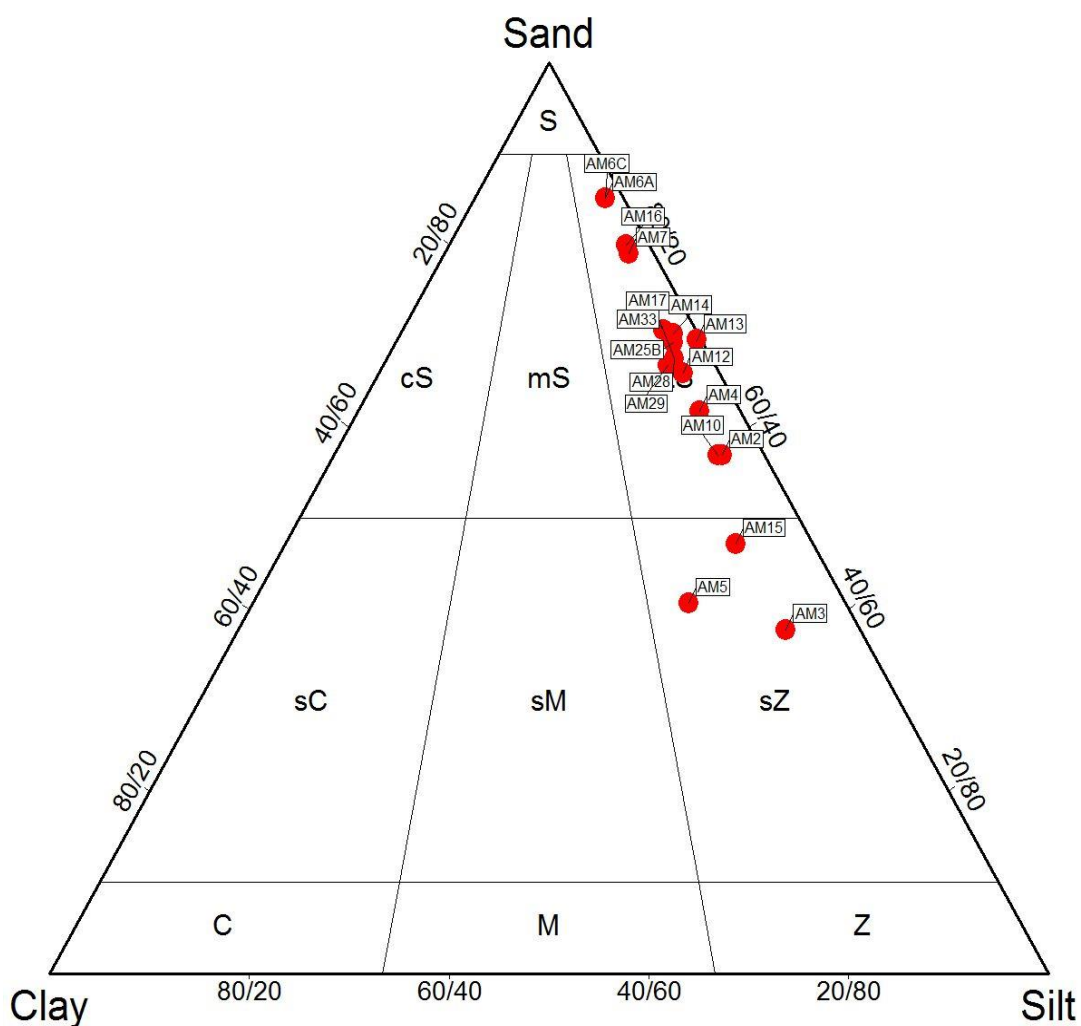
- Λεπτόκοκκα ιζήματα(d<2mm) (άμμος-άργιλος-ιλύς)
- Χονδρόκοκκα ιζήματα(d>2mm) (ψηφίδες-πηλός-άμμος)

Πίνακας 5.9. Πίνακας παρουσίασης περιγραφής πεδίου και περιγραφής κατά Folk(1974)

Δείγμα	Περιγραφή Πεδίου	Περιγραφή κατάFolk(1974)
AM1	Ψαμμιτούχα μάργα	Ελαφριά ψηφιδούχος ιλυούχος άμμος
AM2	Πιο ψαμμιτικό σε σχέση με το AM1	Ιλυούχος άμμος
AM3	Δείγμα από ψαμμιτούχο ορίζοντα με συγκρίματα	Αμμούχος ιλύς
AM4	Καφέ ψαμμίτης	Ιλυούχος άμμος
AM5	Άστρωτος ψαμμίτης με κροκάλες	Αμμούχος ιλύς
AM6A	Κροκάλες με ψαμμίτη	Ιλυούχος άμμος
AM6B	Κροκάλες με ψαμμίτη	-
AM6Γ	Κροκάλες με ψαμμίτη	Ιλυούχος άμμος
AM7	Ψαμμίτης που βρισκόταν ανάμεσα σε κροκαλοπαγή και μάργες	Ιλυούχος άμμος
AM8	Ψαμμίτης από μετάβαση μάργας σε ψαμμίτη	Ελαφριά ψηφιδούχος ιλυούχος άμμος
AM9	Ψαμμίτης από μετάβαση ψαμμίτη σε μάργα	-
AM10	Ψαθυρός ψαμμίτης	Ιλυούχος άμμος

AM11	Συμπαγής ψαμμίτης από ψαμμιτικό πάγκο	
AM12	Συμπαγής ψαμμίτης από ψαμμιτικό πάγκο	Ιλλούχος άμμος
AM13	Ψαμμίτης	Ιλλούχος άμμος
AM14	Μη συμπαγής ψαμμίτης	Ιλλούχος άμμος
AM15	Άμμος από τα υποκείμενα	Αμμούχος ιλύς
AM16	Ψαμμίτης από τα υπερκείμενα	Ιλλούχος άμμος
AM17	Ψαμμίτης	Ιλλούχος άμμος
AM18	Συμπαγής ασβεστιτικός ψαμμίτης	-
AM19	Συμπαγής ψαμμίτης σε εναλλαγή με μη συμπαγή	-
AM20	Συμπαγής ψαμμίτης με απολιθώματα	-
AM21	Συμπαγής ψαμμίτης με απολιθώματα	-
AM22	Συνεκτικός ψαμμίτης	-
AM23	Συνεκτικός ψαμμίτης	-
AM24	Συνεκτικός ψαμμίτης	-
AM25	Συμπαγής ψαμμίτης	Ιλλούχος άμμος
AM26	Τμήμα ψαμμιτικού ορίζοντα	-
AM27	Συμπαγής ψαμμίτης	-
AM28	Ψαμμίτης με μάργα	Ιλλούχος άμμος
AM29	Ενδιάμεσος ψαμμίτης	Ιλλούχος άμμος
AM30	Ψαμμίτης από μεγάλο ψαμμιτικό πάγκο(>2m)	-
AM31	Συμπαγής ψαμμίτης	-
AM32	Συμπαγείς ψαμμίτες από εναλλαγές ψαμμιτικών πάγκων	-
AM33	Ψαμμίτης από εναλλαγές ψαμμιτών με μάργες	Ιλλούχος άμμος

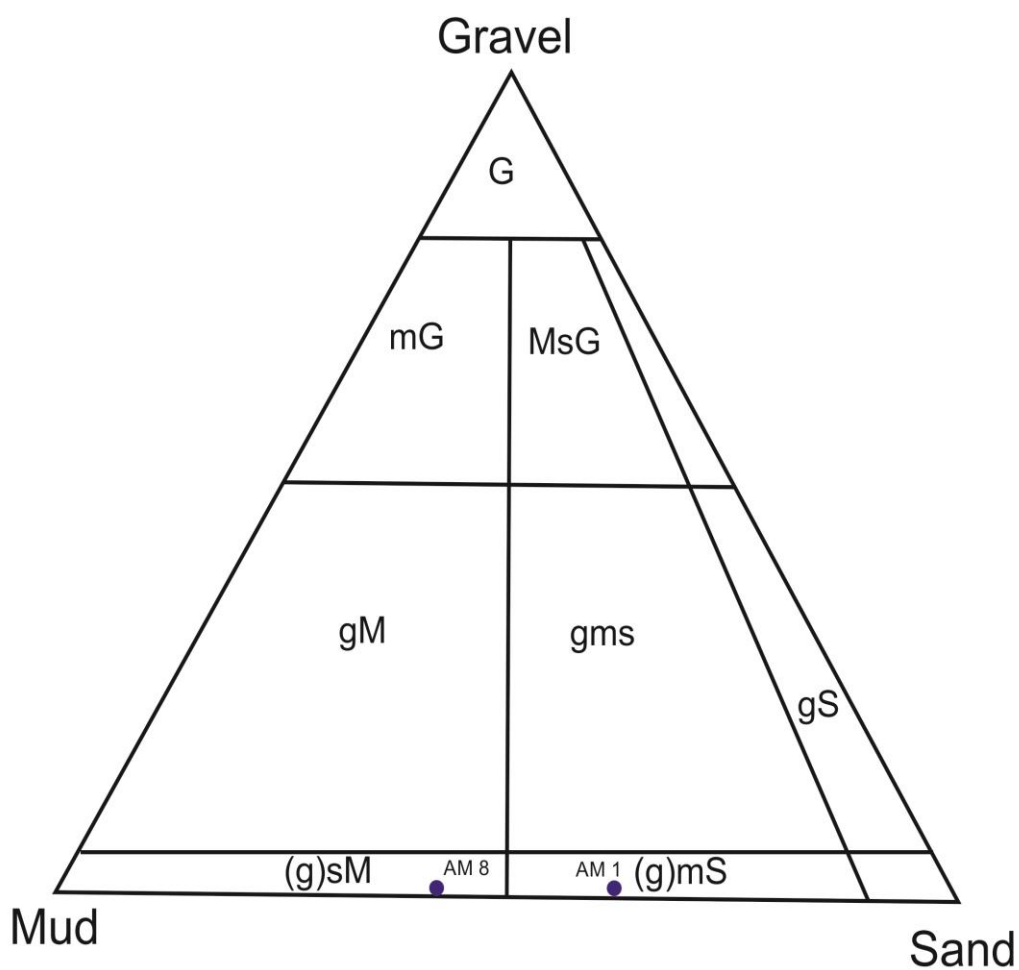
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η προβολή των λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων δειγμάτων σε τριγωνικό διάγραμμα Folk.



Εικόνα 5.1. Τριγωνικό διάγραμμα λεπτόκοκκων ιζημάτων κατά Folk(1974)

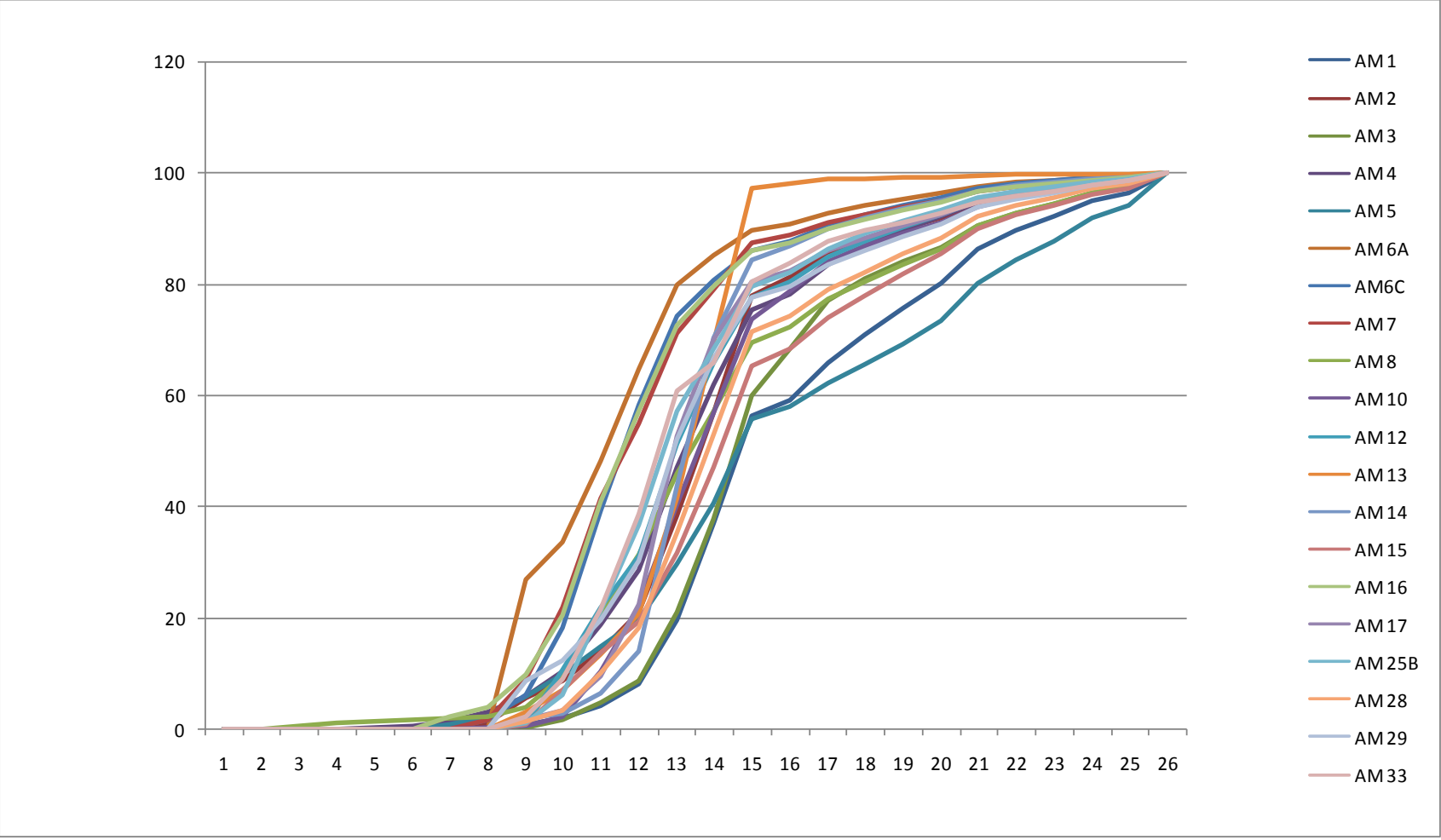
S άμμος, zS ιλυούχος άμμος, mS πηλούχος άμμος, cS αργιλούχος άμμος, sZ αμμούχος ιλύς, sM αμμούχος πηλός, sC αμμούχος άργιλος, Z ιλύς, M πηλός, C άργιλος.





Εικόνα 5.2. Τριγωνικό διάγραμμα μεσόκοκκων ιζημάτων

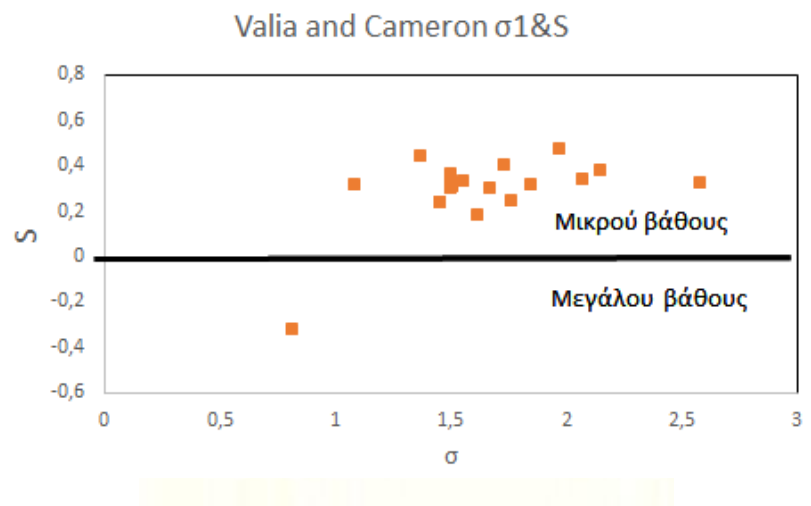
G ψηφίδες, **sG** αμμούχες ψηφίδες, **msG** ιλυσούχες αμμούχες ψηφίδες, **mG** ιλυσούχες ψηφίδες, **gS** ψηφιδούχος άμμος, **gms** ψηφιδούχος ιλυσούχος άμμος, **gM** ψηφιδούχος ιλύς, **(g) S** ελαφριά ψηφιδούχος άμμος, **(g) mS** ελαφριά ψηφιδούχος ιλυσούχος άμμος, **(g) sM** ελαφριά ψηφιδούχος ιλύς, mS ιλυσούχος άμμος, **sM** αμμούχος ιλύς, **S** άμμος, **M** ιλύς.



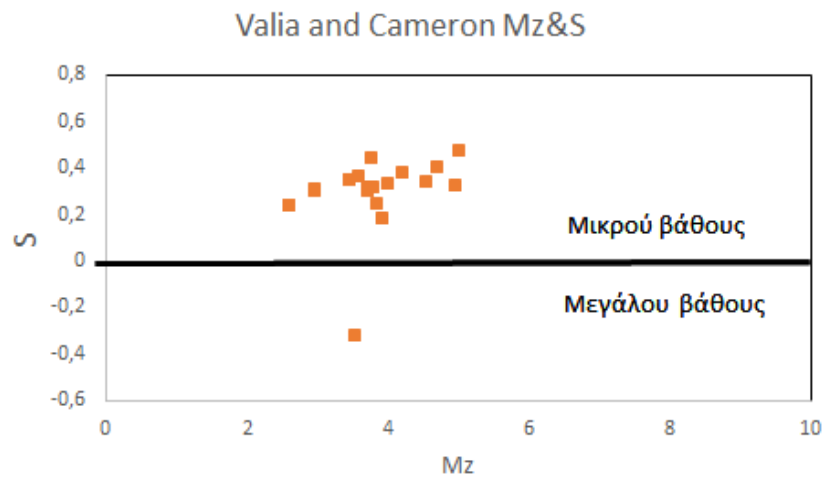
Εικόνα 5.3. Συνολικό διάγραμμα αθροιστικών κατανομών δειγμάτων AM

5.3. Διαγράμματα Προσδιορισμού Αποθετικού Περιβάλλοντος

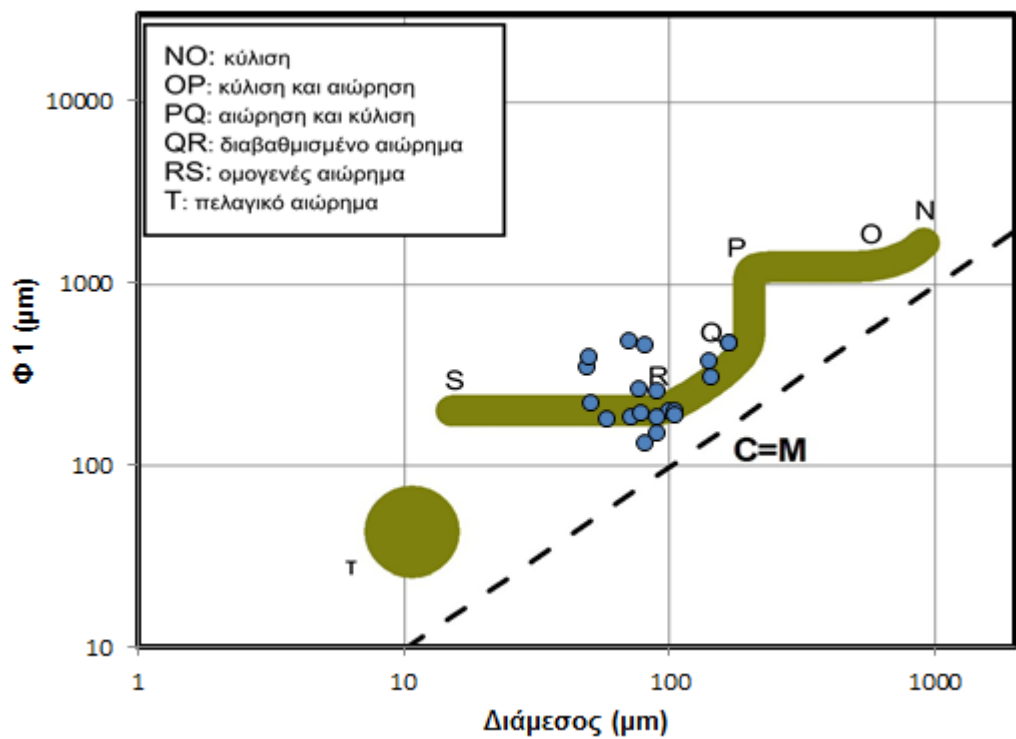
Με χρήση των αποτελεσμάτων που βρίσκονται στους παραπάνω δύο πίνακες 5.7 και 5.8., δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα MoilaandVisher(1968), Passega(1957) και ValiaandCameron(1979). Η δημιουργία αυτών των διαγραμμάτων είχε σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για το αποθετικό περιβάλλον των αρχικών ιζημάτων των πετρωμάτων του Νεογενούς στην περιοχή του Αρκαλοχωρίου. Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται τα διαγράμματα. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στα επόμενα διαγράμματα είναι τα ακόλουθα: MoilaandVisher (1968), Passega (1957) και ValiaandCameron (1979).



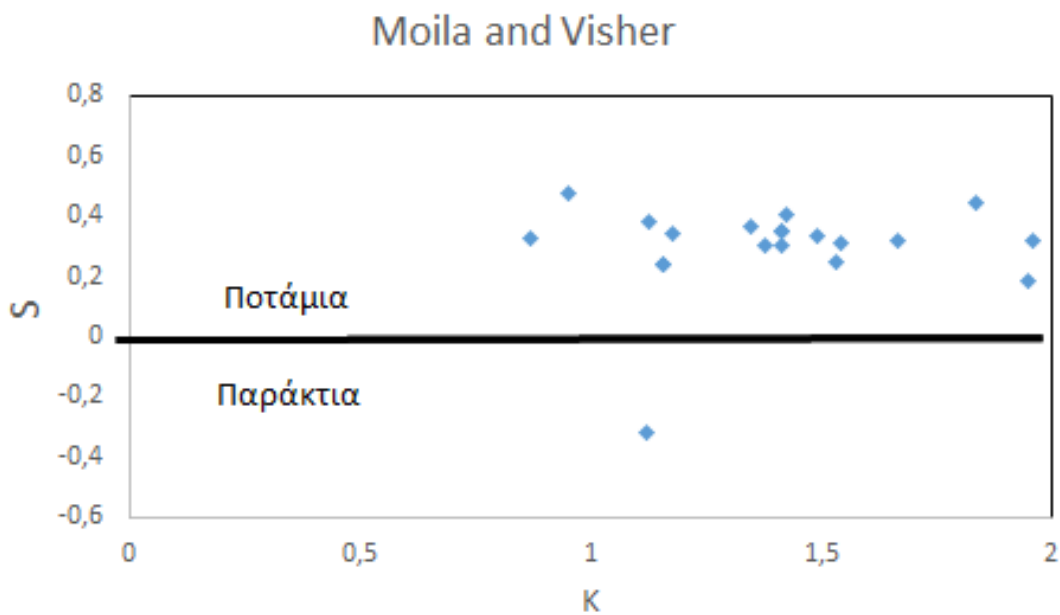
Εικόνα 5.4. Διάγραμμα ValiaandCameron(1979) με χρήση παραμέτρου S και  $\sigma_1$



Εικόνα 5.5. Διάγραμμα ValiaandCameron(1979) με χρήση των παραμέτρων S και  $\mu$



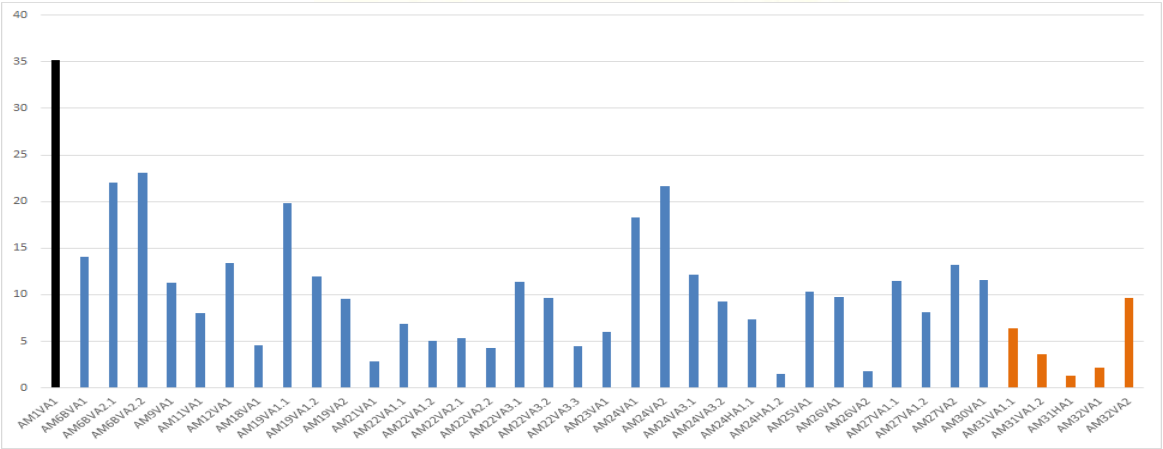
Εικόνα 5.6. Διάγραμμα Passee(1957)



Εικόνα 5.7. Διάγραμμα MoilaandVisser(1968)

## 6. Συζήτηση και Συμπεράσματα

Σε μία εκτεταμένη περιοχή στην κεντρική Κρήτη, εντός της λεκάνης της Μεσσαράς, έχουν παρατηρηθεί κατά το παρελθόν διαφυγές αερίου από υδρογεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Γεωτρητικά δεδομένα υπέδειξαν ότι το μεθάνιο βρίσκεται πέραν των ιλυολίθων εντός ψαμμιτικών στρωμάτων που φιλοξενούν νερό υψηλής αλατότητας. Ψαμμίτες έχουν δημιουργηθεί στην ευρύτερη αποθετική λεκάνη της Μεσσαράς διαχρονικά από το Μέσο Μειόκαινο έως το Πλειόκαινο σε διαφορετικά αποθετικά περιβάλλοντα. Συνεπώς, τα κύρια πετροφυσικά τους χαρακτηριστικά το πορώδες και η διαπερατότητα εξαρτώνται άμεσα από τις αρχικές αυτές ιζηματολογικές συνθήκες και την συνεπακόλουθη διεργασία της διαγένεσης. Οι πρώιμες διαγενετικές αντιδράσεις στον πυθμένα της θάλασσας κατά τη διάρκεια της απόθεσης με την συνεισφορά μετεωρικής προέλευσης υδάτων μπορεί να επηρεάσει έντονα τις διαγενετικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε μεγαλύτερα βάθη ταφής των ιζημάτων. Στα κλαστικά ιζήματα η πρόωρη διαλυτοποίηση αστρίων οδηγεί σε νεομορφισμό αργιλικών ορυκτών, ενώ σε ανθρακικής σύστασης κλαστικά πετρώματα το ανθρακικής σύστασης τσιμέντο παίζει καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη του πορώδους και της διαπερατότητας (Parker & Sellwood 1994). Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρατηρείται η ομοιομορφία των ψαμμιτικών πετρωμάτων στην λιθολογική περιγραφή κατά Folk (1974) για τα δείγματα που ήταν δυνατή η επεξεργασία τους.



Εικόνα 6.1 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμών πορώδους για τα υπό μελέτη δείγματα της περιοχής Αρκαλοχωρίου

Σε ότι αφορά τις τιμές του πορώδους από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι ο μέσος όρος των τιμών του πορώδους για τα δείγματα που επετεύχθη η πυρηνοληψία και μέτρησή τους είναι 10.22%, ενώ η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του πορώδους κυμαίνονται από 1,32% έως 35,17%.

Η επόμενη εργαστηριακή διαδικασία που πραγματοποιήθηκε ήταν ο προσδιορισμός της διαπερατότητας με τη μέθοδο Hassler. Τόσο οι αυστηρές προδιαγραφές που έπρεπε να πληρούν τα δοκίμια ώστε να μπορούν να επεξεργαστούν, όσο και η φύση των δειγμάτων οδήγησαν σε εξαγωγή συμπερασμάτων υπό επιφύλαξη. Οι τιμές διαπερατότητας που

προέκυψαν σε μετρήσεις 16 συνολικά πυρήνων κυμαίνονται από 0,02 – 0,4 md, με μέσο όρο 0,04 md. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι είτε το ποσοστό της ιλύος που συμμετέχει στα δείγματα που επεξεργάστηκαν και χαρακτηρίστηκαν κατά Folk (1974) ως ιλυούχοι άμμοι, είτε η λιθολογία του (κυρίως ανθρακικής σύστασης τσιμέντο) έχουν οδηγήσει σε μεγάλη μείωση της διαπερατότητας. Οι τιμές διαπερατότητας που προέκυψαν δεν διαφέρουν από τις τιμές διαπερατότητας που αναμένονται στα πετρώματα αυτής τις κοκκομετρίας (

Από τα αποτελέσματα των ιζηματολογικών αναλύσεων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα: ο βαθμός ταξιθέτησης δείχνει ότι το 75% των δειγμάτων έχουν φτωχή ταξιθέτηση(1,00φ-2,00φ), ενώ το 20% των δειγμάτων χαρακτηρίζεται από πολύ φτωχή ταξιθέτηση.

Το 45% των δειγμάτων παρουσιάζουν πολύ θετική συμμετρία((+) 1,00-(+) 0,30), το 45% των δειγμάτων θετική συμμετρία((+) 0,30-(+) 0,10) ενώ μόλις 5% των δειγμάτων παρουσιάζουν αρνητική((-) 0,10-(-) 0,30) και πολύ αρνητική συμμετρία((-) 0,30-(-) 1,00).Επομένως η συμμετρία των δειγμάτων χαρακτηρίζεται συνολικά θετική.

Όσον αφορά την κύρτωση το 35% των δειγμάτων αποδίδουν καμπύλες που ανήκουν στις λεπτόκυρτες(1,11-1,50), το 30% στις πολύ λεπτόκυρτες(1,50-3,00), 30% στις μεσόκυρτες(0,90-1,11) και μόλις το 5% στις πλατύκυρτες(0,67 -0,90).

Τέλος στο λιθολογικό χαρακτηρισμό κατά Folk(1974)στα δείγματα παρατηρείται ομοιομορφία: 75% ιλυούχος άμμος, 10% ελαφρά ψηφιδούχος ιλυούχος άμμος και 15% ως άμμος.

#### Αποθετικό περιβάλλον

Από τα διαγράμματα που παρατίθενται παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα αρχικά ιζήματα των πετρωμάτων του Νεογενούς που δομούν την περιοχή του Αρκαλοχωρίου χαρακτηρίζονται ως εναλλαγές ποτάμιων και θαλάσσιων αποθέσεων μικρού βάθους. Όσον αφορά στο μηχανισμό μεταφοράς πρόκειται για ομογενές αιώρημα και διαβαθμισμένο αιώρημα.

## Βιβλιογραφία

### Διεθνής

- ✓ **Amaral, E.J., Pryor, W.A., (1977):** Depositional environment of the St. Peter sandstone deduced by textural analysis. Jour. Sed. Petr., V47, No1, 32-52.



- ✓ **Baechle G.T. (2009):** Effects of pore structure on velocity and permeability in carbonate rocks. Dissertation der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Eberhard Karls Universität Tübingen zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften, 125 p. Tübingen.
- ✓ **Barnavas, S.P., (1979):** Geochemistry of sediments from the eastern Pacific. Ph.D. Thesis University London pp. 431.
- ✓ **Bonneau M. (1984):** Correlation of the Hellenic Nappes in the south east Aegean and their tectonic reconstruction, Geological Society, London, Special Publications, 17, p 517-527.
- ✓ **Cosentino D., Gliozzi E., Pipponzi G. (2007):** The late Messinian Lago-Mare episode in the Mediterranean Basin: Preliminary report on the occurrence of Paratethyan ostracod fauna from central Crete (Greece), *Geobios* 40, 339–349.
- ✓ **Dornsiepen U.F., Manutsoglu E., Mertmann D. (2001):** Permian – Triassic palaeogeography of the external Hellenides. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 172, p 327-338.
- ✓ **Dornsiepen, U.F. & Manutsoglu, E. (1994):** Zur Gliederung der Phyllit Decke Kretas und des Peloponnes. *Z. dt. geol. Ges.*, 145, 286-303.
- ✓ **Folk R. L., (1974):** Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Co, Austin, Texas, 170p.
- ✓ **Folk, R.L., and Ward, W.S., (1957):** Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Petr.*, 27, No1, 3-26.
- ✓ **Friedman, G.M., (1979):** Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins. Addendum to IAS Presidential Address. *Sedimentology*, 26, 859-862.
- ✓ **Gaudette, H.E., Flight, W.R., Toner, L., and Folger, D.W., (1974):** An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Jour. Sed. Petr.*, 44, 249-253.
- ✓ **Honarpour, M.M., F. Koederitz, and A. Herbert. (1986):** *Relative Permeability of Petroleum Reservoirs*. United States: CRC Press Inc, Boca Raton, FL.
- ✓ **Ibach, L.E.J., (1982):** Relationship between sedimentation rate and total organic carbon content in ancient marine sediments. *Ammer. Ass. Petr. Geol. Bul.*, 66, No2, 170-188, 12 figs, 4 tabl.
- ✓ **Krijgsman, W. (1996):** Miocene magnetostratigraphy and cyclostratigraphy in the Mediterranean: extension of the astronomical polarity time scale, 207 pp, University of Utrecht.
- ✓ **Krijgsman, W., Hilgen, F.J. Langereis, C.G. and Zachariasse, W.J. (1994):** The age of the Tortonian/Messinian boundary, *Earth and Planetary Science Letters*,
- ✓ **Kukal, Z., (1971):** Geology of recent sediments. Academic Press London and New York, 490 pp.

- ✓ **Manickam, S., Barbaroux, L., and Ottman, F., (1985):** Composition and mineralogy of suspend sediment in the fluvio-estuarine zone of the Loize River, France, *Sedimentology* 32,721-741.
- ✓ **Meulenkamp J.E. (1979):** Field Guide to the Neogene of Crete. Publ. Dep. Geol. Pal. Univ. Athens, p 1-32.
- ✓ **Meulenkamp J.E., van der Zwaan G.J. and van Wamel W.A. (1994):** On the Late Miocene to Recent vertical motions in the Cretan segment of the Hellenic Arc. *Tectonophysics*, p. 53-72
- ✓ **Meulenkamp, J. E., (Ed.) (1979):***Field guide to the Neogene of Crete*, 32 pp., Univ.Athens.
- ✓ **Moila, R.J., and Visher, D., (1968):** Textural parameters: an evaluation, *Jour. Sed. Petr.*, V260, p45-63.
- ✓ **Moore & Wade (2013):** Carbonate Reservoirs, Porosity and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework, Elsevier, 2<sup>nd</sup> edition, pp 392.
- ✓ **Panagopoulos G., Pyliotis I., Zelilidis A., Spyridonos E., Hamdam H., Vafidis A. and Manoutsoglou E. (2011):** 3D modeling of biogenic gas-bearing Neogene deposits at Arkalochori region, Messara, Crete, Greece, IAMG 2011, September 5-9, University of Salzburg, Austria p. 1-10.
- ✓ **Papanikolaou D. and Vassilakis E. (2008):** IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science2,doi:10.1088/1755-1307/2/1/012003  
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/17551307/2/1/012003/pdf;jsessionid=C4F22CF3F4D35A3276020F96EA759A86.c1>
- ✓ **Parker, A., and Sellwood, B.W (1994):** Quantitative Diagenesis: Recent Developments and Applications to Reservoir Geology.
- ✓ **Passega, R., Byramjee, R., (1969):** Grain-size image of Clastic deposits. *Sedimentology*, 13, 233-253.
- ✓ **Saadallah, A., Kukal, Z., (1969):** Grain size and carbonate content in costal sediment of Iraq. *Jour. Iraq G. Soc.*, 2, 3-10.
- ✓ **Seidel E., H. Kreuzer & W. Harre (1982):** A late Oligocene/early Miocene high pressure belt in the external Hellenides, *Geol. Jb.*, E23, 165-206.
- ✓ **Sissingh, W. (1972):** Late Cenozoic Ostracoda of the South Aegean island arc, *Utrecht Micropal. Bull.*, 6, 187.
- ✓ **Stewart, H.B., J.R., (1958):** Sedimentary reflections of depositional environments in San Miguel Lagoon, Baja California, Mexico: *Am. Assoc. Petr. Geol. Bull.*, V42, p 2567-2618.
- ✓ **ten Veen, J. H., & G. Postma (1999):** Neogene tectonics and basin fill patterns in the Hellenic outer-arc (Crete, Greece). *Basin Research*, 11, 223-241.
- ✓ **ten Veen, J. H., & P. T. Meijer(1998):** Late Miocene to recent tectonic evolution of Crete (Greece): geological observations and model analysis, *Tectonophysics*, 298, 191-208.

- ✓ **Trask, P.D., (1939):** Organic content of recent marine sediments. Recent marine sediments, 428-453.
- ✓ **Valia, H.S., and Cameron, B.,(1977):** Skewness as an Paleoenvironmental indicator. Jour. Sed. Petr., 47, No2, 784-793.
- ✓ **van Hinsbergen, D. and Meulenkamp, J.E. (2006):** Neogene supradetachment basin development on Crete (Greece) during exhumation of the South Aegean core complex. BasinResearch, 18, 103-124.
- ✓ **Willmann, R.(1982):** Biostratigraphisch wichtige Susswassergastropoden (Prosobranchia, Hydrobiidae) aus dem Neogen des Agaiscs-Raumes, *N. Jb.Geol. Palaont. Abh.*, 162, 304-331.
- ✓ **Zachariasse W.J., van Hinsbergen D.J.J., Fortuin A.R. (2008):** Mass wasting and uplift on Crete and Karpathos during the early Pliocene related to initiation of south Aegean left-lateral, strike-slip tectonics. GSA Bulletin; v. 120; no. 7/8; p. 976–993.
- ✓ **Zachariasse, W. J.(1975):** Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Late Neogene of Crete (Greece), *Utrecht Micropal. Bull.*, 143.

## Ελληνική

- **Αγιουτάντης Ζ. (2002) :** Σημειώσεις μαθήματος Στοιχείων Γεωμηχανικής – Μηχανικής Πετρωμάτων, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά
- **Αγριμάκη Α. (2016):** Μελέτη γεωλογικών παραμέτρων και διερεύνηση της θερμοκρασίας του υπόγειου υδροφορέα στην νοτιοδυτική Μεσσαρά, Κρήτη. Διπλωματική εργασία Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, 99 σελ, Χανιά. <http://dias.library.tuc.gr/view/65053>
- **Αμβράζης Μ. (2015):** Μελέτη γεωθερμικών υδάτων στην περιοχή νοτιοδυτικής Μεσσαράς, Κρήτη. Διπλωματική εργασία Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, σελ. 125, Χανιά. <http://dias.library.tuc.gr/view/45632?show=full>
- **Βαρότσης Ν. (2014):** Σημειώσεις μαθήματος Εκμετάλλευσης Ταμιευτήρων της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- **Βασιλάκης Ε.Μ. (2006):** Μελέτη της τεκτονικής δομής της λεκάνης Μεσσαράς, κεντρικής Κρήτης με τη βοήθεια τεχνικών τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών, Α δημοσίευτη διδακτορική διατριβή Τμήματος Γεωλογίας

και Γεωπεριβάλλοντος (ΕΚΠΑ) σελ. 564, Αθήνα. <http://PhDtheses.ekt.gr/eadd/handle/10442/21417>

- **Βασιλάκης, Ε.Μ.,** (2006), Μελέτη της τεκτονικής δομής της λεκάνης Μεσσαράς, κεντρικής Κρήτης με τη βοήθεια τεχνικών τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών, Διδακτορική Διατριβή, 13-32.
- **Βαφειδής Α. (2011):** Σημειώσεις μαθήματος Αξιολόγησης σχηματισμών με γεωφυσικές μεθόδους, του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, 130 σελ, Χανιά.
- **Βουδούρης Κ. (2009):** Σημειώσεις μαθήματος Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη
- **Γαμβρούδης Χ. (2010):** Διερεύνηση διαπερατότητας συμπυκνωμένων λεπτόκοκκων γεωυλικών, Μεταπτυχιακή εργασία, Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, 307 σελ, Χανιά
- **Ζεληλίδης, Α.Μ.,(1998):** Μεταμειοκαινική εξέλιξη της ΝΔ Πελοποννήσου, Διδακτορική Διατριβή, σελ. 12-48.
- **Θεοχάρης Μ. (2014):** Σημειώσεις μαθήματος Στραγγίσεων, σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Ηπείρου, 115 σελ, Άρτα
- **ΙΓΜΕ(1983):** Γεωλογικός χάρτης φύλλο Τυμπάκιον σε κλίμακα 1:50.000, Αθήνα
- **Κατή Μ. (1999):** Απόθεση - Διαγένεση - Εξέλιξη πορώδους των Ηωκαινικών σχηματισμών της Προαπούλιας ζώνης στη Νήσο Ζάκυνθο, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό πανεπιστήμιο Αθηνών, 305 σελ, Αθήνα
- **Κατσιώτης Μ. (2009):** Μελέτη του πορώδους νανοκρυσταλλικών υλικών και της ενυδάτωσης φωτοκαταλυτικών κονιαμάτων που περιέχουν Τιτανία με Φασματοσκοπία Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού και Μικροσκοπία Ατομικών Δυνάμεων, Διδακτορική Διατριβή Σχολής Χημικών Μηχανικών Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 353 σελ, Αθήνα <http://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/18298>
- **Κοκκάλας Σ. (2000):** Γεωδυναμική εξέλιξη του ΝΑ τμήματος του Ελληνικού Τόξου. Δημοσίευτη διδακτορική διατριβή Γεωλογικού Τμήματος Παν/μιου Πατρών, σελ. 181, Πάτρα.
- **Κοντόπουλος Ν. (2007):** Σημειώσεις Ιζηματολογίας της σχολής Θετικών επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών
- **Κοντόπουλος, Ν.,(1978),** Περιβάλλοντα αποθέσεως των ιζημάτων του Πηδάσου (ΝΔ Πελοπόννησος). Διδακτορική Διατριβή, Πάτρα, 90 σελίδες.

- **Κρινής Π. (2009):** Εφαρμογή μοντέλων βροχόπτωσης – απορροής σε λεκάνες του ελληνικού χώρου. (Λεκάνη Μεσσαράς του νομού Ηρακλείου, νότια Κρήτη), Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
- **Κριτσωτάκης Μ. (2009):** Διαχείριση Υδατικών Πόρων Μεσσαράς Κρήτης. Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Διατμητικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Έλεγχος Ποιότητας & Διαχείριση Περιβάλλοντος», 736 σελ., Χανιά <http://dias.library.tuc.gr/view/13903>
- **Κυρκιμτζή Ισμήνη–Χαρά (2013):** Καθορισμός γεωλογικών παραμέτρων εμφάνισης γεωθερμικών ρευστών, εντός σχηματισμών της Λεκάνης Μεσσαράς. Διατριβή ειδίκευσης, μεταπτυχιακό πρόγραμμα Γεωτεχνολογία και Περιβάλλον, Τμήμα Μηχ. Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, 172 σελ., Χανιά <http://dias.library.tuc.gr/view/13833>
- **Κωνσταντόπουλος Π. (2009):** Περιβάλλοντα ιζηματογένεσης και στρωματογραφική διάρθρωση του φλύσχη της Πελοποννήσου - πιθανή γένεση υδρογονανθράκων, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 456 σελ, Πάτρα
- **Μανούτσου Ε. (2008):** Αδημοσίευτες Σημειώσεις Σεμιναρίου Γεωλογίας της Κρήτης, της Ερευνητικής Μονάδας Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, 55 σελ.
- **Μιχάλας Μ. (2013):** Διερεύνηση υδραυλικής αγωγιμότητας εδαφών με χρήση εύκαμπτου και άκαμπτου τύπου περατομέτρων, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείο Κρήτης, 78 σελ, Χανιά. <http://dias.library.tuc.gr/view/13075>
- **Μορέλας Β. (2014):** Τρισδιάστατη Γεωλογική Προσομοίωση του Πλειο-Τεταρτογενούς της πεδιάδας της Μεσσαράς, Διπλωματική εργασία Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, 197 σελ, Χανιά <http://dias.library.tuc.gr/view/13260>
- **Μουρτζάκης Ι. (2011):** Ιζηματολογική ανάλυση και παλαιογεωγραφική εξέλιξη του σχηματισμού του Αμπελούζου στην λεκάνη της Μεσσαράς Κρήτης, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ 49, Πάτρα.
- **Μοφόρης Α. (2013):** Συνθήκες ιζηματογένεσης και παλαιογεωγραφική εξέλιξη των ιζημάτων της τομής Μακρυλιά στη λεκάνη της Ιεράπετρας στην Κρήτη, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ 81, Πάτρα.
- **Μπακόπουλος Ι. (2006):** Λιθοστρωματογραφική Διάρθρωση της Ιόνιας λεκάνης στο νότιο τμήμα της Ηπείρου σε σχέση με την μετανάστευση και παγίδευση των

υδρογονανθράκων της, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό πανεπιστήμιο Αθηνών, 168 σελ, Αθήνα

- **Μπελιβάνη Δ. (2013):** Ιζηματολογική και γεωχημική ανάλυση των αποθέσεων της περιοχής Πιτσίδα στη Νότιο-ανατολική Κρήτη, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ 1-90.
- **Παντόπουλος Γ. (2009):** Περιβάλλοντα ιζηματογένεσης, στρωματογραφική διάρθρωση και στατιστική ανάλυση στρωμάτων του φλύσχη στο νησί της Καρπάθου-Πιθανότητα ανάπτυξης πεδίου υδρογονανθράκων στο ΝΑ Αιγαίο, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 404 σελ, Πάτρα <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/handle/10889/2117>
- **Περιφέρεια Κρήτης,** Γενική Διεύθυνση Περιφέρειας, Διεύθυνση Υδάτων, Τμήμα Παρακολούθησης και ελέγχου της ποιότητας και ποσότητας των υδάτων, Κατάσταση υπογείων υδροφορέων Κρήτης, Νοέμβριος 2009.
- **Πομόνη – Παπαϊωάννου (2005):** Σημειώσεις ανθρακικής ιζηματογένεσης, Τμήμα Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ 81, Αθήνα
- **Πυλιώτης Ι. (2011):** Ιζηματολογική και Γεωχημική Μελέτη του Σχηματισμού Μετόχια, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, 157 σελ, Πάτρα <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/handle/10889/5216>
- **Σμπώκος Ε. (2015):** Μελέτη γεωλογικών παραμέτρων και διερεύνηση της θερμοκρασίας του υπόγειου υδροφορέα στην νοτιοδυτική Μεσσαρά, Κρήτη. Διπλωματική εργασία Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, 116 σελ, Χανιά. <http://dias.library.tuc.gr/view/55997>
- **Σταματάκη Σ. (2005):** Σημειώσεις μαθήματος Μηχανικής Πετρελαίου της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα
- **Στειακάκης Ε. (2012):** Σημειώσεις από Διαφάνειες των διαλέξεων του μαθήματος της Υδρογεωλογίας και Υδροτεχνικών Έργων του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά
- **Τσακίρογλου Δ. (1990):** Βελτιωμένη μέθοδος ανάλυσης της πορώδους δομής διαπερατών στερεών: Εφαρμογή σε ελληνικά Πετρελαιοφόρα Πετρώματα, Διδακτορική διατριβή στο Τμήμα Χημικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών, 581 σελ, Πάτρα <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/handle/10889/2668>



- **Τσούρλος Π. (2015):** Σημειώσεις μαθήματος Ηλεκτρομαγνητικές Μέθοδοι Γεωφυσικών Διασκοπήσεων στον τομέα Γεωφυσικής, Τμήμα Γεωλογίας Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη
- **Φασούλας Χ. (1995):** Κινηματική και Παραμόρφωση των καλυμμάτων της Κεντρικής Κρήτης, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, 304 σελ, Θεσσαλονίκη
- **Φέγγος Γ.,Κουβελάς Μ. (2006):** Χαρακτηρισμός βιογενούς ασβεστόλιθου περιοχής Αλφά Ρεθύμνου με επιτόπιες και εργαστηριακές μετρήσεις, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, 145 σελ, Χανιά
- **Φυτρολάκης Ν. (1980):** Η γεωλογική δομή της Κρήτης. - Διατριβή επί υφηγεσία. ΕΜΠ, Αθήνα, 146 σελ.



## Διαδίκτυο

- ✓ [www.geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr)
- ✓ [www.iupac.org](http://www.iupac.org)



**Παράρτημα**

Παράρτημα 1. Περιοχή Δειγματοληψίας

Παράρτημα 2. Πυρήνες-Πυρηνοληψία




Παράρτημα 3. Πίνακες τιμών- Διαγράμματα διαπερατότητας

Παράρτημα 4. Κοκκομετρικές Αναλύσεις






Παράρτημα 1 Περιοχή Δειγματοληψίας

Δείγμα και περιγραφή πεδίου	Φωτογραφική απεικόνιση
AM1 Ψαμμιτούχα μάργα	
AM2 Πιο ψαμμιτικό σε σχέση με το AM1	
AM3 Δείγμα από ψαμμιτούχο ορίζοντα με συγκρίματα	




Δείγμα και περιγραφή πεδίου	Φωτογραφική απεικόνιση
AM4 Καφέ ψαμμίτης	
AM5 Άστρωτος ψαμμίτης με κροκάλες	
AM6(A,B,Γ) Κροκάλες με ψαμμίτη	






Δείγμα και περιγραφή πεδίου	Φωτογραφική απεικόνιση
AM7 Ψαμμίτης που βρισκόταν ανάμεσα σε κροκαλοπαγή και μάργες	
AM8 Ψαμμίτης από μετάβαση μάργας σε ψαμμίτη	
AM9 ψαμμίτης από μετάβαση ψαμμίτη σε μάργα	






είγμα και περιγραφή πεδίου	Φωτογραφική απεικόνιση
AM10 Ψαθυρός ψαμμίτης	
AM11 Συμπαγής ψαμμίτης από ψαμμιτικό πάγκο	
AM12 Συμπαγής ψαμμίτης από ψαμμιτικό πάγκο	




Δείγμα και περιγραφή πεδίου	Φωτογραφική απεικόνιση
AM13 Ψαμμίτης	
AM14 Μη συμπαγής ψαμμίτης	
AM15 Άμμος από τα υποκείμενα	






Δείγμα και περιγραφή πεδίου	Φωτογραφική απεικόνιση
AM16 Ψαμμίτης από τα υπερκείμενα	
AM17 Ψαμμίτης	
AM18 Συμπαγής ασβεστίτικος ψαμμίτης	




Δείγμα και περιγραφή πεδίου	Φωτογραφική απεικόνιση
AM19 Συμπαγής ψαμμίτης σε εναλλαγή με μη συμπαγή	
AM20 Συμπαγής ψαμμίτης με απολιθώματα	
AM21 Συμπαγής ψαμμίτης με απολιθώματα	






Δείγμα και περιγραφή πεδίου	Φωτογραφική απεικόνιση
AM22 Συνεκτικός ψαμμίτης	 A photograph of a road cut showing a person standing on a rock outcrop for scale. The rock face is light-colored and shows distinct horizontal bedding. The person is wearing a green shirt and dark shorts. The road is paved and runs horizontally across the bottom of the image. The sky is blue with some white clouds.
AM23 Συνεκτικός ψαμμίτης	 A photograph of a road cut showing a person standing on a rock outcrop for scale. The rock face is light-colored and shows distinct horizontal bedding. The person is wearing a green shirt and dark shorts. The road is paved and runs horizontally across the bottom of the image. The sky is blue with some white clouds.
AM24 Συνεκτικός ψαμμίτης	 A photograph of a road cut showing a person standing on a rock outcrop for scale. The rock face is light-colored and shows distinct horizontal bedding. The person is wearing a green shirt and dark shorts. The road is paved and runs horizontally across the bottom of the image. The sky is blue with some white clouds.

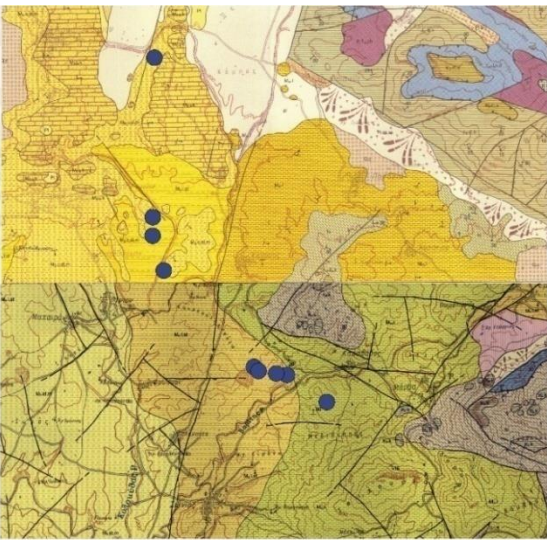
Δείγμα και περιγραφή πεδίου	Φωτογραφική απεικόνιση
AM25(A,B) Συμπαγής ψαμμίτης	
AM26 Τμήμα ψαμμιτικού ορίζοντα	
AM27 Συμπαγής ψαμμίτης	



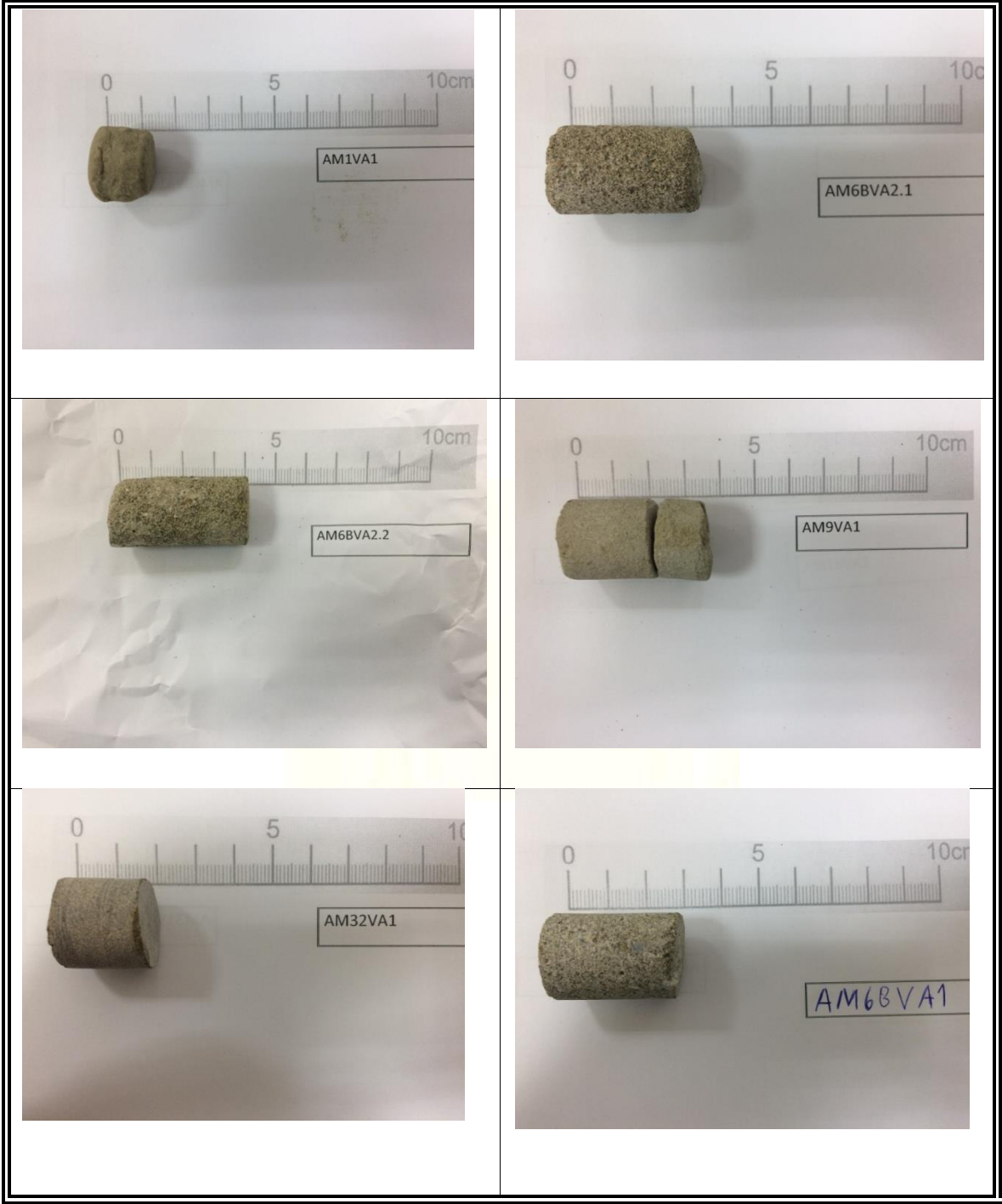
Δείγμα και περιγραφή πεδίου	Φωτογραφική απεικόνιση
AM28 Ψαμμίτης με μάργα	
AM29 Ενδιάμεσος ψαμμίτης	
AM30 Ψαμμίτης από μεγάλο ψαμμιτικό πάγκο(>2m)	



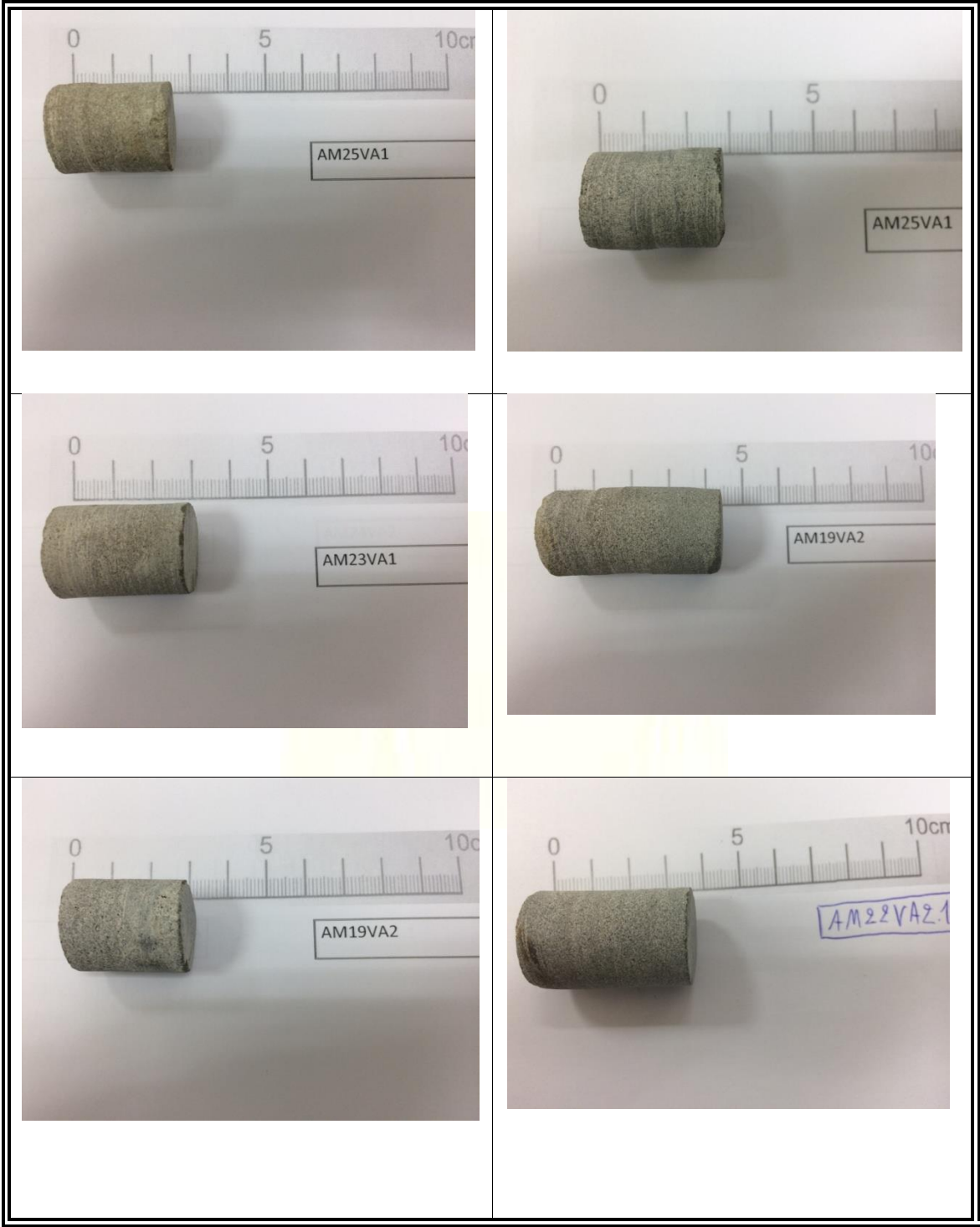
Δείγμα και περιγραφή πεδίου	Φωτογραφική απεικόνιση
AM31  Συμπαγής ψαμμίτης	
AM32(A,B)  Συμπαγείς ψαμμίτες από εναλλαγές ψαμμιτικών πάγκων	
AM33  Ψαμμίτης από εναλλαγές ψαμμιτών με μάργες	

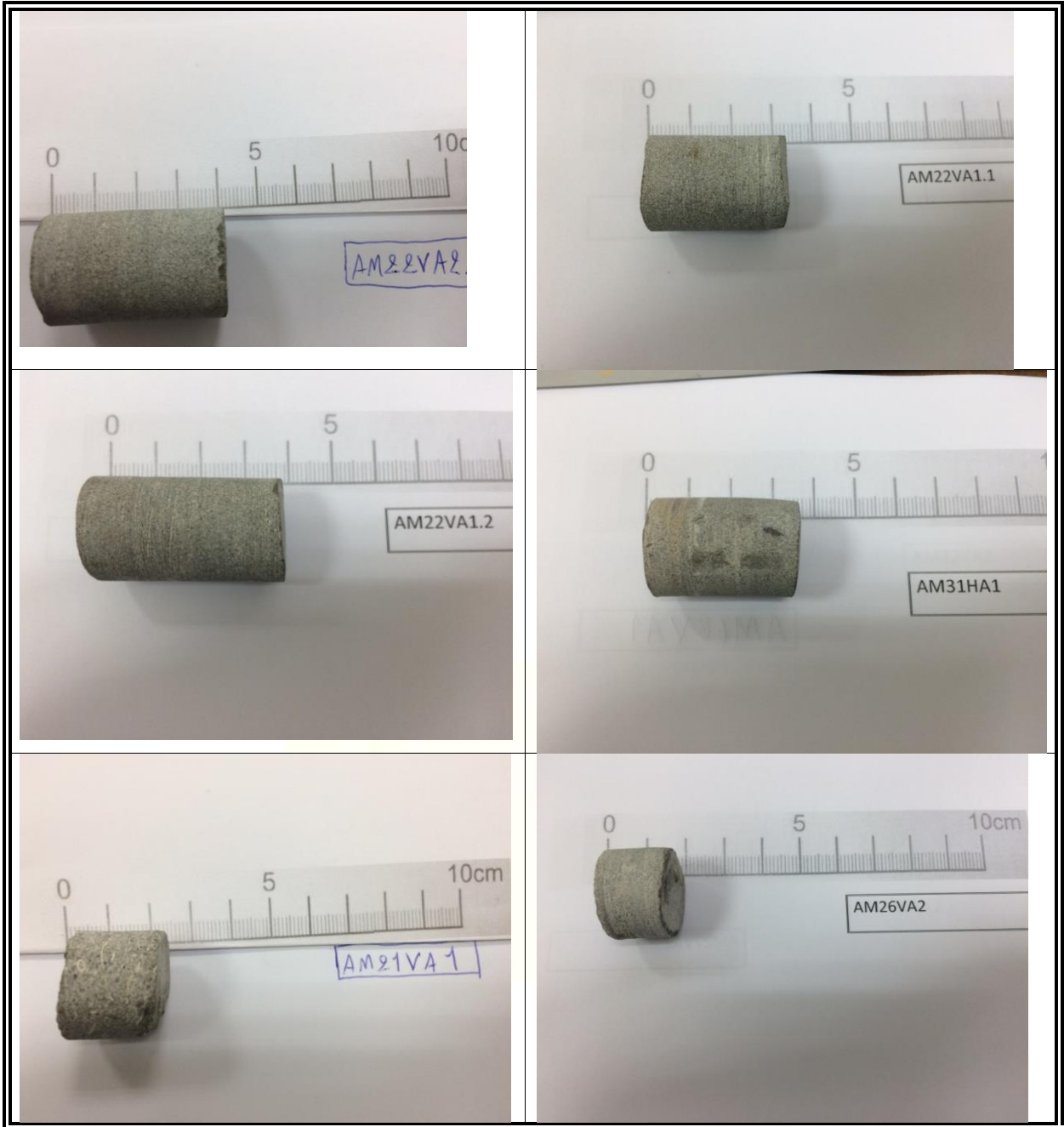


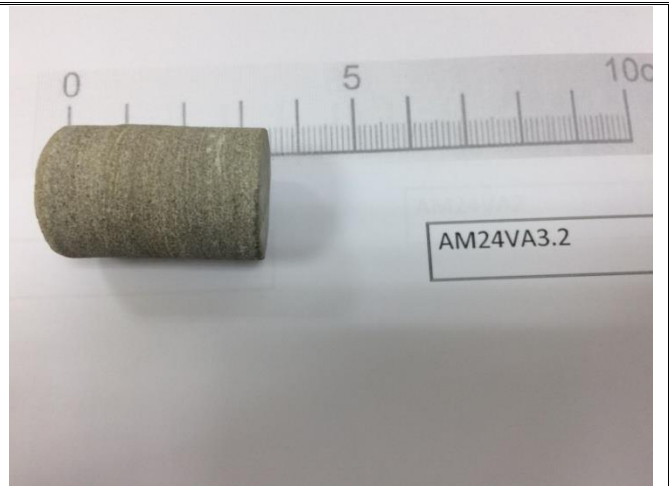
Παράρτημα 2 Πυρήνες- Πυρηνολυψίας

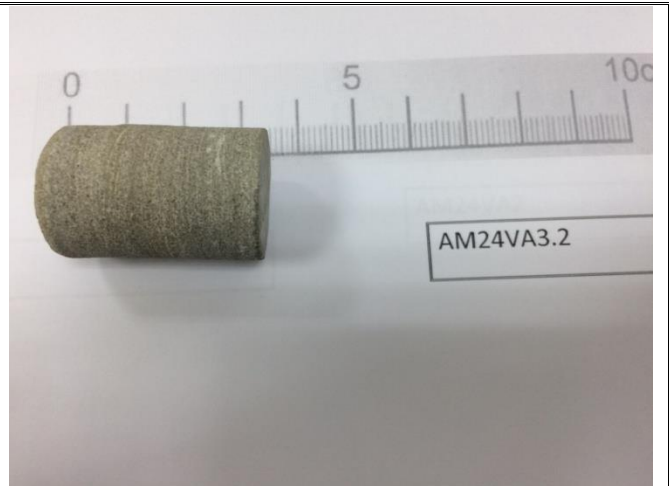








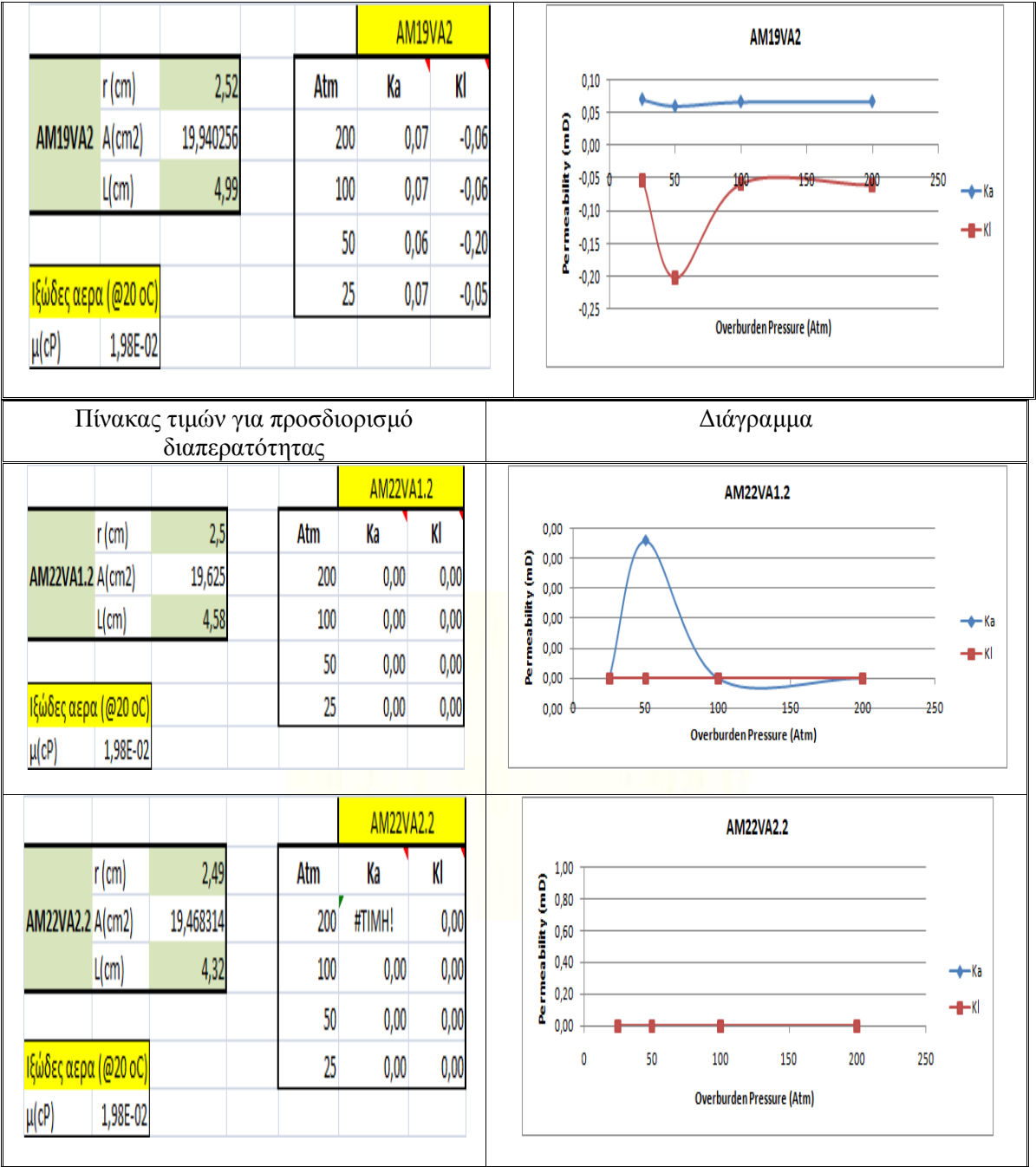


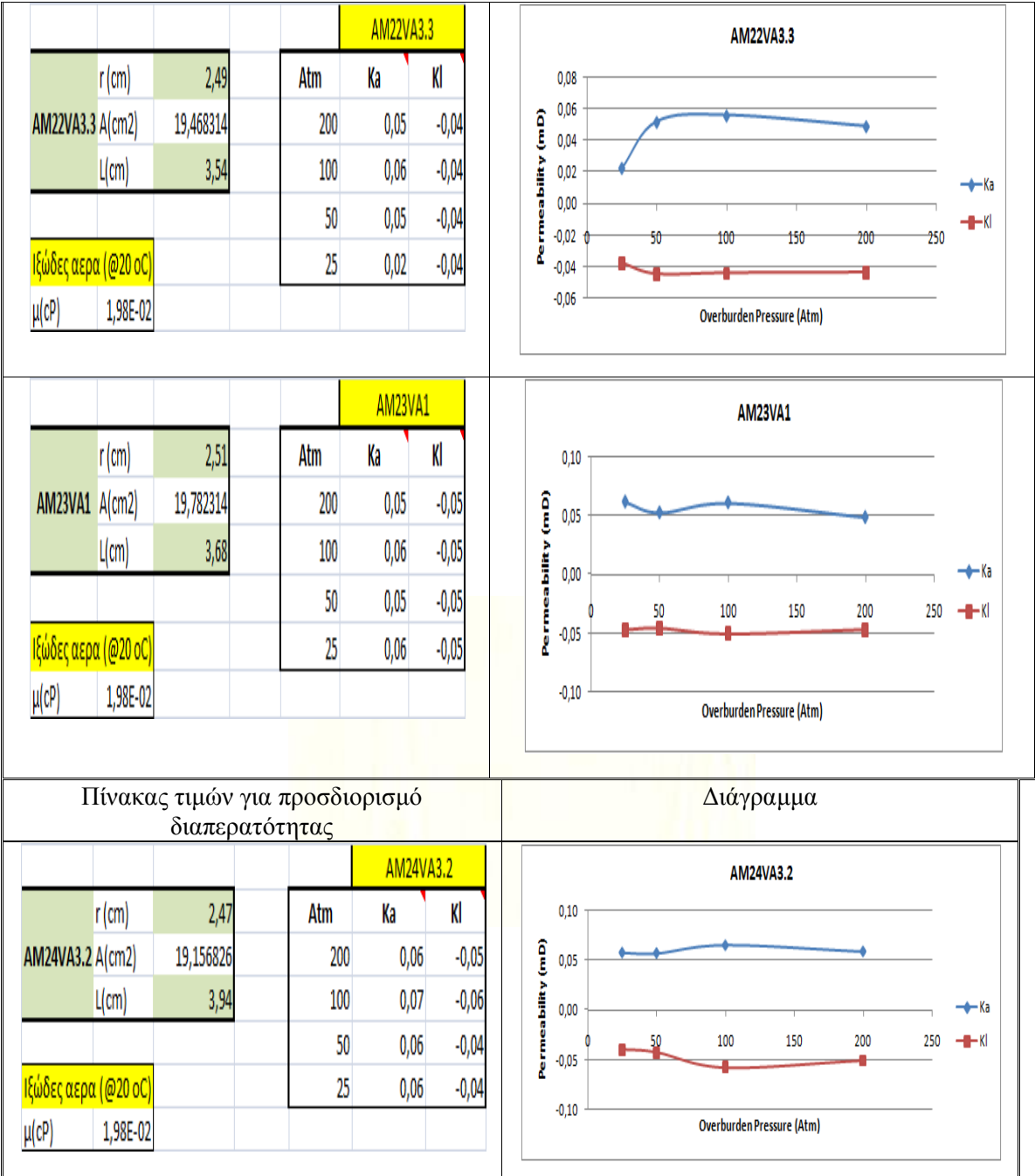


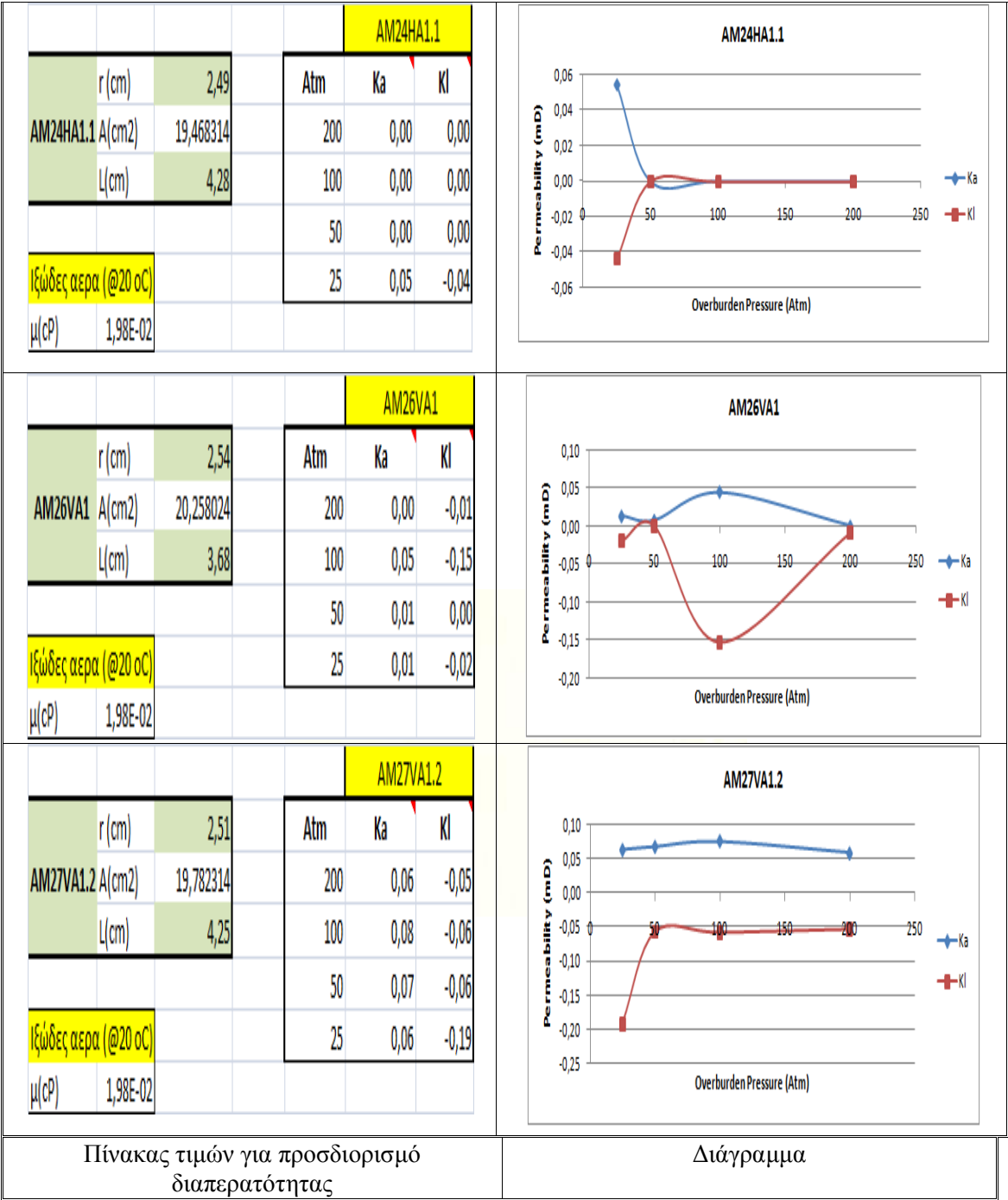


Παράρτημα 3. Πίνακες Τιμών-Διαγράμματα Διαπερατότητας



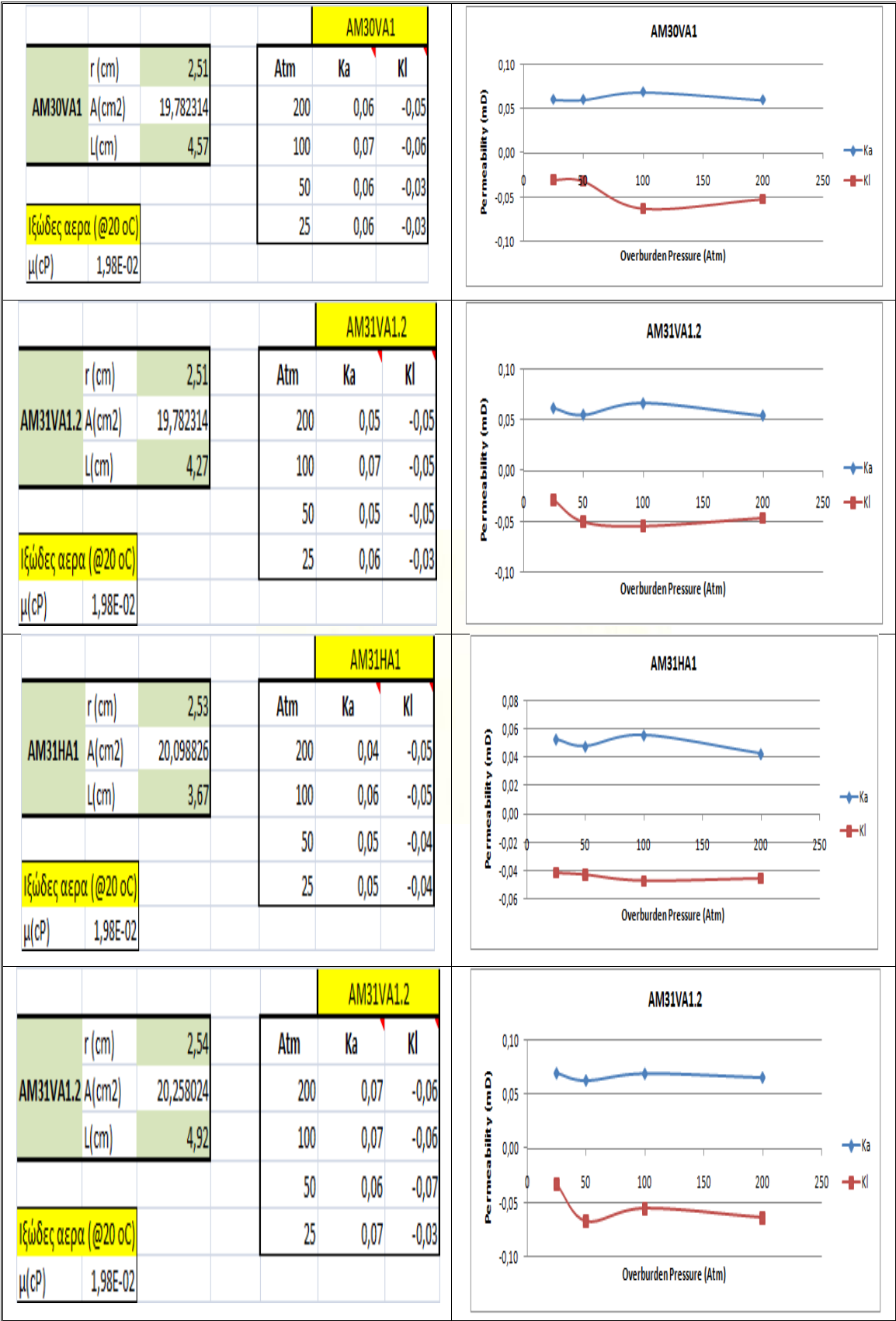




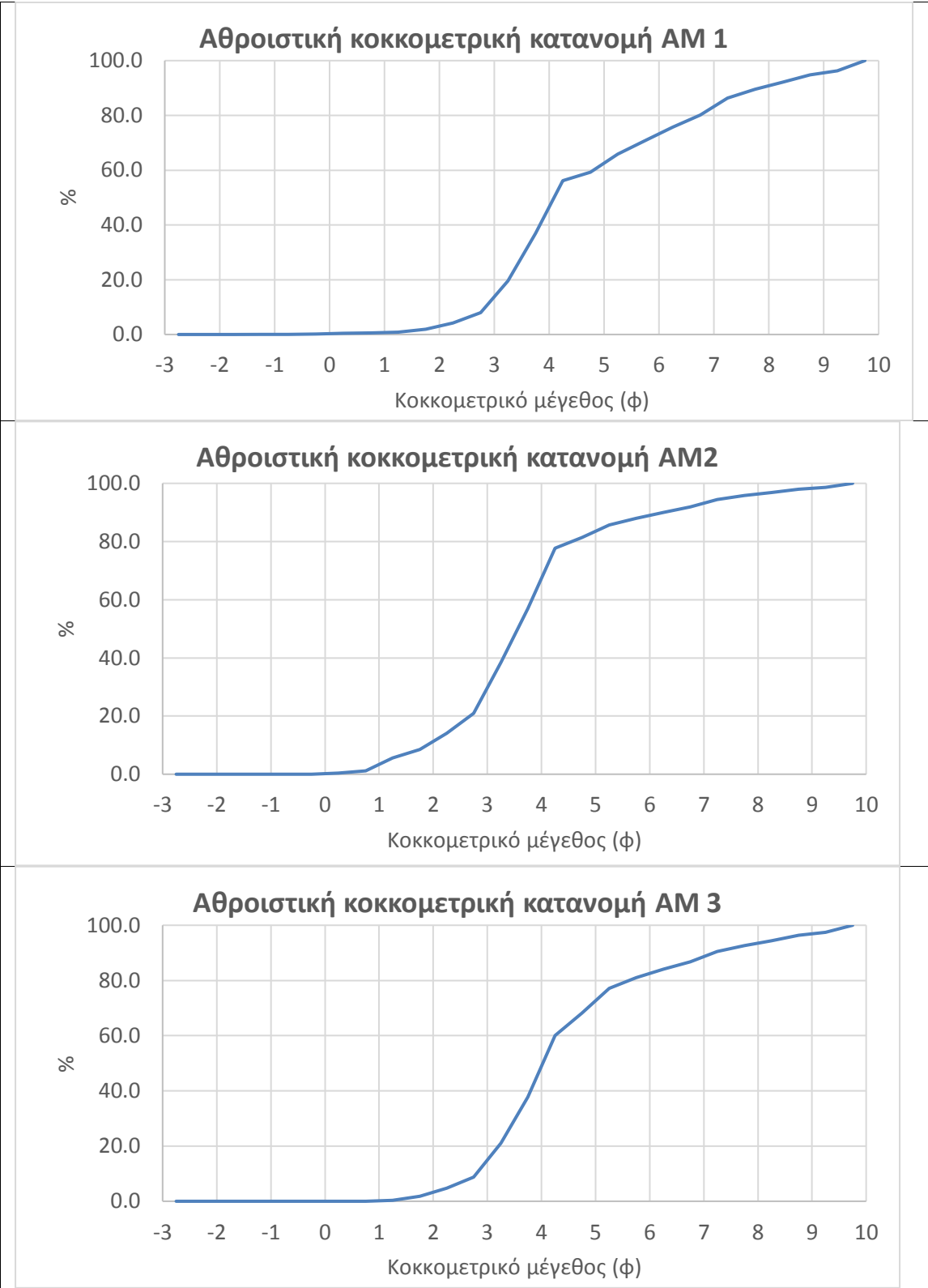


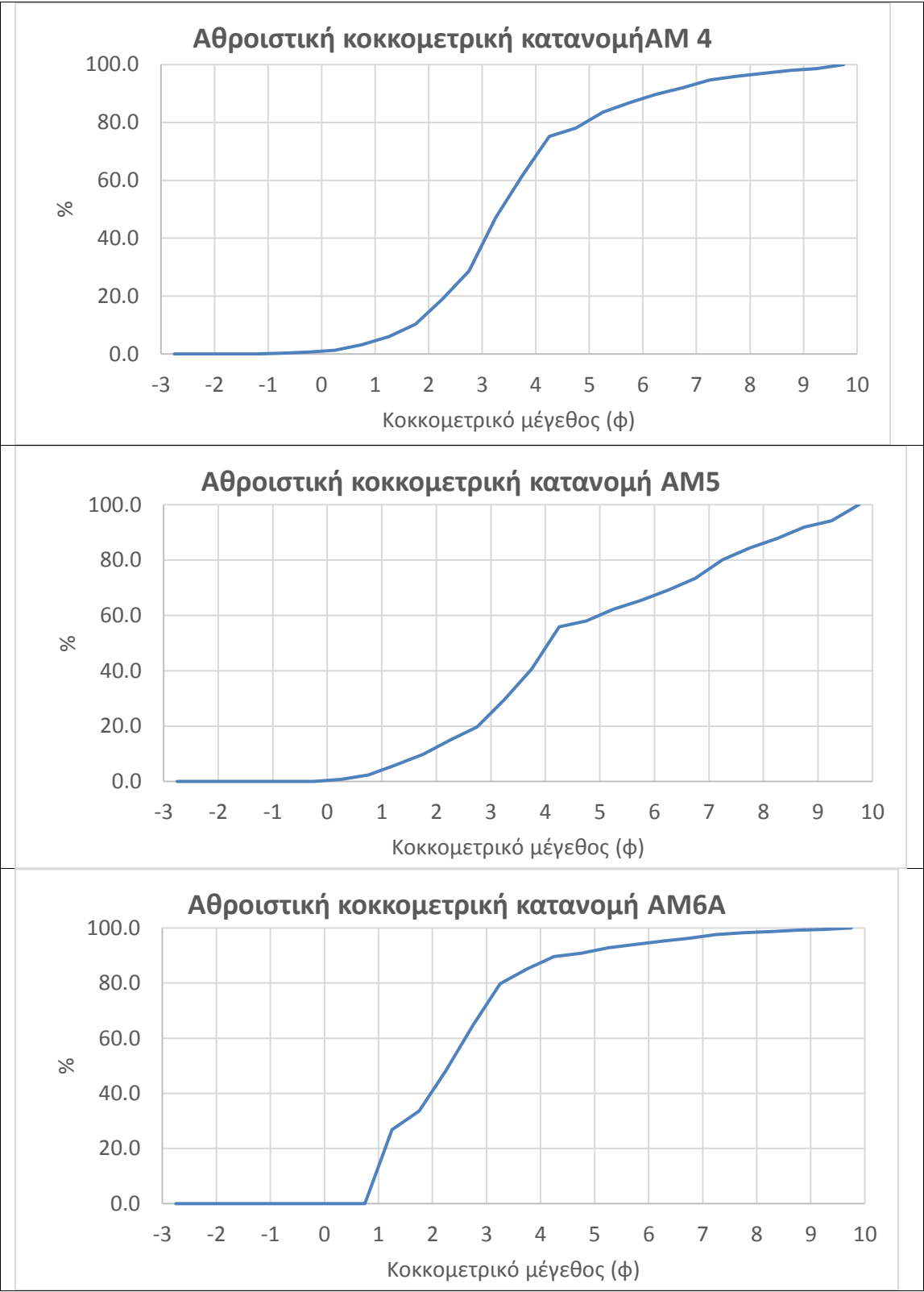
Πίνακας τιμών για προσδιορισμό διαπερατότητας

Διάγραμμα

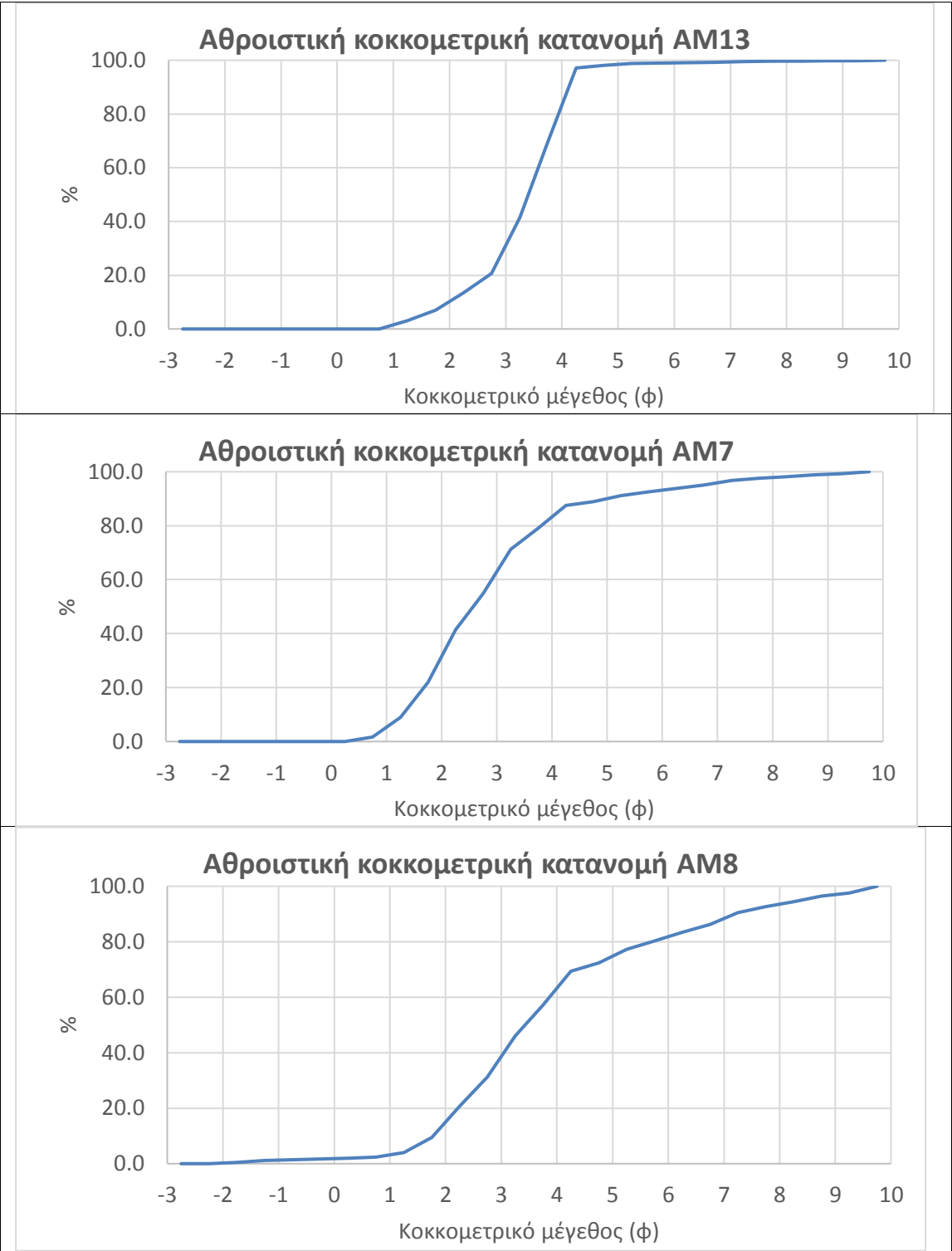


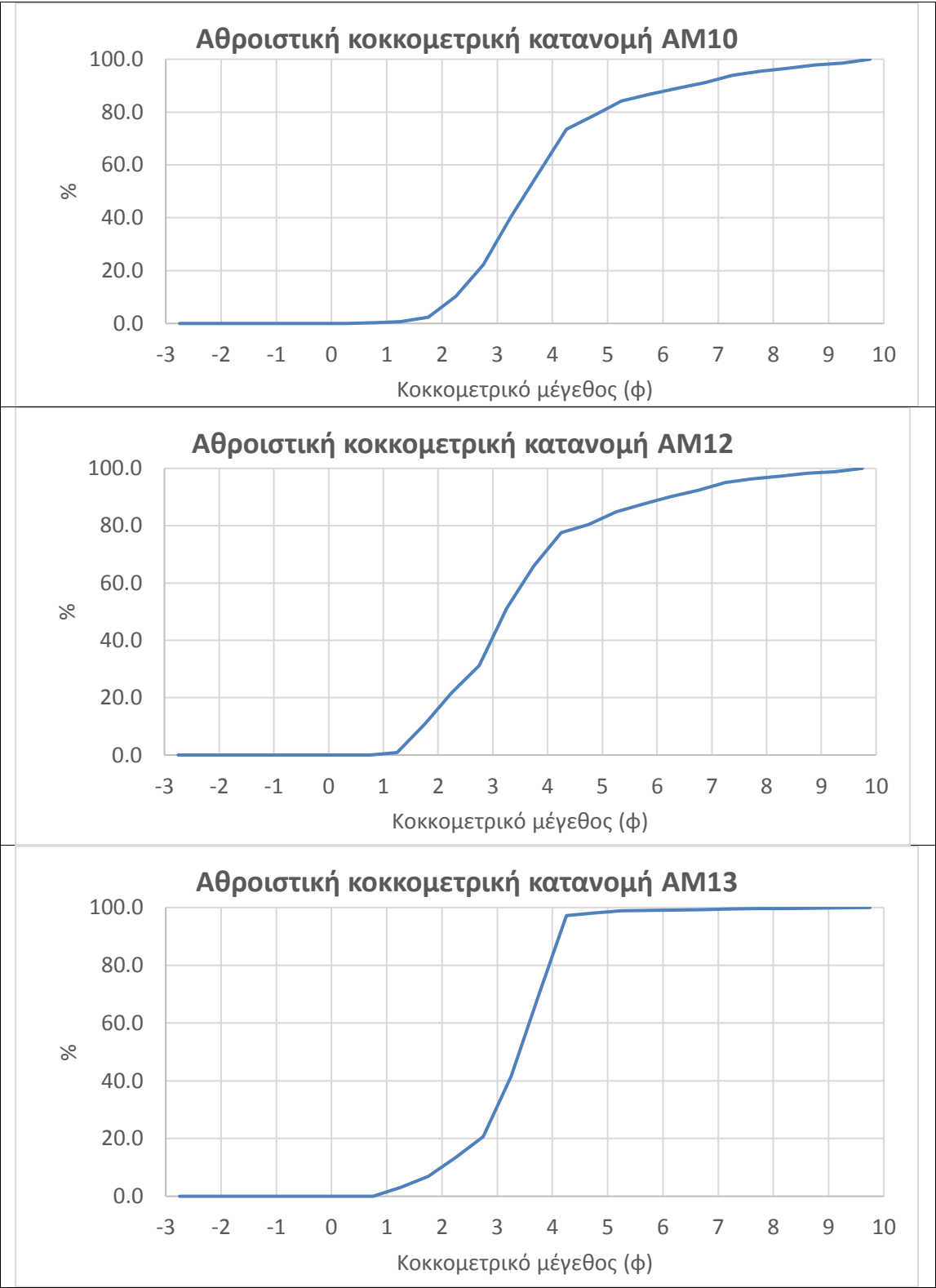
Παράρτημα 4 Κοκκομετρικές Αναλύσεις

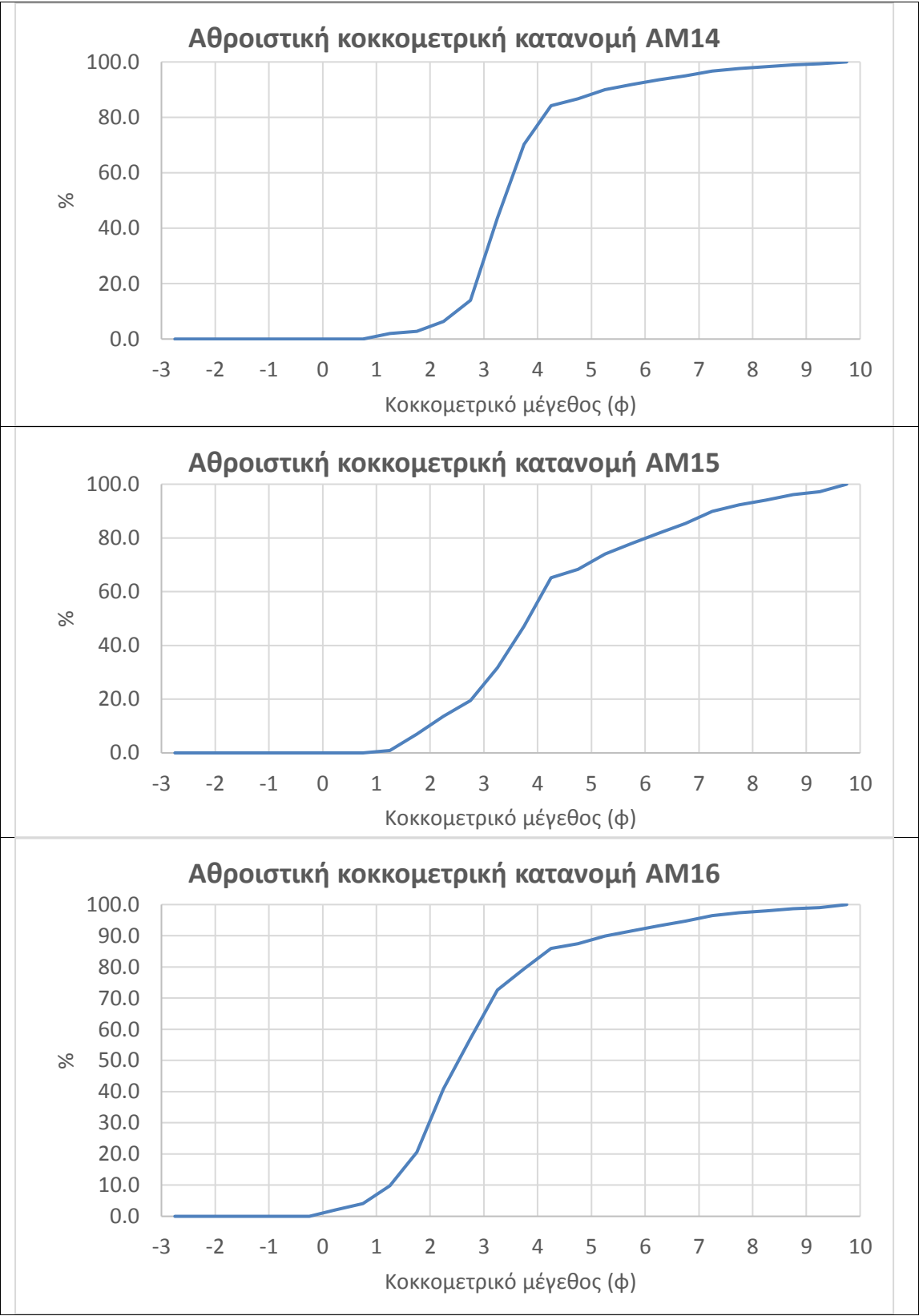


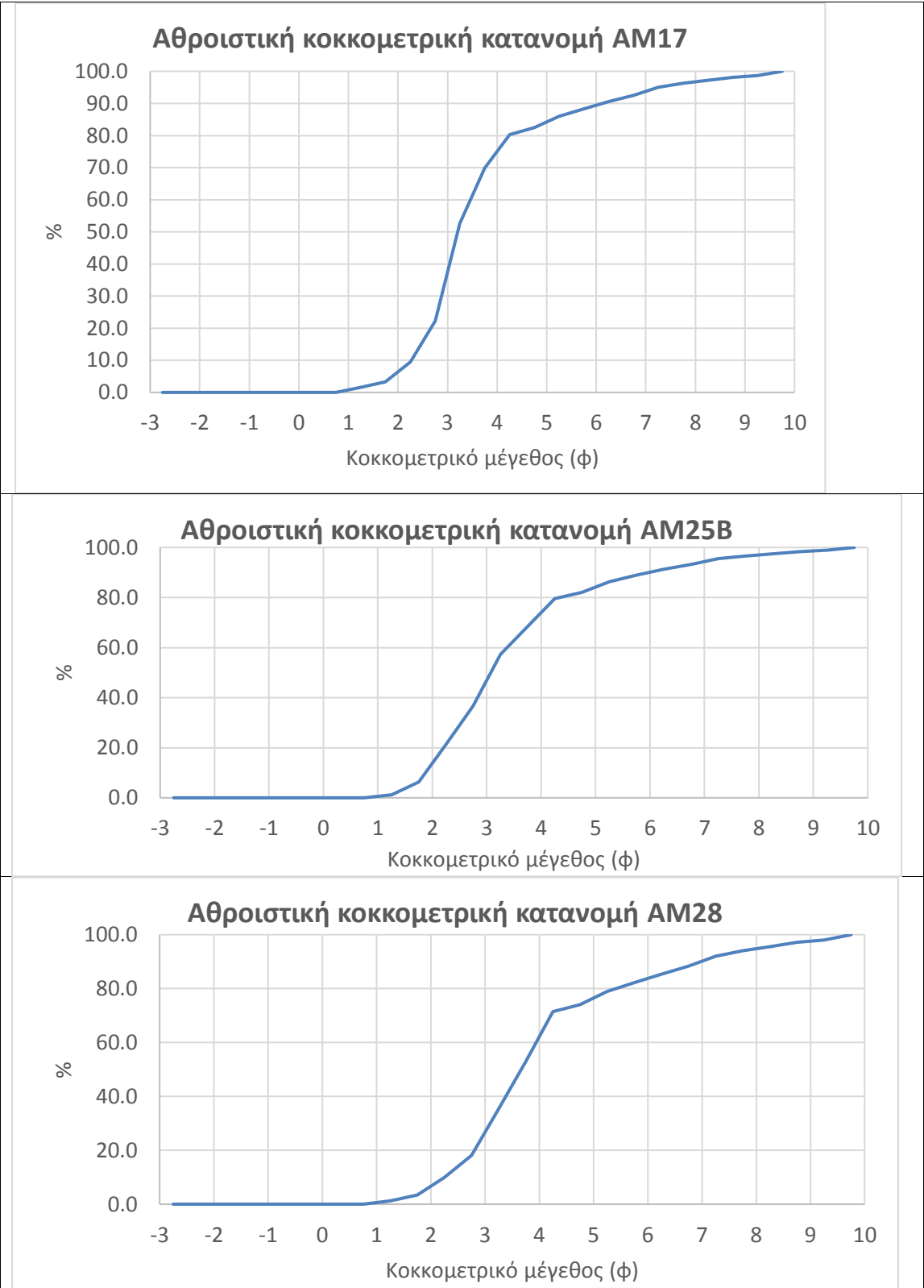


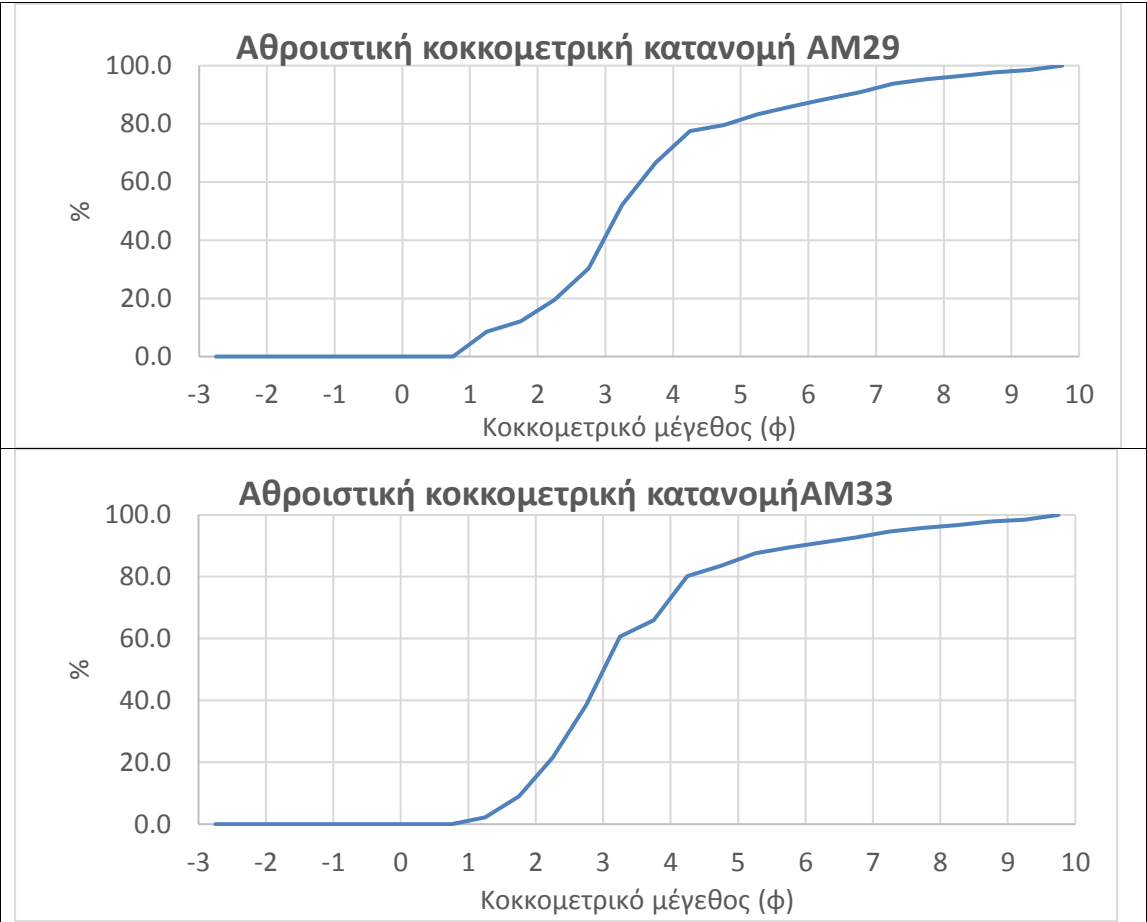












Όνομα δείγματος	AM 1	AM 2	AM 3	AM 4	AM 5	AM 6A	AM 6B	AM 6Γ	AM 7	AM 8	AM 9	AM 10	AM 11	AM 12
Αρχικό Βάρος	260,47	263,89	268,34	246,43	256,41	41,61	-	177,87	238,78	192,04	-	228,81	-	128,68
8000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
2830	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	-	-	-
2000	0,1	-	-	0,8	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-
1400	0,4	-	-	0,9	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-
1000	0,4	1	-	1,5	2	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-
710	0,4	2	-	4,5	4	-	-	3	4	0,8	-	0,6	-	-
500	0,8	11,6	1	7	9	11,17	-	8	17,5	3,2	-	0,8	-	1,2
355	2,9	7,96	3,78	10,75	10,12	2,79	-	21,35	30,94	10,35	-	3,92	-	12,56
250	5,9	14,73	7,97	20,99	13,24	6,09	-	37,54	46,52	21,55	-	18,17	-	14,27
180	9,9	17,88	10,7	24,25	12,03	6,91	-	33,73	32,12	20,44	-	27,38	-	12,04
125	30,1	42,18	26,99	45,55	25,51	6,1	-	28,22	38,51	27,7	-	36,54	-	25,3
90	44,4	41,51	29,37	34,32	26,9	2,01	-	10,14	17,43	18,62	-	27,86	-	17,52
63	46	45,4	37,39	28,66	35,49	1,44	-	7,77	17,77	19,18	-	25,18	-	12,38
pan	25,9	20,92	21,97	15,3	20,27	0,34	-	4,12	7,25	5,62	-	10,55	-	4,43
wet sieving	93,17	58,71	129,17	51,91	97,85	4,76	-	24	26,74	60,88	-	77,81	-	28,98
laser	119,07	79,63	151,14	67,21	118,12	5,1	-	28,12	33,99	66,5	-	88,36	-	33,41
total sieves	141,4	184,26	117,2	179,22	138,29	36,51	-	149,75	204,79	125,54	-	140,45	-	95,27



Όνομα δείγματος	AM 13	AM 14	AM 15	AM 16	AM 17	AM 18	AM 19	AM 20	AM 21	AM 22	AM 23	AM 24
Αρχικό Βάροςgr	212,75	275,86	215,3	260,65	280,05	-	-	-	-	-	-	-
8000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2830	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1000	-	-	-	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-
710	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-
500	6,61	5,62	2	15	4,43	-	-	-	-	-	-	-
355	8,21	2,08	13	27,97	4,68	-	-	-	-	-	-	-
250	13,79	9,71	14,47	53,07	17,27	-	-	-	-	-	-	-
180	15,26	21,23	12,39	42,18	36,01	-	-	-	-	-	-	-
125	42,43	80,33	25,71	39,79	84,28	-	-	-	-	-	-	-
90	56,77	69,29	30,73	16,12	45,74	-	-	-	-	-	-	-
63	55,68	32,68	33,83	13,98	24,45	-	-	-	-	-	-	-
pan	6,61	10,52	18,43	6,6	11,79	-	-	-	-	-	-	-
wet sieving gr	7,39	44,4	64,74	35,44	51,4	-	-	-	-	-	-	-
laser	14	54,92	83,17	42,04	63,19	-	-	-	-	-	-	-
total sieves	198,75	220,94	132,13	218,61	216,86	-	-	-	-	-	-	-

Όνομα δείγματος	AM 25A	AM 25B	AM 26	AM 27	AM 28	AM 29	AM 30	AM 31	AM 32	AM 33
Αρχικό Βάρος	-	127,7	-	-	157,05	264,43	-	-	-	230,98
8000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2830	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
710	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	-	1,6	-	-	2	22,61	-	-	-	5
355	-	6,38	-	-	3,3	9,64	-	-	-	15,79
250	-	19,2	-	-	10,4	19,3	-	-	-	28,87
180	-	19,62	-	-	12,7	28,48	-	-	-	39,52
125	-	26,18	-	-	26,8	57,64	-	-	-	48,16
90	-	13,13	-	-	26,1	36,39	-	-	-	6,72
63	-	11,77	-	-	26,2	24,48	-	-	-	25,34
pan	-	3,01	-	-	10,9	11,98	-	-	-	7,83
wet sieving	-	26,81	-	-	38,65	53,91	-	-	-	53,75
laser	-	29,82	-	-	49,55	65,89	-	-	-	61,58
total sieves	-	97,88	-	-	107,5	198,54	-	-	-	169,4