



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Πετροφυσικά χαρακτηριστικά ψαμμιτών του Νεογενούς (περιοχή
Φανερωμένης, Μεσσαρά, Κρήτη)»**



Μαντζιώκας Ηρακλής (Α.Μ 2009020043)

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Καθηγητής (επιβλέπων)

Βαφείδης Αντώνης, Καθηγητής

Στειακάκης Εμμανουήλ, Επίκουρος Καθηγητής

Χανιά, Σεπτέμβριος 2016

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

Στην οικογένεια μου

Περίληψη

Σε μια εκτεταμένη περιοχή στην κεντρική Κρήτη, εντός της λεκάνης της Μεσσαράς, έχουν παρατηρηθεί σε υδρογεωτρήσεις διαφυγές μεθανίου διαγενετικής προέλευσης. 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. Ως επακόλουθο τα κύρια πετροφυσικά τους χαρακτηριστικά το πορώδες και η διαπερατότητα εξαρτώνται άμεσα από τις αρχικές αυτές ιζηματολογικές συνθήκες και την συνεπακόλουθη διεργασία της διαγένεσης.

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η μέτρηση τους πορώδους και της διαπερατότητας, για πρώτη φορά σε ψαμμίτες του Νεογενούς στην Κρήτη, σε 38 δείγματα που πάρθηκαν από την γεωλογική τομή μήκους περίπου τριών χιλιομέτρων που βρίσκεται δυτικά του φράγματος της Φανερωμένης. Κατά μήκος αυτής της τομής παρατηρούνται ψαμμιτικοί πάγκοι σε εναλλαγές με κροκαλοπαγή και μάργες. Στα παλιότερα σε ηλικία τμήματα της τομής (Μέσο – Ανώτερο Μειόκαινο) επικρατούν οι μη ανθρακικής σύστασης ψαμμίτες ενώ στα ανώτερα τμήματα (Πλειόκαινο) ψαμμίτες ανθρακικής σύστασης. Αν και οι διαφορές στο πορώδες των δύο αυτών λιθολογικών ψαμμιτικών ομάδων είναι εμφανείς, δεν συμβαίνει το ίδιο με την διαπερατότητα, συνέπεια του σχετικά υψηλού ποσοστού αργιλικού και ιλυολιθικού κλάσματος εντός των ψαμμιτών, που διαγενετικά την καθόρισε.

Abstract

Methane seepages of diagenetic origin from water wells have been observed in an extended area, in Central Crete within the Messara basin. Borehole data showed that the aforementioned methane is located not only in mudstones, but also in sandstones which contain water of high salinity. Sandstones of various depositional environments formed in the wider depositional Messara basin, from Middle Miocene to Pliocene. As a result, the main petrophysical characteristics of these sandstones, such as porosity and permeability, are strongly depend on these initial sedimentary conditions and the consequential procedure of diagenesis.

The aim of this study was to determine for the first time, the porosity and permeability values, of Neogene sandstones from Crete area. Totally 38 samples collected from the 3 km in length geological section which is located west of the Faneromi dam at western Crete. Along this section emerge sandstones beds alternating with conglomerates and marls. The older parts of the section (Middle-Upper Miocene) mainly consist of non-carbonate sandstones while in upper parts (Pliocene) carbonate sandstones predominate. Porosity exhibit different values for the two group. This is not the case regarding permeability, as a result of the high content of the sandstone in silt and clay, which affected the diagenetic processes.

Ευχαριστίες

Οφείλω ένα μεγάλο και ανιδιοτελές ευχαριστώ στον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ, τόσο για την επιλογή του θέματος και την εμπιστοσύνη που μου υπέδειξε μέσα από την ανάληψη της διπλωματικής μου εργασίας, όσο και για την βοήθεια, τις χρήσιμες συμβουλές καθώς και τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσε καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης της. Εν συνεχεία, θερμές ευχαριστίες θα επιθυμούσα να εκφράσω, για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή, στον Καθηγητή κ. Βαφείδη Αντώνιο για το χρόνο τον οποίο διέθεσε, όπως και για τις διορθώσεις και συμβουλές του στην εν λόγω εργασία, καθώς και στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Στειακάκη Εμμανουήλ για τις εύστοχες παρατηρήσεις του στον τελικό έλεγχο της διπλωματικής εργασίας.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Πυλιώτη Γιάννη για την συνεργασία, τον χρόνο και την ανεκτίμητη βοήθεια που μου παρείχε κατά την διεκπεραίωση της εργασίας. Επίσης δεν δύναται να μην αναφέρω και τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Παναγόπουλο Γιώργο για τις συμβουλές του στο τεχνικό μέρος της διπλωματικής.

Επιπλέον, είναι ηθικώς επιβεβλημένο να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Δρ. κ. Μαρινάκη του Εργαστηρίου Ανάλυσης Ρευστών και Πυρήνων Υπογείων Ταμιευτήρων, στον κ. Μαυριγιαννάκη του Εργαστηρίου Μηχανικής Πετρωμάτων, καθώς και στους κ. Πετράκη και κα Παντελάκη του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού για την υπόδειξη τεχνικών μέσων, απαραίτητων για την ολοκλήρωση των προκείμενων εργαστηριακών δοκιμών.

Τέλος, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τους αγαπητούς μου συμφοιτητές και φίλους Στυλιανό Σπαντιδάκη και Μιχαήλ Γιόφκο για την συνεργασία όπως και τους Καλαμάρα Χρήστο, Μπολγκοράνου Μαρία, Μπριντάκη Ιωάννη, Πιτσόλη Γεώργιο και Σπυριδάκη Στυλιανό, για την ουσιαστική τους υποστήριξη, αλλά πρωτίστως, τους γονείς μου, Αστέριο και Άννα, όσο και την αδερφή μου, Ευδοκία για την υπομονή και την στήριξη που μου παρείχαν καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	4
Abstract.....	5
Ευχαριστίες	6
1 Εισαγωγή.....	13
2 Γεωγραφικά – Γεωλογικά στοιχεία	19
2.1 Γεωγραφικά στοιχεία της νήσου Κρήτης	19
2.1.1 Η Γεωγραφία της Μεσσαράς	20
2.2 Γεωλογική επισκόπηση	21
2.2.1 Γεωλογικό περίγραμμα της Κρήτης	25
2.2.2 Απόψεις για την νεοτεκτονική εξέλιξη της Κρήτης	31
2.2.3 Υδρογεωλογικές συνθήκες λεκάνης Μεσσαράς.....	35
2.3 Γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης	37
3 Πορώδες - Διαπερατότητα	45
3.1 Εισαγωγή.....	45
3.1.1 Πορώδες	45
3.1.2 Τύποι Πορώδους.....	48
3.1.3 Μέθοδοι Προσδιορισμού του Πορώδους.....	51
3.1.4 Διαπερατότητα	58
4 Μεθοδολογίες	63
4.1 Διαδικασία Δειγματοληψίας και Μέθοδοι Έρευνας	63
4.1.1 Μέτρηση του πορώδους.....	64
4.1.2 Διαμόρφωση Δοκιμίων	65
4.1.3 Πειραματική διαδικασία	68
4.1.4 Εργαστηριακή μέτρηση της διαπερατότητας	70
5 Ιζηματολογικές Αναλύσεις-Κοκκομετρία.....	73

5.1	Διαδικασία Κοκκομετρικής Ανάλυσης.....	74
6	Αποτελέσματα.....	83
7	Συζήτηση και Συμπεράσματα	88
	Βιβλιογραφία.....	91
	Διεθνής.....	91
	Ελληνική.....	93
	Πηγές από το Διαδίκτυο	97
	Παράρτημα.....	98
	Παράρτημα.1 Περιοχή Δειγματοληψίας.....	99
	Παράρτημα.2 Πυρηνοληψία, Εργαστηριακές Μετρήσεις.....	107
	Παράρτημα.3 Κοκκομετρικές αναλύσεις	133

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.α Συντεταγμένες θέσεων του πεδίου δειγματοληψίας	42
Πίνακας 2.β Σύγκριση Πορώδους σε ψαμμίτες και ανθρακικά πετρώματα	43
Πίνακας 3.α Μεθοδολογίες μέτρησης και προσέγγισης του πορώδους	57
Πίνακας 4.α Αποτελέσματα μετρήσεων στερεών προτύπων	69
Πίνακας 4.β Υπολογισμός πορώδους για το δείγμα FAN 21BVA1	69
Πίνακας 5.α Ταξινόμηση των κόκκων	73
Πίνακας 5.β Στατιστικές Παράμετροι	75
Πίνακας 5.γ Χαρακτηρισμός Κοκκομετρικών Παραμέτρων	78
Πίνακας 5.δ Αποτελέσματα Κοκκομετρικών Αναλύσεων των δειγμάτων	79
Πίνακας 5.ε Συγκριτικά χαρακτηριστικά των μεθόδων ξηρής/υγρής κοσκίνισης & Διάθλασης με λείζερ (Laser diffraction Analysis)	82
Πίνακας 6.α Διαστασιολόγηση, Περιγραφή και Λιθολογικός χαρακτήρας δοκιμίων.84	
Πίνακας 6.β Πορώδες, διαπερατότητα δοκιμίων.....	86
Πίνακας 6.γ Συγκριτικά αποτελέσματα Πορώδους.....	87
Πίνακας 6.δ Συγκριτικά αποτελέσματα Διαπερατότητας.....	87
Πίνακας 6.ε Απεικόνιση σε ραβδόγραμμα των αποτελεσμάτων Διαπερατότητας..88	
Πίνακας 7.α. Απεικόνιση σε ραβδόγραμμα του πορώδους των υπό μελέτη ψαμμιτικών δειγμάτων της Φανερωμένης.	89
Παράρτημα 1. Πίνακας.α.Φωτογραφική απεικόνιση περιοχής Δειγματοληψίας	99
Παράρτημα 2. Πίνακας.β Φωτογραφική απεικόνιση πυρήνων.....	107
Παράρτημα 2. Πίνακας.γ Διαγράμματα διαπερατότητας.....	111
Παράρτημα 3. Πίνακας.δ. Ποσοστιαίες Αθροιστικών κοκκομετρικών κατανομών δειγμάτων	133
Παράρτημα 3. Πίνακας.ε. Διαγράμματα Αθροιστικών κοκκομετρικών κατανομών δειγμάτων	136

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.1 Σχέση κατανομής πορώδους και διαπερατότητας σε ανθρακικά πετρώματα του Ολοκαίνου .	16
Εικόνα 1.2 Σχέση κατανομής ταχυτήτων κυμάτων P με κατανομή διαφόρων τύπων πορώδους από δείγματα ανθρακικών πετρωμάτων .	17
Εικόνα 2.1 Γεωγραφικός χάρτης της Κρήτης και η θέση της λεκάνης της Μεσσαράς	20
Εικόνα 2.2 Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας	22
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 - Ανω.Ηωκαίνου. Κλείσιμο του ωκεάνιου χώρου της ζώνης Αξιού. Επώθηση των οφειολίθων από τη ζώνη Αξιού πάνω στην Πελαγονική. Αρχή της ιζηματογένεσης του εξωτερικού φλύσχη. Απόθεση της μολάσσας στην Μεσοελληνική αύλακα και την "αύλακα Αξιού". γ) Περίοδος Ανωτέρου Ιουρασικού - Κατωτέρου Κρητιδικού. Βύθιση του ωκεανού της ζώνης Αξιού κάτω από την Περιοδοπική ζώνη και την Ελληνική Ενδοχώρα. Αρχική τεκτονική τοποθέτηση των οφειολίθων πάνω στην Πελαγονική και δ) Περίοδος Μέσου - Ανω Ιουρασικού. Αύλακες και υβώματα μετά την περιοδοπική ορογένεση. ΑΙ = Αλμωπίας, C.R.B. = Περιοδοπική, G.T. = Γαβρόβου-Τρίπολης, Η = Ενδοχώρα, Ιο = Ιόνιος, Ρ = Πελαγονική, Ρα = Πάικου, Ρε = Παιονίας, Ρh = λεκάνη φυλλιτών, Ρi = Πίνδου, Sb = Υποπελαγονική, Τ.Ο. = Σειρά Plattenkalk.	24
Εικόνα 2.4 Λιθολογική υποδιαίρεση του Φυλλιτικού καλύμματος κατά Dornsiepen και Manutsoglu (1994) (αριστερά) και δεξιά σχηματικές συγκριτικές λιθοστρωματογραφικές στήλες των μεταμορφωμένων ενοτήτων των εξωτερικών Ελληνίδων	25
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)	26

Εικόνα 2.6 Τεκτονική διάταξη των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων στην Κρήτη	27
Εικόνα 2.7 Σχηματική απεικόνιση της λιθοστρωματογραφίας της Κρήτης, με τις μεγαλύτερες ομάδες σχηματισμών του Νεογενούς και το προνεογενές υπόβαθρο (αδιαίρετο). Παρουσιάζεται η μεταξύ τους σχέση όσο αφορά τη κατακόρυφη και οριζόντια θέση αλλά και την στρωματογραφική εξέλιξή τους	30
Εικόνα 2.8 Τεκτονοστρωματογραφικά επεισόδια στην κεντρική και ανατολική Κρήτη	32
Εικόνα 2.9 Σχηματική αναπαράσταση την ζώνης αποκόλλησης στην περιοχή της Κρήτης. Το κατερχόμενο τέμαχος κινήθηκε εφελκυστικά προς τον Βορρά	33
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.	34
Εικόνα 2.11 Γενικευμένο μοντέλο τεκτονικής εξέλιξης της Κρήτης	35
Εικόνα 2.12 Υδρολιθολογικός χάρτης λεκάνης Μεσσαράς	36
Εικόνα 2.13 Γεωλογικός χάρτης φύλλο Τυμπάκιον σε κλίμακα 1:50.000 και η περιοχή δειγματοληψίας με μαύρα στίγματα ενός πλαισίου.	39
Εικόνα 2.14 Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη φύλλου Τυμπάκιον σε μεγένθυση της εικόνας 2.9.....	40
Εικόνα 2.15 Χάρτης της κεντρικής Κρήτης με τις περιοχές της Φανερωμένης και Άνω Ακριάς στις οποίες έχει μελετηθεί ο σχηματισμός Lago -Mare.....	44
Εικόνα 2.16 Στρωματογραφική στήλη της τομής Φανερωμένης	44
Εικόνα 2.17 Τεκτονικό όριο μεταξύ Μειοκαίνου (δεξιά) και Πλειοκαίνου (αριστερά) στην τομή Φανερωμένης	44
Εικόνα 3.1 Πορώδες δείγματος	46
Εικόνα 3.2 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 ρηγμάτωση	47
Εικόνα 3.3 Τύποι Πορώδους.....	50
Εικόνα 3.4 Διάταξη μέτρησης ολικού όγκου δείγματος με την μέθοδο των Hg.....	52

Εικόνα 3.5 Σχηματική απεικόνιση ισοθέρμου προσρόφησης αζώτου σε απλό πόρο. (N) είναι ο αριθμός προσροφημένων μορίων, (P^*) είναι η κρίσιμη πίεση και (P^0) είναι η πίεση κορεσμού.....	52
Εικόνα 3.6 Τεχνική Ακουστικής Διαγραφίας	55
Εικόνα 3.7 Η καμπύλη μιας διαγραφίας γάμμα παρουσιάζει αυξημένες τιμές όταν η οβίδα διέρχεται μπροστά από αργιλικούς σχηματισμούς και μικρότερες τιμές σε περίπτωση αμμωδών σχηματισμών.....	57
Εικόνα 3.8 Ροή ρευστών μέσω ενός πορώδους μέσου	59
Εικόνα 3.9 Σχηματική απεικόνιση εμπειρικού νόμου του Darcy	61
Εικόνα 4.1 Ποροσίμετρο και πειραματική διάταξη τύπου Boyle.....	64
Εικόνα 4.2 Εργαστηριακός πυρηνολήπτης δοκιμίων	66
Εικόνα 4.3 Εργαστηριακό δισκοπρίονο κοπής δοκιμίων πετρωμάτων	67
Εικόνα 4.4 Εργαστηριακός λειαντής.....	68
Εικόνα 4.5 : Διάγραμμα Πίεσης – Όγκου Στερεών Προτύπων	70
Εικόνα 4.6 : Πειραματική διάταξη Hassler. Πειραματική διάταξη μέτρησης διαπερατότητας, 1-Πάνελ ελέγχου, 2-Υποδοχέας δειγμάτων, 5-Φιάλη πεπιεσμένου αέρα, 6,7-Μανόμετρα, 8-Διακόπτης λειτουργία.....	70
Εικόνα 4.7 Διαπερατόμετρο	71
Εικόνα 5.1 Πραγματοποίηση της υγρής κοσκίνισης	75
Εικόνα 5.2 Πραγματοποίηση της ξηρής κοσκίνισης – Κοσκινιέρα.....	75
Εικόνα 5.3 : Αθροιστικές κοκκομετρικές αναλύσεις δειγμάτων	77
Εικόνα 5.4: Τριγωνικό Διάγραμμα λεπτόκοκκων ιζημάτων κατά Folk (1974)	80
Εικόνα 5.5 Τριγωνικό Διάγραμμα μεσόκοκκων ιζημάτων κατά Folk (1974).....	81

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, μιάς 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 παρ'όλα 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 (ΔH) μεταξύ δύο σημείων της διαδρομής του νερού **(από Στειακάκης, 2012)**. Θεωρώντας ένα συντελεστή k για να αποδώσει την αναλογία αυτή, διατύπωσε τη σχέση:

$$\diamond q = k \times A \times i = k \times A \times \left(\frac{\Delta H}{L}\right) \quad \text{(Εξίσωση 1.2)}$$

όπου,

q : ρυθμός ροής, m^3/s

k : υδραυλική αγωγιμότητα, m/s

$\Delta H/L = i$: υδραυλική βαθμίδα

ΔH : 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 ανα 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 διαφόρου τύπου περατομέτρων (εύκαμπτου (flexible wall) και άκαμπτου (rigid wall) τύπου) με διάφορες διατάξεις και τεχνικές είτε (δοκιμή πίπτοντος υδραυλικού φορτίου, σταθερού υδραυλικού φορτίου) είτε εκτιμούνται 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):

$$\diamond k = \frac{g}{v} \times 8.3 \times 10^{-3} \times \left[\frac{n^3}{(1-n)^2} \right] \times d_{10}^2 \text{ (Εξίσωση 1.1)}$$

όπου,

k : υδραυλική αγωγιμότητα, cm/s

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

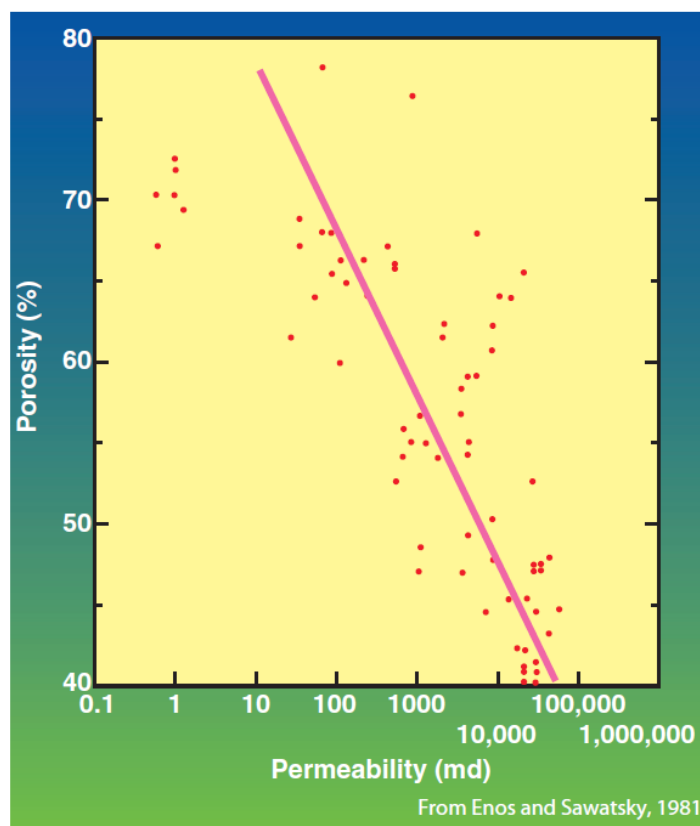
g : επιτάχυνση της βαρύτητας, cm/s²

v : κινηματικό ιξώδες νερού, 0.01 cm² /s

n : πορώδες, %

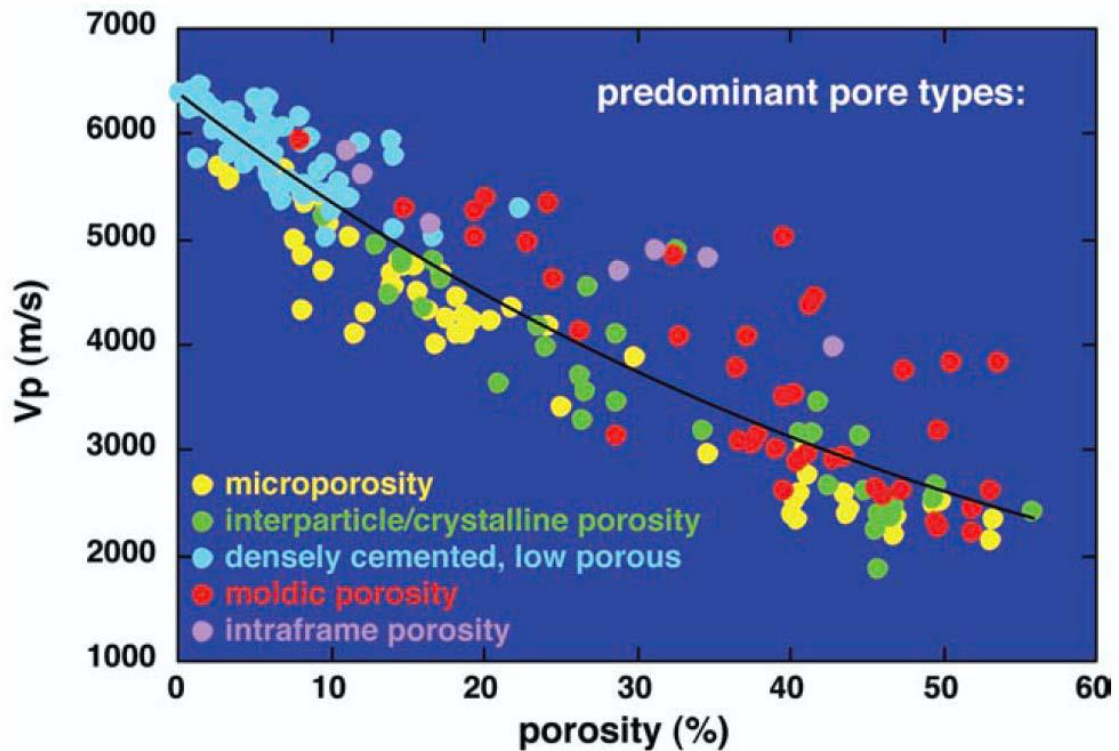
μια σχέση που απαιτεί προηγουμένως την μέτρηση του πορώδους.

Σε κάθε επιστιμονική περιοχή έχουν παγιωθεί μεθολογίες 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).



Εικόνα 1.1 Σχέση κατανομής πορώδους και διαπερατότητας σε ανθρακικά πετρώματα του Ολοκαίνου (από Moore & Wade, 2013).

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 ταμιευτήρα 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 (κατά Anselmetti and Eberli, 1993 από Baechle 2009).

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 (~30km²) 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

κή 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 κίνηση και η συσσώρευση του βιογενούς αερίου εντός των Νεογενών σχηματισμών σχετίζεται με την ύπαρξη πορώδους στα πετρώματα αυτά. Στόχος λοιπόν της εργασίας αυτής είναι η μέτρησης 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 στην περιοχή του φράγματος Φανερωμένης της Μεσσαράς. Στην τομή αυτήν πάνω από τους κλαστικούς σχηματισμούς της Ομάδας των Βρυσσών αναπτύσσονται ανθρακικής κυρίως σύστασης πετρώματα του σχηματισμού Lago Mare, που σηματοδοτεί την επίκλυση της θάλασσας μετά από το “Messinian event”. Σε παραπλήσιας κοκκομετρίας (ψαμμίτες) αλλά διαφορετικής λιθολογίας (πυριτιοκλαστικά και ανθρακικά) πετρώματα μετρήθηκαν και συγκρήθηκαν οι δύο πετροφυσικοί παράμετροι: το πορώδες και η διαπερατότητα.

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 δυτικό τμήμα της οποίας βρίσκεται και το φράγμα της Φανερωμένης στην ευρύτερη περιοχή του οποίου επικεντώθηκε η παρούσα εργασία [1].

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 km² ενώ ολόκληρη η λεκάνη της Μεσσαράς περίπου 1005 km². Ανήκει διοικητικά στην Περιφέρεια Κρήτης και πιο συγκεκριμένα στο Νομό Ηρακλείου ενώ βρίσκεται σε απόσταση 50km νότια από την πόλη του Ηρακλείου (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1 Γεωγραφικός χάρτης της Κρήτης και η θέση της λεκάνης της Μεσσαράς (από Κρινή, 2009)

Η λεκάνη της Μεσσαράς βρίσκεται γεωγραφικά μεταξύ 34°55' και 35°15' Βόρεια του Ισημερινού και 24°45' και 25°25' 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.

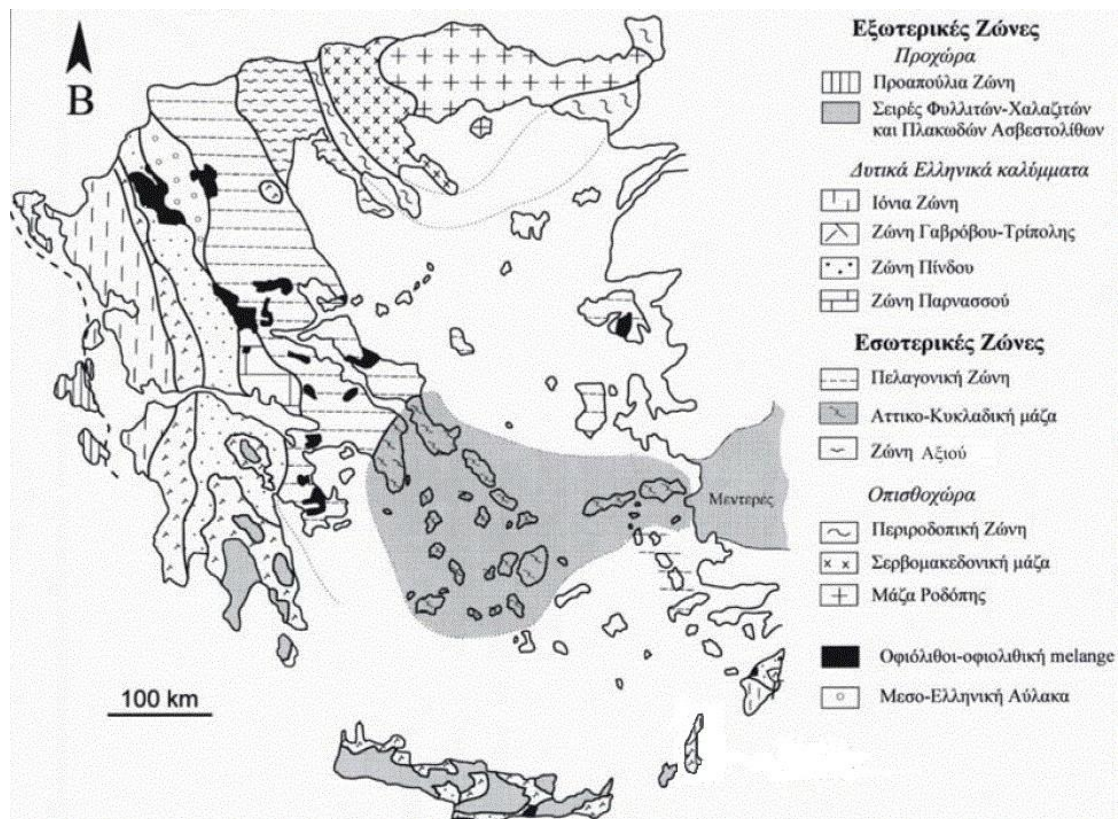
Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 445 m και η μέση κλίση 23,7%. Το ανάγλυφο είναι αρκετά έντονο με ήπιες έως μηδενικές κλίσεις στο πεδινό τμήμα της λεκάνης, έντονες κλίσεις στα πιο ορεινά τμήματα, όπως το βορειοδυτικό και το νότιο, και πολύ έντονες κλίσεις στο ανατολικό τμήμα. Από τη λεκάνη της Μεσσαράς 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.

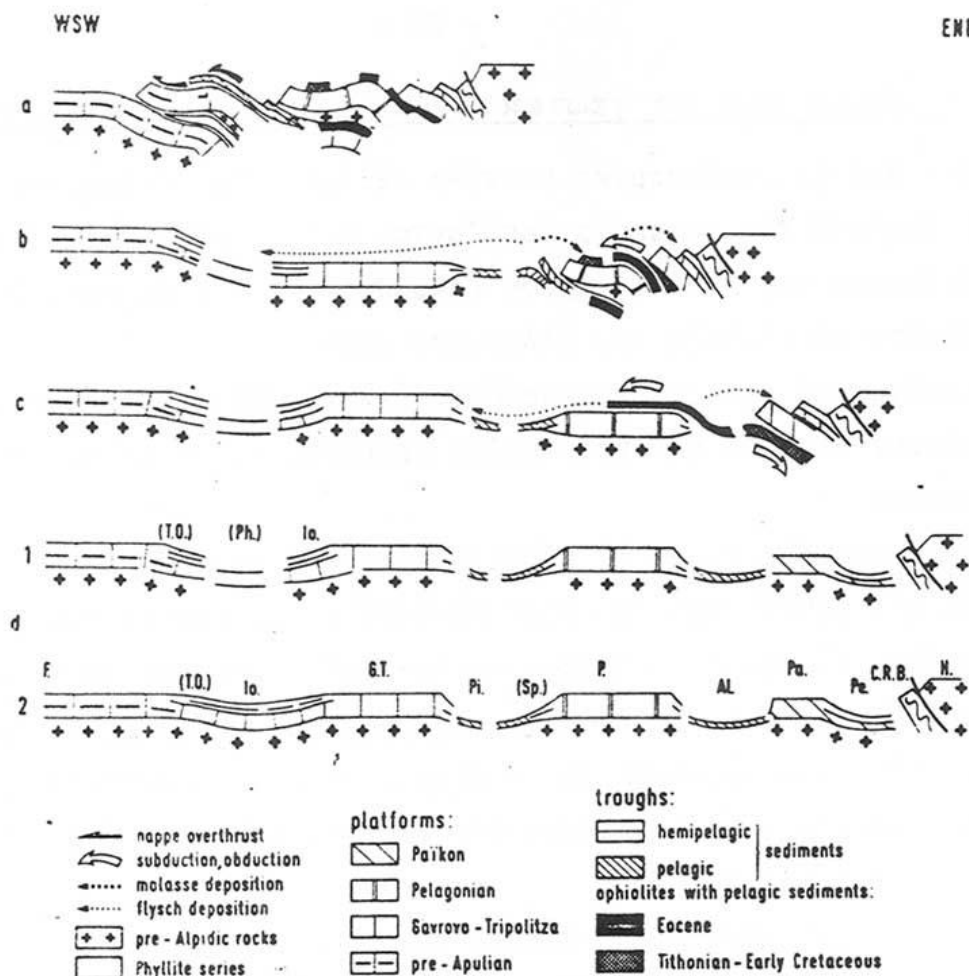
Οι γεωτεκτονικές ζώνες των Ελληνίδων αποτελούν παλαιογεωγραφικούς χώρους του «Παλαιωκεανού» της Τηθύος, μιας ωκεάνιας περιοχής στον ευρύτερο χώρο της υπερηπείρου της Παγγαίας, ενός ηπειρωτικού τεμάχους που δημιουργήθηκε κατά την Βαρίσκια Ορογένεση. Μέσα στο ωκεάνιο χώρο της Τηθύος η ανάπτυξη μιας μεσσωκεάνιας ράχης που λειτούργησε στο Λιάσιο-Δογγέριο του Ιουρασικού οδήγησε στην διάσπαση της Παγγαίας και στην δημιουργία δύο νέων ηπειρωτικών τεμαχών, της Λαυρασίας και της Γκοτθάνας 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 Ελλάδας (κατά Jacobshagen et al, 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»

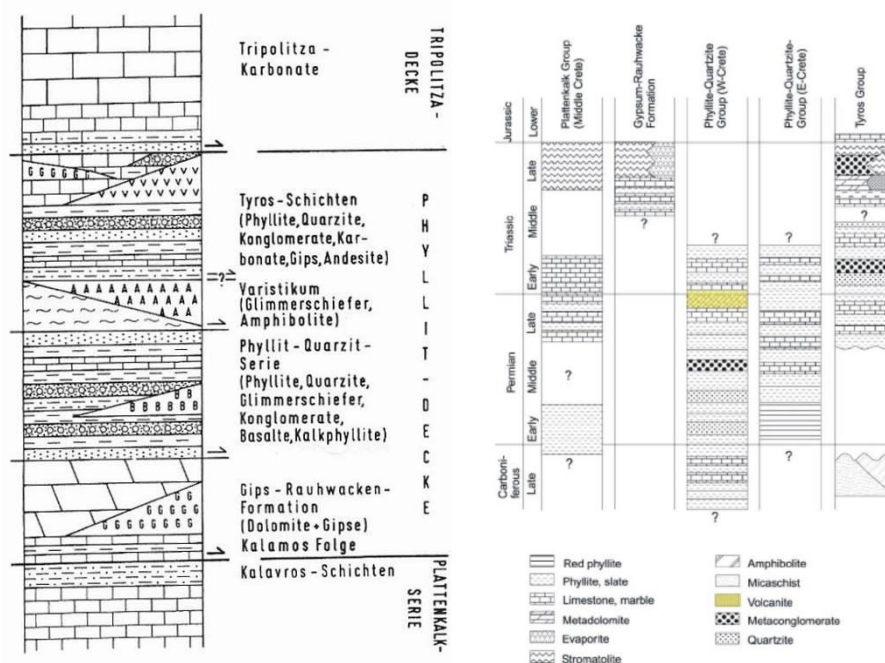
(Plattenkalk), Εικ. 2.3). Οι ωκεάνιες αυτές λεκάνες λειτούργησαν σταδιακά και έκλεισαν διαδοχικά από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά από το Μάλμιο μέχρι το Μειόκαινο προκαλώντας την μετακίνηση της τεκτονογένεσης προς τα Δυτικά επηρεάζοντας διαδοχικά τις Εσωτερικές και Εξωτερικές γεωτεκτονικές Ζώνες. Στο παλαιογεωγραφικό χώρο των εξωτερικών ζωνών των Εξωτερικών Ελληνίδων και ειδικότερα στις ζώνες Παξών 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 κατ'έξοχήν 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 - Ανω.Ηωκαίνου. Κλείσιμο του ωκεάνιου χώρου της ζώνης Αξιού. Επώθηση των οφειολίθων από τη ζώνη Αξιού πάνω στην Πελαγονική. Αρχή της ιζηματογένεσης του εξωτερικού φλύσχη. Απόθεση της μολάσσης στην Μεσοελληνική αύλακα και την "αύλακα Αξιού". γ) Περίοδος Ανωτέρου Ιουρασικού - Κατωτέρου Κρητιδικού. Βύθιση του ωκεανού της ζώνης Αξιού κάτω από την Περιροδοπική ζώνη και την Ελληνική Ενδοχώρα. Αρχική τεκτονική τοποθέτηση των οφειολίθων πάνω στην Πελαγονική και δ) Περίοδος Μέσου - Ανω Ιουρασικού. Αύλακες και υβώματα μετά την περιροδοπική ορογένεση. ΑΙ = Αλμωπίας, C.R.B. = Περιροδοπική, G.T. = Γαβρόβου-Τρίπολης, Η = Ενδοχώρα, Ιο = Ιόνιος, Ρ = Πελαγονική, Ρα = Πάικου, Ρε = Παιονίας, Ρη = λεκάνη φυλλιτών, Ρι = Πίνδου, Ρβ = Υποπελαγονική, Τ.Ο. = 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 (Μανούτσογλου 2008).



Εικόνα 2.4 Λιθολογική υποδιαίρεση του Φυλλιτικού καλύμματος κατά Dornsierep και Manutsoglu (1994) (αριστερα) και δεξιά σχηματικές συγκριτικές λιθοστρωματογραφικές στήλες των μεταμορφωμένων ενοτήτων των εξωτερικών Ελληνίδων (Dornsierep et al., 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 ινστιτούτων 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 αλληπαλλήλων 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.

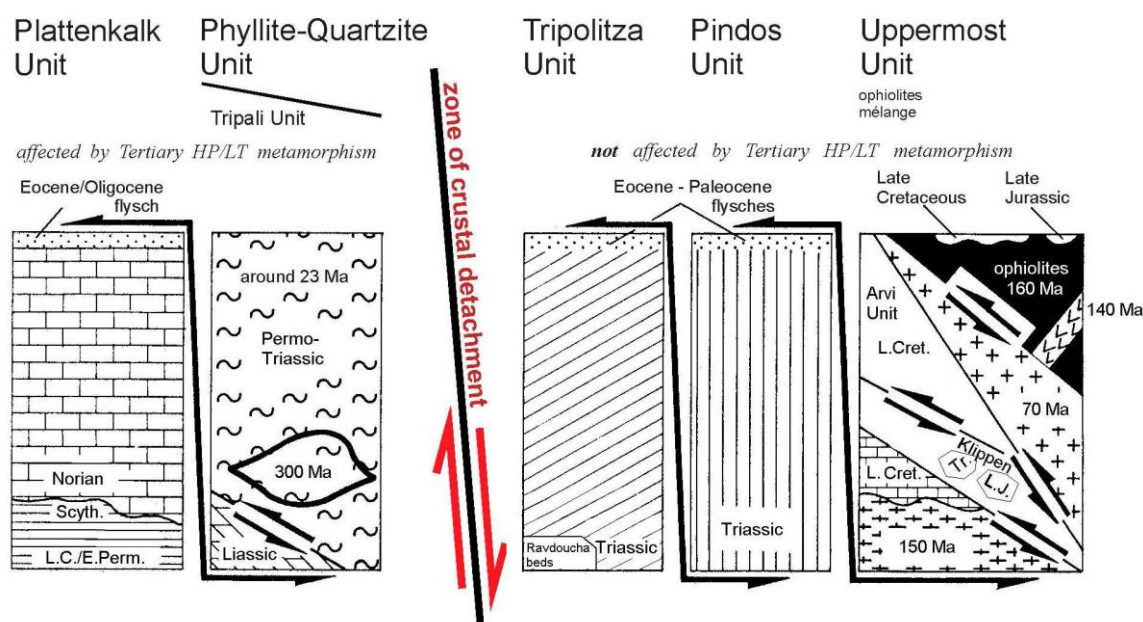
Γενικά, η Κρήτη συγκροτείται από την κατώτερη τεκτονική ενότητα η οποία αποτελείται από ένα αυτόχθονο έως παραυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων που περιλαμβάνει την μεταμορφωμένη Ομάδα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων (Plattenkalk) με ηλικία από το Άνω Πέρμιο έως το Ολιγόκαινο.

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 αλληπαλλήλα 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-ηφαιστίτων.



Εικόνα 2.6 Τεκτονική διάταξη των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων στην Κρήτη (τροποποιημένη 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 αλλόθθονα τεκτονικά λέπια 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 σερπεντινιωμένους περιδοτίτες, γάββρους, διορίτες, δολερίτες και διαβάσεις, ηλικίας Κατώτατου Ιουρασικού – Ανώτατου Κρητιδικού.
- Καλυμμα Αστερούσιων με μετα-ιλυολιθικούς, διμαρμαρυγιακούς, χλωριτικούς, επιδοιτικούς 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).

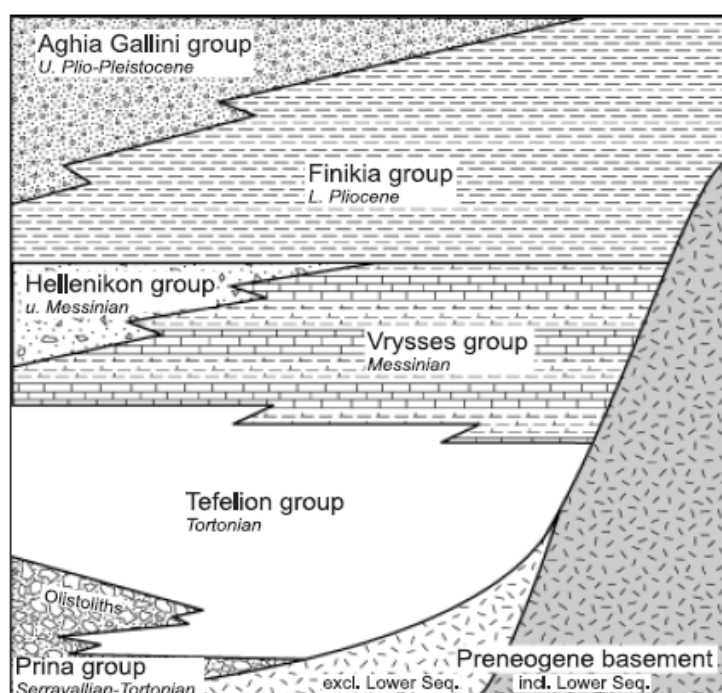
Τέλος, πάνω από τους αλπικούς σχηματισμούς βρίσκονται πετρώματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς τα οποία συνήθως έχουν κυμαινόμενο πάχος και εξάπλωση στις διάφορες περιοχές της Κρήτης. Τα πετρώματα αυτά σχετίζονται με τις μετεορεγενετικές διεργασίες που επέδρασαν στην περιοχή. Οι απόψεις για το είδος, 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 Β-Ν και Α-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 προνεογενές 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 προνεογενές υπόβαθρο (αδιαίρετο). Παρουσιάζεται η μεταξύ τους σχέση όσο αφορά τη κατακόρυφη και οριζόντια θέση αλλά και την στρωματογραφική εξέλιξή τους (κατά Meulenkamp, 1979).

Επάνω στους σχηματισμούς του Νεογενούς ή απευθείας στο προνεογενές 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).

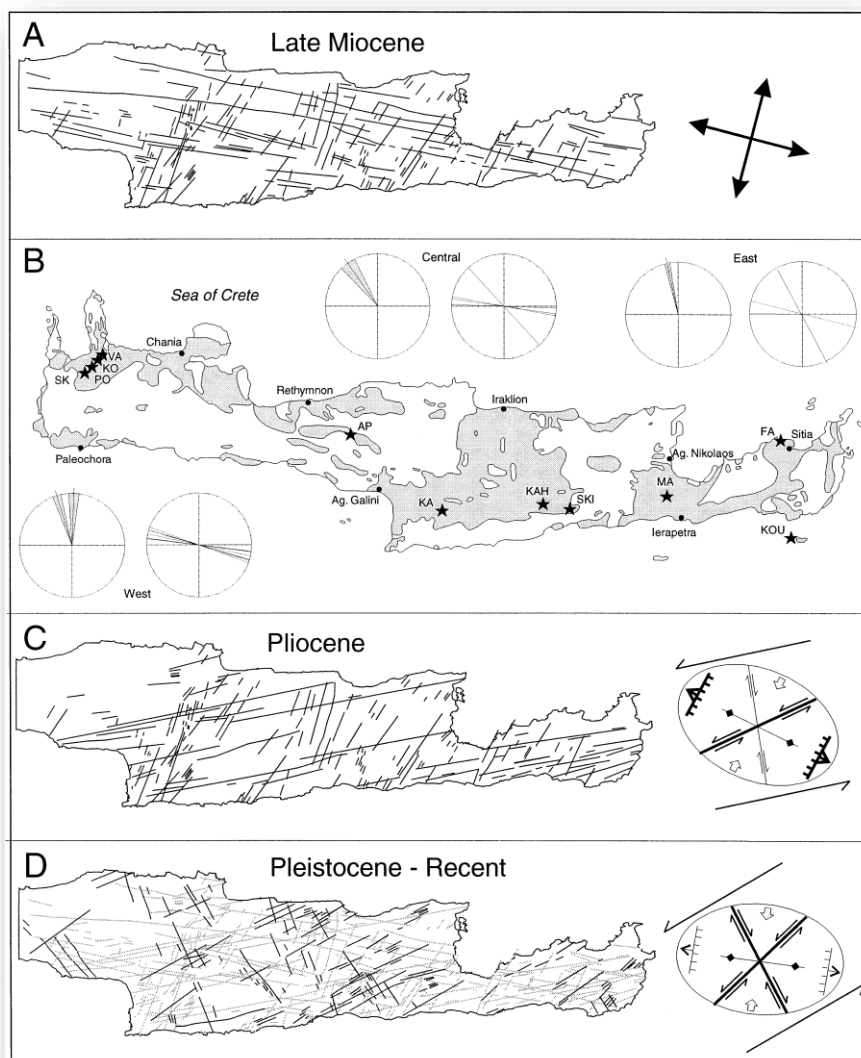
2.2.2 Απόψεις για την νεοτεκτονική εξέλιξη της Κρήτης

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 N-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).

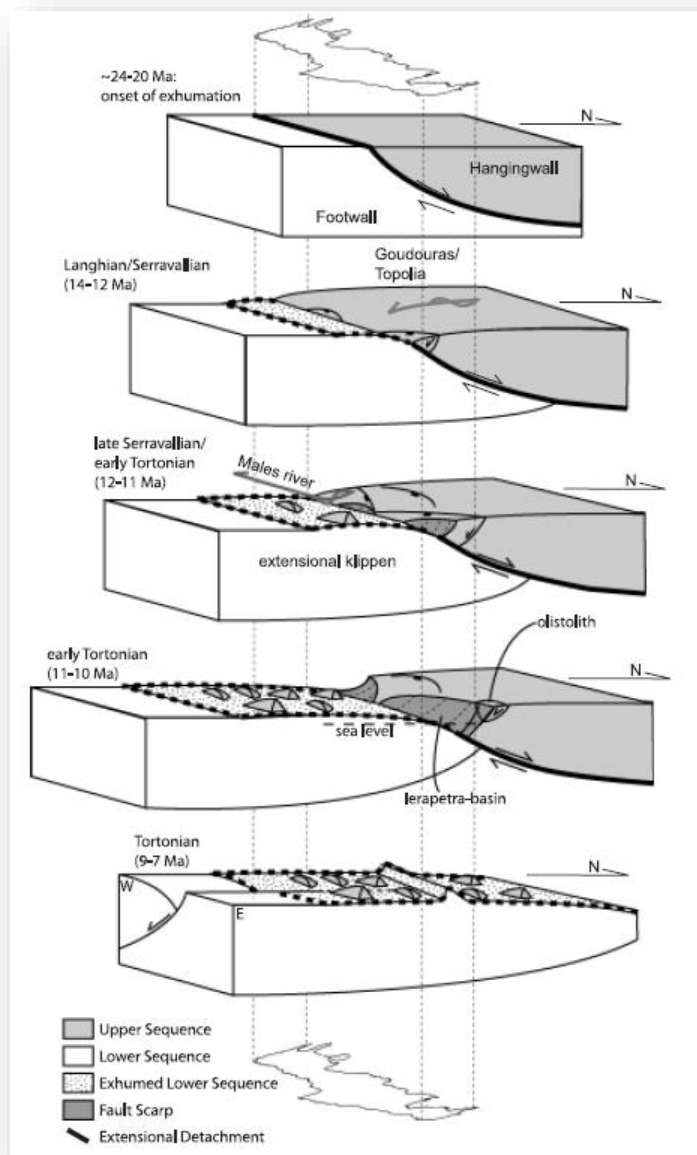
Οι ten Veen & Meijer (1998) περιγράφουν την ύπαρξη πέντε τεκτονικών σταδίων για την κεντρική και ανατολική Κρήτη (Εικόνα 2.8) τα οποία είναι τα εξής: 1) Πριν το Άνω Μειόκαινο (Άνω Σερραβάλλιο) η συμπίεση ήταν ο κυρίαρχος τύπος παραμόρφωσης σχηματίζοντας πτυχές διεύθυνσης B130A και B100A. 2) Στο Κατώτατο Τορτόνιο ένα σύστημα κανονικών ρηγμάτων διευθύνσεων B130E και B100E, παρουσιάζοντας ορθορομβική συμμετρία. 3) Το χρονικό διάστημα από Κάτω Τορτονίου έως το Κάτω Μεσσηνίο 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)

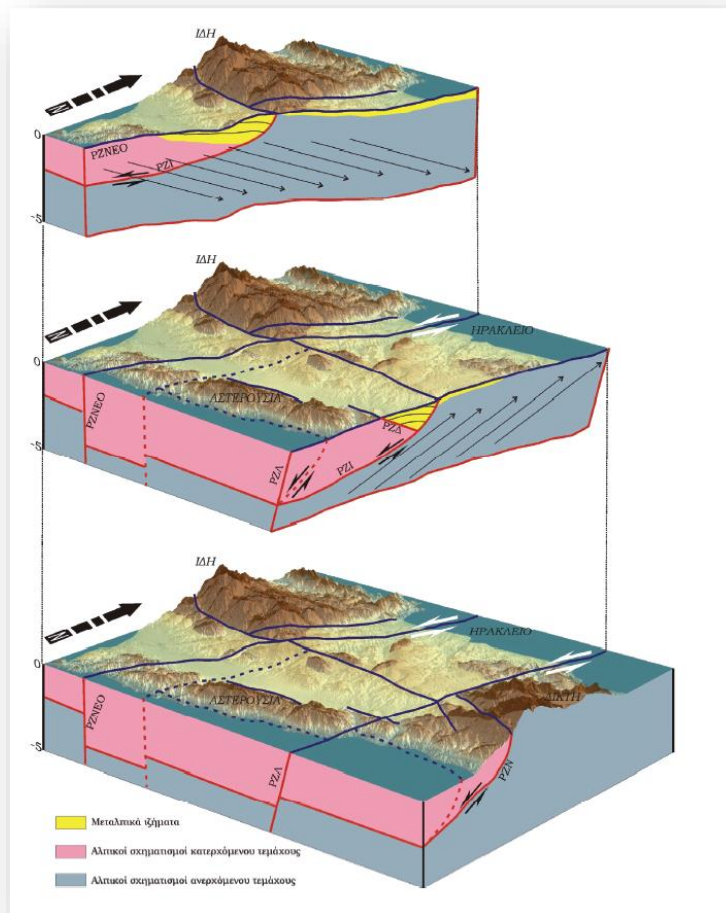
Κατά van Hinsbergen & Meulenkamp (2006) η νεοτεκτονική εξέλιξη της Κρήτης συνδέεται με μια ζώνη αποκόλλησης που επέτρεψε αφ' ενός την άνοδο των μεταμορφωμένων ενοτήτων της νήσου αλλά αφ' εταίρου την δημιουργία «τεκτονικών ρακών» και περιοχών ιζηματογένεσης μεταξύ αυτών, χώρων δηλαδή που πληρώθηκαν με 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

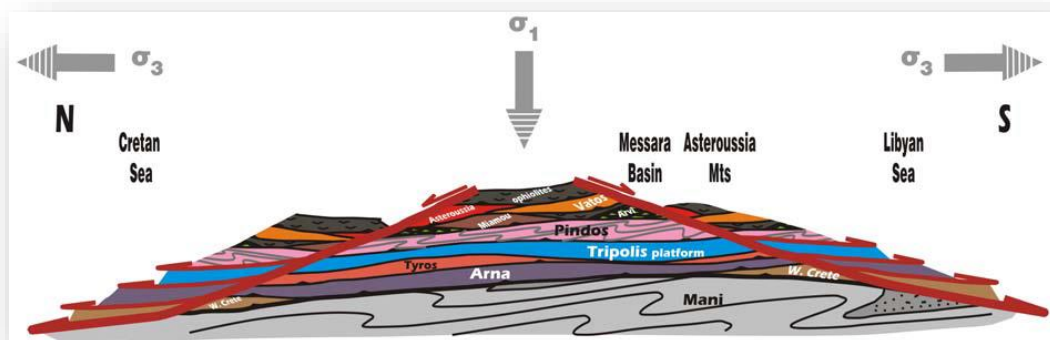
ταυτόχρονα σε όλη την περιοχή της λεκάνης με την ίδια ένταση. Ο βασικός παράγοντας που φαίνεται να επηρεάζει τη διεύθυνση της κύριας παραμόρφωσης σε κάθε περιοχή αφορά τη θέση του κάθε ρηξιτεμάχους ως προς τις τεκτονικές δομές που έχουν δημιουργηθεί λόγω της σχετικής κίνησης της μικροπλάκας του Αιγαίου 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 Paranikolaou & 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-Δ , 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).

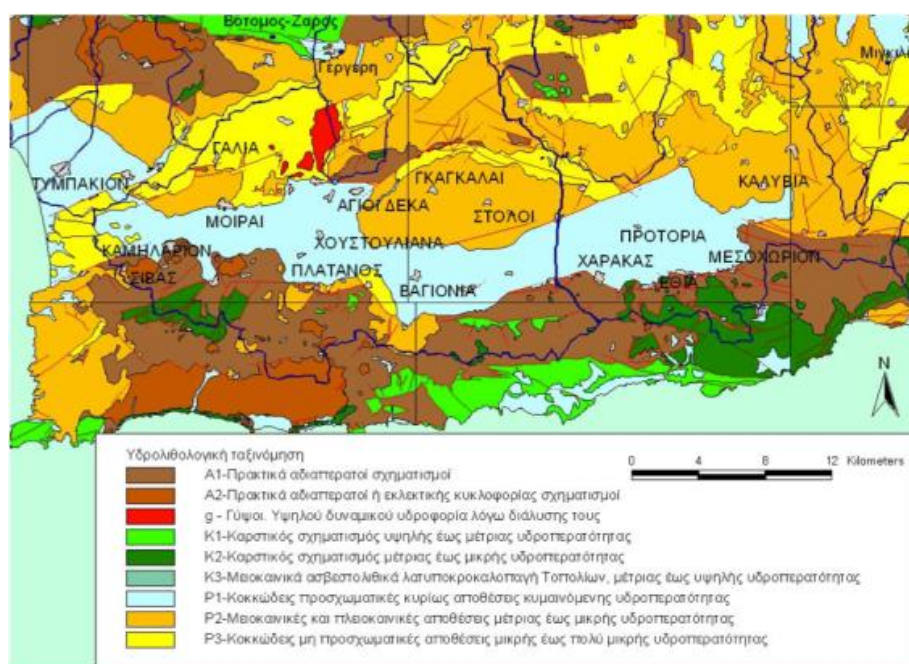
2.2.3 Υδρογεωλογικές συνθήκες λεκάνης Μεσσαράς

Με βάση την ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών της Κρήτης διακρίνουμε τις παρακάτω υδρολιθολογικές ενότητες στην περιοχή της λεκάνης της Μεσσαράς (Εικόνα 2.12).

✚ Καρστικοί σχηματισμοί οι οποίοι συνίστανται από τα ανθρακικά πετρώματα των ενοτήτων της Πίνδου, της Τρίπολης και της Αυτόχθονου σειράς και καταλαμβάνουν τα όρια της λεκάνης της Μεσσαράς. Βόρεια δομούν την οροσειρά της Ίδης και νότια την οροσειρά των Αστερουσίων ορέων όπου εκεί έχουμε μικρότερες εμφανίσεις. Μικρό ποσοστό του υπόγειου δυναμικού του καρστικού υδροφορέα της Ίδης απορρέει από τις πηγές Γέργερης με αποδέκτη την υδρολογική λεκάνη του Ληθαίου - Γεροποτάμου και από τις πηγές Ζαρού με αποδέκτη την υδρολογική λεκάνη του Τυμπακίου. Το μεγαλύτερο ποσοστό του υπόγειου δυναμικού του καρστικού συστήματος της Ίδης απορρέει βόρεια στην υφάλμυρη πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου. Οι καρστικές εμφανίσεις των

Αστερουσίων φιλοξενούν περιορισμένους υδροφόρους ορίζοντες με μικρό δυναμικό και το νερό τους χρησιμοποιείται κυρίως για την ύδρευση των οικισμών.

- ✚ Προσχωματικές αποθέσεις που καταλαμβάνουν το κεντρικό πεδινό τμήμα της λεκάνης της Μεσσαράς και αποτελούν το σημαντικότερο υδροφορέα της περιοχής. Συνίστανται από ποταμολιμναίες αλλουβιακές αποθέσεις. Επίσης συναντώνται μικρού πάχους και έκτασης αποθέσεις κατά μήκος των υδρορευμάτων.
- ✚ Πλειστοκαινικές αποθέσεις που καταλαμβάνουν σημαντική έκταση στο βόρειο τμήμα της πεδινής περιοχής.
- ✚ Νεογενείς σχηματισμοί που καταλαμβάνουν ένα μεγάλο τμήμα της περιοχής βόρεια των προσχωματικών - πλειστοκαινικών αποθέσεων και σχηματίζουν το λοφώδες ανάγλυφο.
- ✚ Οι σημαντικότεροι υδροφορείς της λεκάνης κατά σειρά δυναμικότητας είναι ο **Αλλουβιακός, ο Πλειστοκαινικός και ο Νεογενής**, ενώ στα περιθώρια της λεκάνης απαντούν ανθρακικοί σχηματισμοί που φιλοξενούν καρστικές υδροφορίες. Οι καρστικοί υδροφορείς των Αστερουσίων σχηματίζουν μικρές αποκομμένες λεκάνες λόγω έντονου τεκτονισμού. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι υδροφορείς της λεκάνης (Κριτσωτάκης 2009).



Εικόνα 2.12 Υδρολιθολογικός χάρτης λεκάνης Μεσσαράς (Περιφέρεια Κρήτης 2009).

Νεογενής υδροφορέας

Οι σχηματισμοί του Νεογενούς της λεκάνης της Μεσσαράς αποτελούν το υπόβαθρο των αποθέσεων του Τεταρτογενούς και χαρακτηρίζονται από πετρώματα διαφορετικής λιθοφάσης. Εντός του Νεογενούς έχουν μελετηθεί οι ρηξιγενείς ζώνες οι οποίες μετακίνησαν κατακόρυφα τα ρηξιτεμάχη και σχημάτισαν διάφορες μικρότερες σε μέγεθος υπολεκάνες μέσα στις οποίες εναποτέθηκαν τα ιζήματα του Τεταρτογενούς αλλά και αποτίθενται οι σύγχρονες αποθέσεις. Το μεγαλύτερο μέρος των σχηματισμών του Νεογενούς συνίσταται από εναλλαγές στρώσεων μεγάλου πάχους ιλυόλιθων, αργίλων και μαργών. **Επίσης απαντούν και ενστρώσεις μικρότερου πάχους αποτελούμενες από άμμο, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και μαργαϊκούς ασβεστολίθους, που εμφανίζουν μικρό υδρογεωλογικό ενδιαφέρον καθώς φιλοξενούν ασθενείς υδροφορίες υπό πίεση.**

2.3 Γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης

Η λεκάνη της Μεσσαράς εκτείνεται κατά διεύθυνση Α - Δ και αποτελεί το νότιο τμήμα της λεκάνης του Ηρακλείου. Αποτελεί μία τεκτονική τάφρο που ορίζεται από τις ρηξιγενείς ζώνες Μαλεβυζίου, Καμαρών, Γέργερης (δυτικά) από τα ρήγματα Καστελίου, Χερσονήσου, Ξενιάκου (ανατολικά) και των Αστερουσίων ορέων (νότια).

Η λεκάνη διακρίνεται σε δυο (2) επιμέρους τεκτονικές ενότητες: Στην πρώτη περιλαμβάνονται οι σχηματισμοί του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς και στη δεύτερη ανήκουν οι προνεογενείς σχηματισμοί των οροσειρών του Ψηλορείτη, της Δίκτης και των Αστερουσίων ορέων, οι όποιες καταλαμβάνουν τα όρια και οριοθετούν την λεκάνη.

Στο υπόμνημα: με ανοικτό κίτρινο χρώμα οι αποθέσεις του Ολόκαινου – Ανώτερου Πλειστόκαινου, με κίτρινο οι αποθέσεις του Κατώτερου Πλειστόκαινου – Μέσο Νεογενούς και με γκρι οι προνεογενείς αποθέσεις.

Στη γεωλογική δομή της λεκάνης της Μεσσαράς συμμετέχουν από τις νεότερες προς τις παλαιότερες οι παρακάτω στρωματογραφικές και τεκτονικές ενότητες σχηματισμών:

Ολόκαινο: αλλουβιακές αποθέσεις, που αποτελούν προϊόντα αποσάθρωσης και καλύπτουν μικρές εσωτερικές λεκάνες καθώς και τις κοίτες των υδρορεμάτων (χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, ερυθρογή με κροκαλολατύπες) και *κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα*, που αναπτύσσονται κυρίως στις παρυφές των Αστερουσίων (κυρίως ανθρακικής σύστασης λατύπες, αναμεμιγμένες με ερυθρογή).

Πλειστόκαινο - Ολόκαινο: ποταμολιμναία κροκαλοπαγή, άμμοι, ιλυόλιθοι και αργιλικά στρώματα αποτελούμενα κυρίως από μεταφερμένα υλικά του σχηματισμού Αγ. Γαλήνη. Καλύπτουν το κεντρικό πεδινό τμήμα της λεκάνης.

Ανώτερο Πλειόκαινο - Πλειστόκαινο: σχηματισμός Αγ. Γαλήνη (ποτάμια και λιμναία ερυθρά κροκαλοπαγή, ερυθρές και κίτρινες άμμοι, ιλυόλιθοι, άργιλοι, με παρεμβολές λιμναίων μαργαϊκών ασβεστόλιθων)

Νεογενές

Κατώτερο Πλειόκαινο: σχηματισμός Φοινικιάς (κυρίως λευκές μάργες, με παρεμβολές αργίλων και άμμων, άργιλοι, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και κροκαλοπαγή).

Ανώτερο Τορτόνιο – Μεσσήνιο: σχηματισμός Αγ. Βαρβάρας (βιοκλαστικοί, τοπικά κροκαλοπαγείς ή λατυποπαγείς, ασβεστόλιθοι, ολισθημένοι, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και εναλλαγές ασβεστιτικών μαργών ή μαργαϊκών ασβεστολίθων με παρεμβολές γύψων. Στο ανώτερο τμήμα του σχηματισμού απαντούν ασβεστολιθικοί ψαμμίτες και κροκαλοπαγή).

Τορτόνιο: σχηματισμός Αμπελούζου (ακανόνιστες εναλλαγές από θαλάσσια υφάλμυρα και ποτάμια κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ιλυόλιθους, μάργες, ιλυώδεις άργιλους και λιγνίτες).

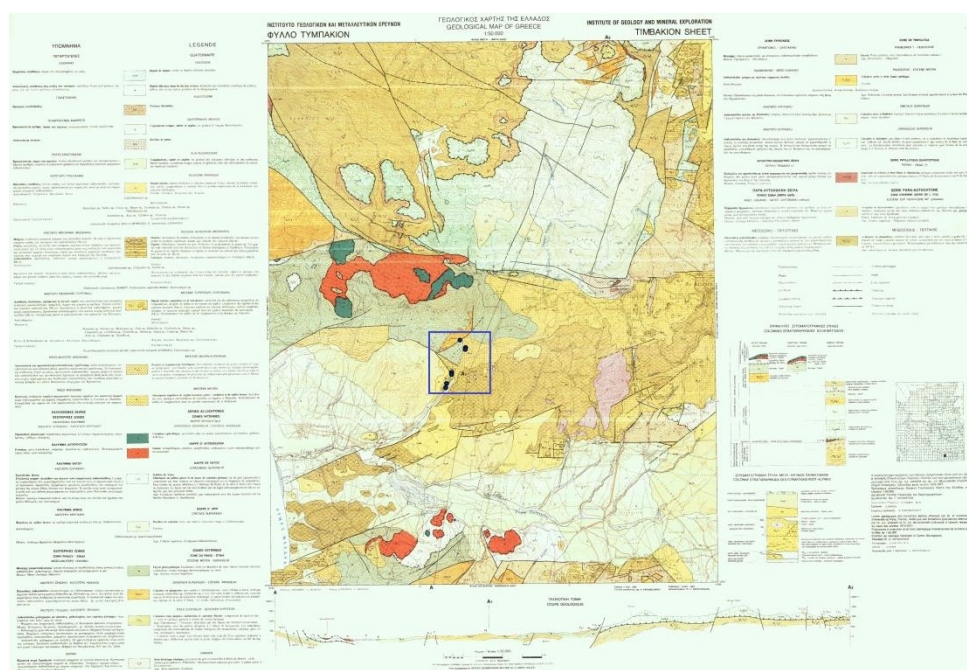
Ανώτερο Σερραβάλιο: σχηματισμός Σκοινιά (καλά στρωμένες θαλάσσιες άργιλοι και ιλυώδεις άργιλοι με παρεμβολές ψαμμιτών).

Μέσο Μειόκαινο: σχηματισμός Βιάννου (ποταμολιμναίες σκούρες στρωματώδεις άργιλοι και ιλυώδεις άργιλοι, με ενδιαστρώσεις ασβεστόλιθων και ψαμμιτών. Παρεμβολές κροκαλοπαγών κυρίως στα κατώτερα τμήματα του σχηματισμού).

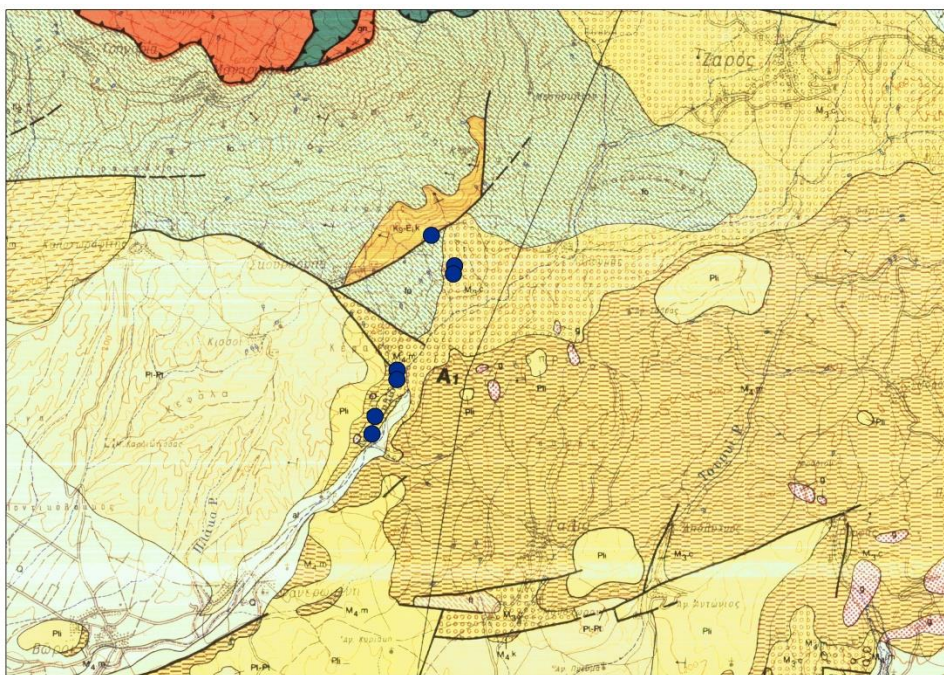
Προνεογενείς σχηματισμοί

Νότιο τμήμα: τα Αστερούσια όρη συνίσταται από Μεσοζωικά πετρώματα με βασικούς σχηματισμούς το φλύσχη και τα ανθρακικά της ζώνης Τρίπολης. Επιπλέον υπάρχουν μερικές επιφανειακές εμφανίσεις έντονα ρηγματωμένων και ελαφρώς καρστικοποιημένων ασβεστόλιθων της ζώνης Πίνδου. Στα μεγαλύτερα υψόμετρα απαντώνται πετρώματα των εσωτερικών ζωνών.

ΒΔ τμήμα: το όρος Ψηλορείτης συνίσταται από μεσοζωικά πετρώματα της ενότητας της Τρίπολης (ασβεστόλιθοι, φλύσχη), πετρώματα της ενότητας Φυλλιτών – χαλαζιτών και πετρώματα της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστολίθων.



Εικόνα 2.13 Γεωλογικός χάρτης φύλλο Τυμπάκιον σε κλίμακα 1:50.000 και η περιοχή δειγματοληψίας με μαύρα στίγματα ενός πλαισίου.



Εικόνα 2.14 Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη φύλλου Τυμπάκιον σε μεγένθυση της εικόνας 2.9

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με επανειλημμένες επισκέψεις στην ύπαιθρο το καλοκαίρι του 2015 κατά μήκος του επαρχιακού δρόμου δυτικά του φράγματος της Φανερωμένης. Αν και στο γεωλογικό χάρτη η πρώτη θέση τοποθετείται σε φλύσχη όπως φαίνεται και από την φωτογραφική αποτύπωση (παράρτημα φωτο) η τομή ξεκινάει με εναλλαγές μαργών, ψαμμιτικών πάγκων και κροκαλοπαγών του Τορτονίου που προσομοιάζουν λιθοφασικά τον Σχηματισμό Αμπελούζου με γενικές κλίσεις στρωμάτων προς τα ΒΔ. Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη νοτιότερα εμφανίζονται στρώματα του Μεσσηνίου. Κατά τη διάρκεια του Μεσσηνίου, συνέβησαν πολλά γεγονότα ιζηματογένεσης στη λεκάνη της Μεσογείου. Ένα από τα πιο γνωστά εξ' αυτών είναι η λεγόμενη κρίση αλμυρότητας του Μεσσηνίου γεγονός που οδήγησε στην απόθεση εβαποριτών, με μαζικές στρώσεις αλατιού και γύψου (Πρώιμοι εβαπορίτες), σε ολόκληρη τη λεκάνη της Μεσογείου. Πάνω από τους πρωταρχικούς εβαπορίτες, εναποτίθενται επαναϊζηματοποιημένοι γύψοι ως γύψο-αρενίτες και γύψο ρουδίτες με υποδεέστερες πρωτογενείς εναποθέσεις γύψου (Ανώτεροι εβαπορίτες) που σηματοδοτούν την αρχή της μεταεβαποριτικής περιόδου του Μεσσηνίου. Αυτές οι ακολουθίες στην ευρύτερη περιοχή εμφανίζονται περίξ του χωριού Πλουτή. Σε ολόκληρη τη λεκάνη της Μεσογείου, η

στρωματογραφία του Μεσσηνίου κατά το μετά-εβαποριτικό χρονικό διάστημα χαρακτηρίζεται από την παρουσία γνωστών βιοφάσεων του Lago-Mare (Εικ. 2.15, 16, 17).

Αντί τυπικών αποθέσεων του Μεσσηνίου στο μέσον περίπου της γεωλογικής τομής στην θέση της στέψης του φράγματος οι πυριτικοκλαστικές αποθέσεις (μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή φαιού χρώματος) μεταβαίνουν σε αποθέσεις του Ανώτερου Μεσσήνιο έχουν βρεθεί πρόσφατα μετάεβαποριτικές αποθέσεις που χαρακτηρίστηκαν τύπου Lago Mare. Παρόμοιες αποθέσεις μελετήθηκαν και στην περιοχή της Άνω Ακριάς (Εικ. 1). Και στις δύο αυτές περιοχές, οι μεταεβαποριτικές αποθέσεις σαφώς υπέρκεινται των στρώσεων γύψου, που αποτελούνται κυρίως από γύψο-αρενίτες και γύψο-ρουδίτες (παράθεση βιβλιογραφίας). Και σε αυτή την μελέτη παρατίθεται ότι στις δύο αυτές γεωλογικές τομές δεν εμφανίζονται οι τυπικοί εβαπορίτες του Μεσσηνίου καθώς επίσης ότι τα εβαποριτικά και μεταεβαποριτικά όρια δεν είναι σαφώς ορισμένα. Στην τομή της Φανερωμένης είναι σαφές το όριο Μειόκαινου/Πλειόκαινου. Οι εναπόθεσεις (προ-εβαποριτικό στάδιο) κατά το κατώτερο Μεσσήνιο χαρακτηρίζονται από καφετί ελασματοποιημένες μάργες με οριζόντιες ενστρώσεις που εναλλάσσονται με μάργες πλούσιες σε βενθονικά τρηματοφόρα, μαλάκια και οστρακοειδή. Οι μεταεβαποριτικές αποθέσεις βρίσκονται σε τεκτονική επαφή με τις μάργες του κατώτερου Μεσσηνίου. Πάνω από το κατώτερο όριο της ζώνης-κατακερματισμού (που βρίσκεται ακριβώς απέναντι από την θέση της στέψης του φράγματος, βρίσκονται μετα-εβαποριτικές χονδρόκοκκες αποθέσεις του κατώτερου Πλειοκαίνου οι οποίες αποτελούνται από εναλλαγές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και ιλυολίθων. Οι εναλλαγές αυτές προτείνεται ότι έχουν παραχθεί από μια διαβρωτική φάση η οποία επηρέασε κατά το κατώτερο Πλειόκαινο την κεντρική Κρήτη ως αποτέλεσμα της τεκτονικής ανύψωσης, υπεύθυνη για τη γωνιώδη ασυμφωνία και για το διαχωρισμό της κεντρικής λεκάνης του Ηρακλείου με την κρίση αλμυρότητας του Μεσσηνίου και των εναποθέσεων κατά το κατώτερο Πλειόκαινο (Cosentino et al., 2007).

Από τα τριάντα οχτώ δείγματα που συλλέχθηκαν για ανάλυση τα πρώτα 18 πάρθηκαν από πετρώματα που αποτέθηκαν κατά το Τορτόνιο και Μεσσήνιο σε ένα

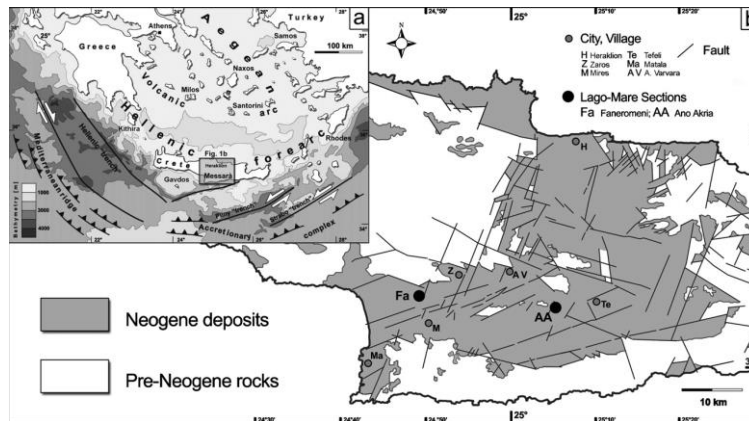
εναλλασσόμενο αποθετικό περιβάλλον ενώ τα υπόλοιπα είναι δείγματα που αποτέθηκαν σε παρόμοιο αποθετικό περιβάλλον. Η πρώτη ομάδα δειγμάτων αποτελείται από πυριτικοκλαστικά (siliciclastics) ενώ η δεύτερη ομάδα προέρχεται από ιζήματα ανθρακικής κλαστικής ιζηματογένεσης (ασβεστοαρενίτες και ασβεστολουτίτες). Επειδή υπάρχει μεγάλο κοκκομετρικό εύρος αρχικών ιζημάτων και στις δύο ομάδες η δειγματοληψία έγινε μόνο από πάγκους ψαμμιτών πάχους 0,5 – 1,0 μέτρου για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα που θα προκύψουν. Όπως φαίνεται και από την σύγκριση των φωτογραφιών των δύο ομάδων έντονη λιθολογική διαφορά των δύο ομάδων αντικατοπτρίζεται και χρωματικά. Η επιλογή αυτή έγινε γιατί σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία πέραν της πολυπαραμετρικής επίδρασης για την εξέλιξη του πορώδους και αντίστοιχα της διαπερατότητας γεωλογικών σχηματισμών έχει παρατηρηθεί ότι αυτοί οι δύο παράμετροι εμφανίζουν διαφορετική εξέλιξη μεταξύ ανθρακικών και μη ανθρακικών πετρωμάτων. (Πίνακα 2b Σύγκριση Πορώδους σε Ψαμμίτες και ανθρακικά Πετρώματα)

Πίνακας 2.α Συντεταγμένες θέσεων του πεδίου δειγματοληψίας

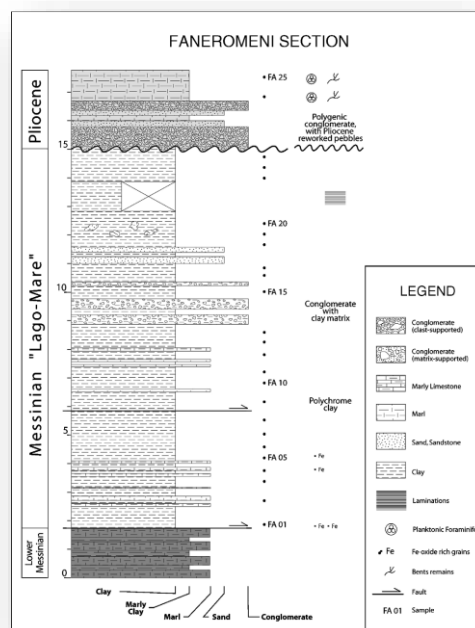
Θέση	X	Y	Ορθομετρικό υψόμετρο
			H (m)
1	578867	3885451	261
2	578148	3885077	210
3	578136	3884978	202
4	577447	3883801	175
5	577444	3883684	167
6	577256	3883371	142
7	577177	3883234	119

Πίνακας 2.β Σύγκριση Πορώδους σε ψαμμίτες και ανθρακικά πετρώματα (Moore & Wade 2013)

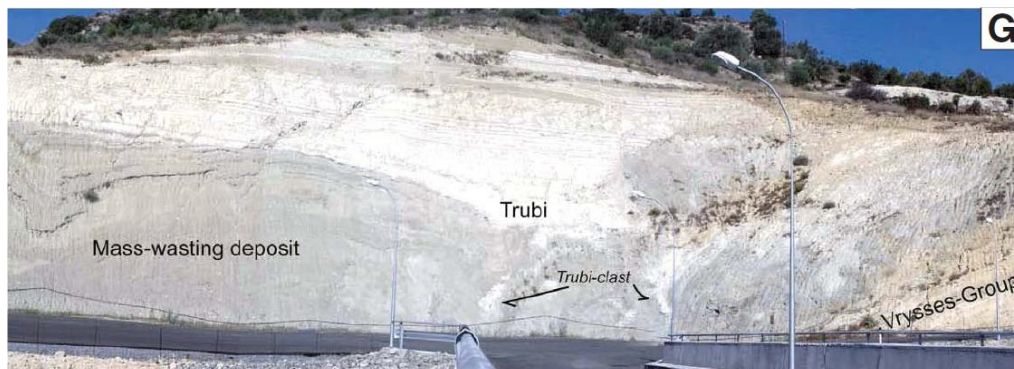
Απόψεις	Ψαμμίτης	Ανθρακικά
Ποσοστό πρωτογενούς πορώδους σε ιζήματα	Συνήθως 25 – 40%	Συνήθως 40 -70%
Ποσοστό πορώδους σε πετρώματα	Συνήθως περισσότερο από το μισό του αρχικού πορώδους, συνήθως 15 -30 %	Συνήθως καθόλου ή ένα μικρό μέρος του αρχικού πορώδους, συνήθως 5-15 % στον ταμιευτήρα.
Τύποι πρωτογενούς πορώδους	Σχεδόν εξ'ολοκλήρου μεσοκοκκώδες	Στα μεσοκοκκώδη συνήθως υπερισχύει αν και άλλοι τύποι είναι σημαντικοί.
Τύποι πορώδους	Σχεδόν αποκλειστικά μεσοκοκκώδες	Ευρέως διαφοροποιημένη εξαιτίας των μεταποθετικών αλλαγών.
Μέγεθος των πόρων	Το διαμετρικό μέγεθος του ανοίγματος σχετίζεται με το μέγεθος και την ταξινόμηση των κόκκων στα ιζηματογενή πετρώματα.	Το διαμετρικό μέγεθος του ανοίγματος συνήθως έχει μικρή συσχέτιση με το μέγεθος ή την ταξινόμηση των κόκκων στα ιζηματογενή πετρώματα.
Σχήμα των πόρων	Ισχυρή εξάρτηση στο σχήμα των σωματιδίων	Ποικίλει θετικά ή αρνητικά για κόκκους ολικού σχηματισμού σχήματος αποθετικών και διαγενετικών συστατικών
Ομοιομορφία μεγέθους, σχήματος, και κατανομής	Ελαφρώς ομοιομορφος μέσα σε ομογενές μέσο	Μεταβαλλόμενη, ποικίλει από ελαφρώς ομοιομορφη σε εξαιρετικά μη ομογενές μέσο
Επίδραση της Διαγένεσης	Ελάσσοнос σημασίας: συνήθως μικρού εύρους μείωση του αρχικού πορώδους μέσω συμπαγοποίησης και τσιμεντοποίησης.	Κύριας σημασίας: μπορεί να δημιουργήσει, να καταστρέψει ή ολοκληρωτικά να μεταβάλλει το πορώδες, με την τσιμεντοποίηση και την διάλυση.
Επίδραση της Ρηγμάτωσης	Γενικά όχι μεγάλης σημασίας για ιδιότητες του ταμιευτήρα.	Βασικής σημασίας σε ταμιευτήρες
Οπτική εκτίμηση του πορώδους και της διαπερατότητας	Ημιποσοτικές οπτικές μέθοδοι συνήθως έχουν σχετικά εύκολη εκτίμηση.	Μεταβαλλόμενες οπτικές μέθοδοι εκτιμώνται από εύκολα σε οπτικώς αδύνατα. Συνήθως χρειάζονται εργαλεία μέτρησης του πορώδους, της διαπερατότητας και της τριχοειδούς πίεσης.
Καταλληλότητα πυρηνοληψίας για αξιολόγηση ταμιευτήρα	Πυρήνες με 1-in διάμετρο είναι επαρκείς για 'matrix' πορώδες	Πυρήνες μη επαρκείς (3 in διάμετρο) για μεγάλους πόρους.
Αλληλοσχέτιση Πορώδους Διαπερατότητας	Συνήθως εξαρτάται από την ταξιθέτηση και το μέγεθος των κόκκων	Συνήθως ανεξάρτητη του μεγέθους και της ταξιθέτησης των κόκκων.



Εικόνα 2.15 Χάρτης της κεντρικής Κρήτης με τις περιοχές της Φανερωμένης και Άνω Ακριάς στις οποίες έχει μελετηθεί ο σχηματισμός Lago -Mare (Cosentino et al., 2007).



Εικόνα 2.16 Στρωματογραφική στήλη της τομής Φανερωμένης (Cosentino et al., 2007)



Εικόνα 2.17 Τεκτονικό όριο μεταξύ Μειοκαινού (δεξιά) και Πλειοκαινού (αριστερά) στην τομή Φανερωμένης (Zachariasse et al., 2008)

3 Πορώδες - Διαπερατότητα

3.1 Εισαγωγή

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα και την οικονομική αξιοποίηση ενός κοιτάσματος, είναι το πορώδες και η διαπερατότητα, δύο πολύ σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία και θα αναλυθούν εκτενώς στο παρακάτω κείμενο.

3.1.1 Πορώδες

Οποιοδήποτε πέτρωμα έχει τις ιδιότητες του πορώδους και της διαπερατότητας μπορεί να χαρακτηριστεί ως πέτρωμα-ταμειυτήρας. Η πιο γνωστή μακροσκοπική ιδιότητα ενός πορώδους μέσου είναι το πορώδες το οποίο ορίζεται σαν ο λόγος του όγκου του κενού χώρου, προς τον ολικό όγκο ενός δείγματος του πορώδους μέσου *(από Τσακίρογλου, 1990)*

$$\diamond \text{ Ολικό ή απόλυτο πορώδες (Pt)} = \frac{\text{Ολικός όγκος πόρων}}{\text{Ολικός όγκος πετρώματος}} \times 100 \text{ (εξίσωση 3.1)}$$

- Ο όγκος των πόρων του (PV)
- Ο όγκος των στερεών κόκκων που το αποτελούν (GV)
- Ο ολικός όγκος του δείγματος (BV)

Για να υπολογισθεί το πορώδες ενός πετρώματος πρέπει να είναι γνωστά δύο από τα παραπάνω μεγέθη.

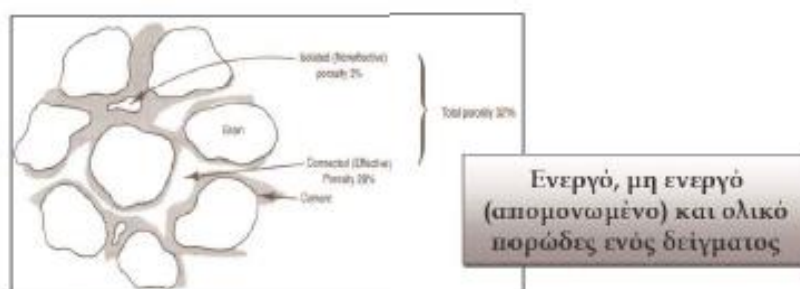
Πιο αναλυτικά, το απόλυτο ή ολικό πορώδες περιλαμβάνει το σύνολο των κενών χώρων (πόρων) του πετρώματος, δηλαδή τους πόρους που επικοινωνούν μεταξύ τους αλλά και τους απομονωμένους πόρους, οι οποίοι δεν συνδέονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η ροή ενός ρευστού μέσα από αυτούς. Αντίθετα, το αλληλοσυνδεόμενο ή ενεργό πορώδες αναφέρεται μόνο στους πόρους που συνδέονται μεταξύ τους, γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα σημαντικό φυσικό χαρακτηριστικό του πετρώματος, αφού ουσιαστικά είναι το μόνο μέγεθος που συμβάλει στην ανάκτηση του δυναμικού του. *(από Κατή, 1999)*

$$\diamond \text{ Ενεργό πορώδες (Pe)} = \frac{\text{Όγκος πόρων που επικοινωνούν μεταξύ τους}}{\text{ολικός όγκος πετρώματος}} \times 100 \text{ (εξίσωση 3.2)}$$

Το ενεργό πορώδες είναι η αναλογία όλων των αλληλοσυνδεόμενων πόρων ή κενών μιας μονάδας πετρώματος προς τον ολικό εξωτερικό όγκο του πετρώματος, επίσης εκφρασμένο επί τοις % . Είναι φανερό ότι η διαφορά μεταξύ ολικού και ενεργού πορώδους έγκειται στην ενεργοποίηση και αλληλοσύνδεση των πόρων ή των κενών του πετρώματος **(από Σταματάκη, 2005)**

Οι τιμές του πορώδους που χαρακτηρίζουν ένα ταμιευτήρα:

- Χαμηλό πορώδες: $\phi < 5 \%$
- Μέτριο πορώδες: $5 \% < \phi < 10 \%$
- Μέσο πορώδες: $10 \% < \phi < 20 \%$
- Καλό πορώδες: $20 \% < \phi < 30 \%$
- Πολύ καλό Πορώδες: $\phi > 30 \%$



Εικόνα 3.1 Πορώδες δείγματος (από Θεοχάρης, 2014)

Το πορώδες των στερεοποιημένων υλικών εξαρτάται κυρίως από τον βαθμό ενοποίησης που έχουν υποστεί ενώ το πορώδες των μη στερεοποιημένων υλικών εξαρτάται από το σχήμα, τον τρόπο διάταξης και την κατανομή μεγέθους των κόκκων (από Τσακίρογλου, 1990). Καλά ταξινομημένοι κόκκοι (όλοι δηλαδή του ίδιου περίπου μεγέθους) παρουσιάζουν μεγαλύτερο πορώδες από τους φτωχά ταξινομημένους κόκκους, όπου κόκκοι μικρότερων μεγεθών γεμίζουν τους χώρους μεταξύ των μεγαλύτερων κόκκων και αν και αποτελούν ένα σχετικά μικρό ποσοστό του ολικού όγκου του πετρώματος, μειώνουν το πορώδες και την υδραυλική αγωγιμότητα **(από Μπακόπουλος, 2006.)**

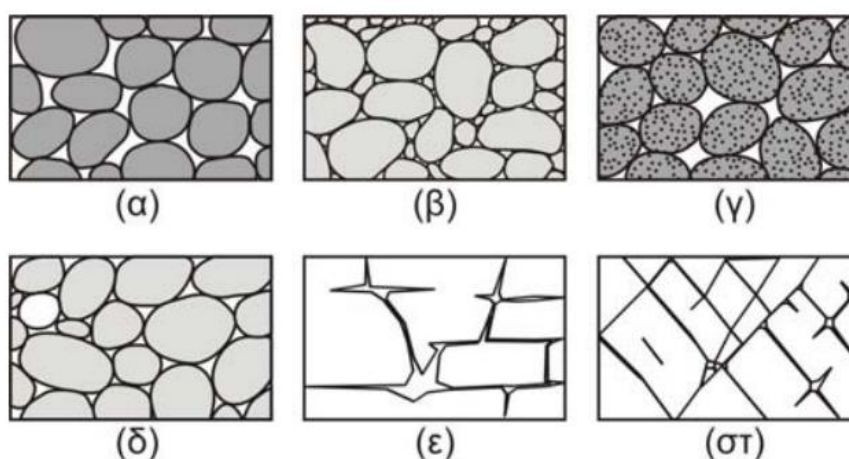
Παράγοντες καθορισμού του πορώδους:

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 τα γωνιώδη υλικά δημιουργούν μεγαλύτερο πορώδες από τα αποστρογγυλωμένα.

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)**



Εικόνα 3.2 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 ρηγμάτωση (από Meinzer, 1923 και Βουδούρης 2009).

3.1.2 Τύποι Πορώδους

Το πορώδες ενός πετρώματος αντιπροσωπεύει την αναλογία του ολικού πορώδους προς τον ολικό όγκο του πετρώματος και συνήθως αποδίδεται σε ποσοστό %. Στην πραγματικότητα ένα ανθρακικό reservoir κρίνεται ως αξιόλογο κυρίως επί τη βάση της διαπερατότητας, παρά επί τη βάση του πορώδους. Γιατί μερικά πετρώματα είναι πορώδη μεν, αλλά έχουν χαμηλές διαπερατότητες. Το πορώδες των ασβεστολίθων είναι πολύ χαμηλότερο από το πορώδες των ψαμμιτών. Υπάρχουν για παράδειγμα, ανθρακικά reservoirs με χαμηλό πορώδες 5-10%, ενώ το πλείστον των ψαμμιτικών reservoirs έχει τιμές 15-30% *(από Πομόνη Παπαιωάννου, 2005)*.

Το πορώδες ανάλογα με την προέλευση του χαρακτηρίζεται σαν:

- Πρωτογενές
- Δευτερογενές

Τα κενά (πόροι) που υπάρχουν στο πέτρωμα κατά την διάρκεια σχηματισμού του αποτελούν το “πρωτογενές πορώδες”. Το πρωτογενές πορώδες δημιουργείται κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης και αποτελείται είτε από τα διάκενα μεταξύ των κόκκων (διακοκκικό) είτε από διάκενα μέσα στη δομή των κόκκων (ενδοσωματιδιακό) *(Σταματάκη, 2005)*. Παρουσιάζεται σε μια μεγάλη ποικιλία αποθετικών περιβαλλόντων, από υφάλους που καλύπτουν μόλις 1 km² μέχρι μεγάλες ανθρακικές πλατφόρμες πολλών χιλιάδων km². Αυτό το πορώδες μπορεί να μειωθεί κατόπιν συμπίεσης των πετρωμάτων ή μετά από διαγενετικές διεργασίες που σχετίζονται με τα υπόγεια νερά.

Φαινόμενα ανακρυστάλλωσης, αφυδάτωσης ή ρηγματώσεων και ρωγμών προκαλούν το “δευτερογενές πορώδες”, το οποίο οφείλεται στα διάκενα που δημιουργήθηκαν λόγω τεκτονισμού, αποσάρθρωσης, διάλυσης. Γενικά θεωρείται ότι οι ψαμμίτες έχουν κυρίως διακοκκικό πορώδες αν και μπορούν να έχουν επίσης και δευτερογενές πορώδες που προήλθε από διάλυση στερεών κόκκων ενώ τα ανθρακικά πετρώματα συνήθως έχουν μόνο δευτερογενές πορώδες.

Είδη πορώδους

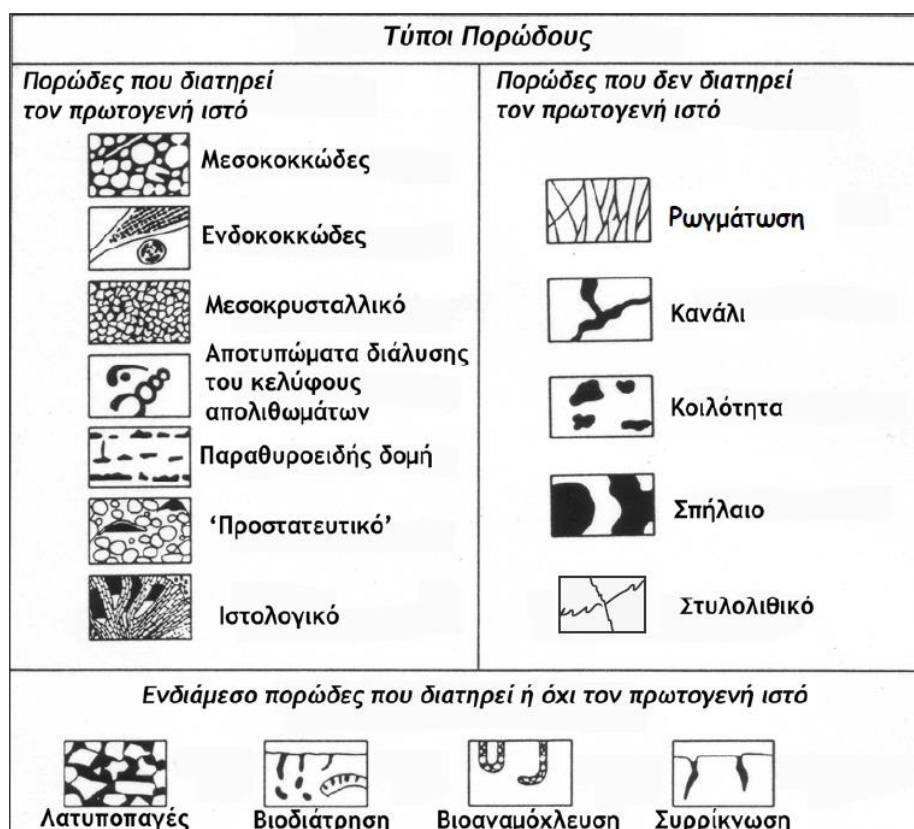
Σύμφωνα προς την ταξινόμηση των *Choquette & Pray (1970)* τρεις (3) είναι οι κύριοι τύποι πορώδους:

- 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 ακόλουθοι τύποι πορώδους

- Μεσοκοκκώδες πορώδες (Intergranular ή interparticle porosity). Πρόκειται για το πρωτογενές πορώδες που δημιουργείται κατά την απόθεση των ιζημάτων.
- Ενδοκοκκώδες πορώδες (Intragranular porosity). Πρόκειται για πορώδες που οφείλεται στην εσωτερική πρωτογενή μικροδομή των κόκκων ιδιαίτερα των σκελετικών.
- Μεσοκρυσταλλικό πορώδες (Intercrystalline porosity). Πρόκειται για δευτερογενές πορώδες που αναπτύσσεται σε ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και δολομίτες.
- Πορώδες από διάλυση των κόκκων (Mouldic porosity). Πρόκειται για δευτερογενές πορώδες που δημιουργείται μετά τη διάλυση των κόκκων, λόγω της ασταθούς πρωτογενούς ορυκτολογικής των σύστασης (αραγωνίτης ή ασβεστίτης πλούσιος σε Mg). Η διάλυση του αραγωνίτη των βιοκλαστών και των ωοειδών, δημιουργεί βιοπορώδες και ωο-πορώδες αντίστοιχα (biomouldic / oomoldic porosity).
- Πορώδες ξήρανσης (Fenestral porosity). Πρόκειται για πορώδες που οφείλεται στη δημιουργία παραθυροειδών κοιλοτήτων και είναι σύνηθες στα περιπαλιρροιακά ιζήματα λόγω της ξήρανσης που υφίστανται. Το ποσοστό του πορώδους αυτού είναι μικρό, λόγω της ταχείας πλήρωσης των παραθυροειδών κοιλοτήτων με ιζημα ή/και τσιμέντο(γεωπεταλική δομή).
- "Προστατευτικό" πορώδες (Shelter porosity). Πρόκειται για πορώδες που δημιουργείται κάτω από μεγάλα κυρτά αλλοχημικά συστατικά.
- "Ιστολογικό" πορώδες (Growth ή Framework porosity). Πρόκειται για πορώδες που δημιουργείται από τη σκελετική ανάπτυξη οργανισμών (π.χ. κοράλλια ή 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.



Εικόνα 3.3 Τύποι Πορώδους (από Πομόνη-Παπαϊωάννου, 2005)

- Πορώδες ρωγμών (Fracture porosity). 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 (Channel porosity). 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 (Vuggy porosity). 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 CO_2 , διαλύματα.

- Πορώδες "σπηλαίων" (Cavern porosity). Πρόκειται για πορώδες διαλυσιγενούς προέλευσης που οφείλεται στη δημιουργία σπηλαίων, στο πλαίσιο παλαιοκαρστικών διεργασιών.
- Πορώδες "λατυποποίησης" (Breccia porosity). 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).

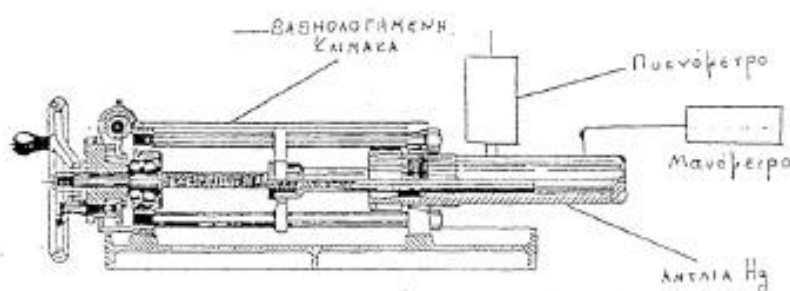
3.1.3 Μέθοδοι Προσδιορισμού του Πορώδους

Εκτός της βασικής μεθόδου μέτρησης του πορώδους (παρ. 4.1.3) που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο, υπάρχουν και άλλες μέθοδοι προσδιορισμού οι οποίες παρατίθενται παρακάτω:

❖ Ποροσιμετρία υδραργύρου. Η ποροσιμετρία υδραργύρου (mercury porosimetry technique) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της τριχοειδούς πίεσης. Γνωρίζοντας τον όγκο και το βάρος υποδοχέα (διδεισδόμετρο υδραργύρου) και μετρώντας το βάρος του δείγματος και το βάρος υποδοχέα-δείγματος-υδραργύρου σε συνδυασμό με την πυκνότητα του υδραργύρου μπορούμε να υπολογίσουμε τον ολικό όγκο του δείγματος (Τσακίρογλου, 1990). Ο ολικός όγκος των συνεκτικών πόρων υπολογίζεται από τον όγκο εισόδου υδραργύρου στη μέγιστη πίεση με την προϋπόθεση βέβαια ότι ο υδράργυρος εισδύει και στους μικρότερους πόρους. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε μικρά, καθαρά και στεγνά δείγματα ακαθόριστου σχήματος και αυτό αποτελεί το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου. Το δείγμα τοποθετείται σε ειδικό κλωθό όπου μπορεί να εισαχθεί υδράργυρος με ελεγχόμενη ποσότητα και πίεση. Ο υδράργυρος εισάγεται στο δείγμα και πραγματοποιούνται οι αυξητικές καταγραφές του όγκου υδραργύρου που εισάγεται. Η τυπική είσοδος στο δείγμα μπορεί να φτάσει τα 60.000 psi. Η ενδοφασική τάση του υδραργύρου είναι 485 δίνες/εκατοστό και η γωνία επαφής είναι 130 μοίρες. (από Κωνσταντόπουλος, 2009)

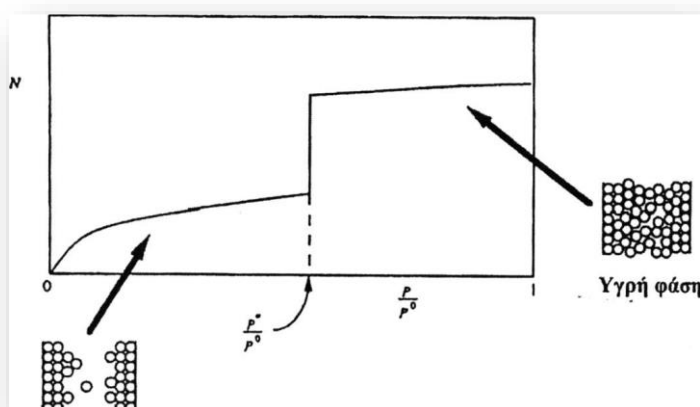
Η συγκεκριμένη τεχνική παρέχει την απευθείας μέτρηση του πορώδους το οποίο στην υπό χαμηλή πίεση εισαγωγής υδραργύρου θεωρείται ίσο με το μηδέν. Η διαφορά του όγκου

πριν και μετά την εισαγωγή του υδραργύρου αποτελεί την τιμή του πορώδους στο δείγμα. Στην μέγιστη πίεση των 60.000 psia θεωρείται ότι ο υδράργυρος έχει εισαχθεί μέσα σε όλα τα διάκενα του δείγματος. Ο συνολικός όγκος του εισαγόμενου υδραργύρου θεωρείται ότι είναι ο συνολικός όγκος των πόρων στην συγκεκριμένη πίεση (από Παντόπουλος, 2009).



Εικόνα 3.4 Διάταξη μέτρησης ολικού όγκου δείγματος με την μέθοδο των Hg (από Παντόπουλος, 2009)

❖ **Ποροσιμετρία αζώτου.** Η ισόθερμος προσρόφησης αζώτου σε ένα απλό μεσοπόρο αναπαρίσταται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα. Κατά τη διαδικασία προσρόφησης, η πίεση αυξάνει από το μηδέν και τα μόρια του αζώτου τείνουν να προσροφηθούν στην επιφάνεια του πόρου. Επιπλέον, με την άνοδο της πίεσης, το άζωτο αρχίζει να σχηματίζει ένα λεπτό στρώμα, το πάχος του οποίου αυξάνει με την αύξηση της πίεσης. Σε μια χαρακτηριστική κρίσιμη τιμή πίεσης, ο πόρος αρχίζει να γεμίζει με υγροποιημένο άζωτο, με μια διαδικασία που είναι γνωστή ως τριχοειδής συμπύκνωση. Μετά από το σημείο αυτό έχουμε βαθμιαία αύξηση του προσροφημένου όγκου στην ισόθερμο προσρόφησης.



Εικόνα 3.5 Σχηματική απεικόνιση ισόθερμου προσρόφησης αζώτου σε απλό πόρο. (N) είναι ο αριθμός προσροφημένων μορίων, (P^*) είναι η κρίσιμη πίεση και (P°) είναι η πίεση κορεσμού (από Παντόπουλος, 2009)

❖ **Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).** Μέσα από την παρατήρηση εικόνων των πετρωμάτων σε πολύ μεγάλη μεγέθυνση, παρατηρείται η ύπαρξη και συχνότητα πόρων του πετρώματος σε πολύ μικρή κλίμακα. Για την μελέτη με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, επιλέγονται ψαμμιτικά δείγματα με καλό πορώδες και διαπερατότητα ή αντίθετα πολύ χαμηλό πορώδες και διαπερατότητα ώστε να παρατηρηθεί μικροσκοπικά η ύπαρξη ή μη πόρων στο δείγμα, η σχέση μεταξύ των πόρων και το είδος τους.

Το πορώδες ως μια πολύ σημαντική πετροφυσική παράμετρος μπορεί να εκτιμηθεί και από μετρήσεις που γίνονται εντός γεωτρήσεων μέσω των διαγραφιών (well log measurements). Γεωφυσική διαγραφή είναι μία συνεχής καταγραφή μετρήσεων μέσα σε γεωτρήσεις και αποκρίνονται σε μεταβολές φυσικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων που έχουν διατρηθεί. Οι πιο σημαντικές για ένα σχηματισμό γνωστής λιθολογικής σύστασης είναι οι ακουστικές διαγραφίες, οι διαγραφίες πυκνότητας οι διαγραφίες νετρονίου ή οι διαγραφίες φυσικής ραδιενέργειας. Αν η λιθολογική σύσταση ενός σχηματισμού δεν είναι γνωστή, τότε το πορώδες υπολογίζεται από το συνδυασμό δύο ή περισσότερων διαγραφιών πορώδους. Μερικές φορές από τις διαγραφίες πορώδους εντοπίζεται η παρουσία φυσικού αερίου στο σχηματισμό. Οι τρεις τεχνικές διαγραφιών πορώδους έχουν μικρή διεισδυτική ικανότητα (της τάξης μερικών ιντσών) και οι μετρήσεις του πορώδους αναφέρονται στην ζώνη διείσδυσης του διηθήματος της λάσπης. Για την εκτίμηση του πορώδους χρησιμοποιούμε, μερικές φορές και άλλα πετροφυσικά μεγέθη όπως η ειδική ηλεκτρική αντίσταση (από Βαφείδης, 2011).

Χρησιμότητα και εφαρμογή των γεωφυσικών διαγραφιών

Καταγραφή γεωλογικών ιδιοτήτων

- ✓ Πάχος σχηματισμών
- ✓ Λιθολογία
- ✓ Πορώδες
- ✓ Διαπερατότητα
- ✓ Βαθμός Κορεσμού σε νερό ή/και υδρογονάνθρακα
- ✓ Κλίση στρωμάτων
- ✓ Θερμοκρασία
- ✓ Εντοπισμός ρωγμών

❖ Οι διαγραφίες νετρονίου χρησιμοποιούνται κυρίως στην περιχαράκωση πορώδων 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 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.

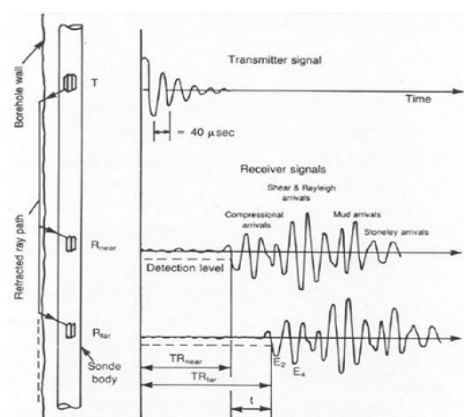
Τα νετρόνια που εκπέμπονται συγκρούονται και σκεδάζονται με τα άτομα υδρογόνου που συνήθως ευρίσκονται στο νερό το οποίο υπάρχει στο πορώδες των πετρωμάτων. Είναι λοιπόν φανερό ότι όσο πιο μεγάλο είναι το πορώδες ενός πετρώματος και όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός πλήρωσης του (saturation) τόσο μικρότερος 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 Δt , (Interval ή Transit time) τον οποίο χρειάζεται το ακουστικό κύμα για να διανύσει 1ft (ή 1m) του σχηματισμού, συναρτήσει του βάθους. Ο χρόνος διαδρομής, Δt , είναι αντιστρόφως ανάλογος της ταχύτητας διάδοσης των ακουστικών κυμάτων και εξαρτάται από το πορώδες και τη λιθολογία του σχηματισμού. Η εξάρτηση του Δt 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 Δt , καταγράφεται και ο συνολικός χρόνος διαδρομής του ακουστικού κύματος (Integrated transit time) ο οποίος ισούται με το άθροισμα των χρόνων διαδρομής Δt 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.



Εικόνα 3.6 Τεχνική Ακουστικής Διαγραφίας (από Τσούρλος, 2015)

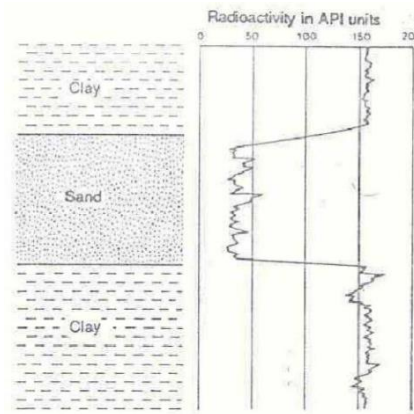
❖ Η διαγραφή ακτινών γάμμα σε ιζηματογενείς σχηματισμούς συνήθως δίνει πληροφορίες σχετικά με τον εντοπισμό στρωμάτων αργιλικών σχιστόλιθων και στρωμάτων που περιέχουν αργλικές προσμίξεις. Αυτό οφείλεται στο ότι τα ραδιενεργά στοιχεία τείνουν να συγκεντρώνονται στα αργιλικά πετρώματα. Ιζηματογενείς σχηματισμοί χωρίς αργλικές

προσμίξεις εμφανίζουν χαμηλές τιμές φυσικής ραδιενέργειας εκτός αν το νερό του σχηματισμού περιέχει ραδιενεργά άλατα. Η διαγραφία ακτίνων 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 διαγραφία φυσικού δυναμικού όταν η γεωτρητική λάσπη έχει υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων, ή έχει σαν βάση το πετρέλαιο.

- Χρησιμοποιεί ραδιενεργό πηγή Κοβαλτίου (^{60}Co) και Ανιχνευτή ακτινοβολίας γάμμα.
- Ο αριθμός των ακτίνων 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 ακτίνων 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 αποσάρθρωσης και περιέχει κυρίως αστρίους και μαρμαρυγία. Ο σχιστόλιθος μπορεί να θεωρηθεί σαν συμπαγής άργιλος. Και τα δύο πετρώματα περιέχουν ικανές ποσότητες του ισότοπου ^{40}K . Το ισότοπο αυτό πολλές φορές εμπλουτίζεται με ανταλλαγή κατιόντων κατά τα στάδια της αρχικής ιζηματογένεσης του πετρώματος. Επιπλέον το ραδιενεργό ισότοπο ^{238}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 γαμμα.



Εικόνα 3.7 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.α Μεθοδολογίες μέτρησης και προσέγγισης του πορώδους

Μέτρηση Πορώδους

Υδρογεωλογία	<ul style="list-style-type: none"> • Εμπειρικός νόμος του Darcy • Με τα ποροσίμετρα • Με ζύγιση δείγματος (Νόμος του Αρχιμήδη) • Με συσκευές που χρησιμοποιούν αέριο 		
Με γεωφυσικές μεθόδους (Διαγραφίες)	<table border="0"> <tr> <td data-bbox="517 1668 979 1881"> <ul style="list-style-type: none"> • Ηλεκτρικές • Φυσικού Δυναμικού • Ραδιενέργειας • Ακουστικής Ταχύτητας </td><td data-bbox="979 1668 1436 1993"> <ul style="list-style-type: none"> • Διάταξη ενός ηλεκτροδίου • Διάταξη δύο ηλεκτροδίων • Διάταξη ακτινοβολίας γάμμα • Διαγραφή νετρονίου • Καταγραφή πυκνότητας • Διαγραφή σεισμικής διάταξης </td></tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> • Ηλεκτρικές • Φυσικού Δυναμικού • Ραδιενέργειας • Ακουστικής Ταχύτητας 	<ul style="list-style-type: none"> • Διάταξη ενός ηλεκτροδίου • Διάταξη δύο ηλεκτροδίων • Διάταξη ακτινοβολίας γάμμα • Διαγραφή νετρονίου • Καταγραφή πυκνότητας • Διαγραφή σεισμικής διάταξης
<ul style="list-style-type: none"> • Ηλεκτρικές • Φυσικού Δυναμικού • Ραδιενέργειας • Ακουστικής Ταχύτητας 	<ul style="list-style-type: none"> • Διάταξη ενός ηλεκτροδίου • Διάταξη δύο ηλεκτροδίων • Διάταξη ακτινοβολίας γάμμα • Διαγραφή νετρονίου • Καταγραφή πυκνότητας • Διαγραφή σεισμικής διάταξης 		

**Αναζήτηση
Υδρογονανθράκων**

- Ποροσίμετρο τύπου Boyle
- Ποροσιμετρία Υδραργύρου
- Ποροσιμετρία Αζώτου
- Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM)

Κεραμικά

- Εισαγωγή σχηματιστών πόρων
- Χρήση εκμαγείων (π.χ η χρήση ξύλου και παραγώγων του)
- Μέσω αντιδράσεων συμπύκνωσης και εξάτμισης
- Δημιουργία αέριας φάσης
- Πρόσθετα διατήρησης όγκου
- Οργανικοί σχηματιστές πόρων

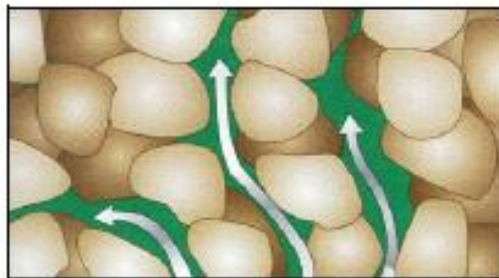
Τσιμέντο

- Έμμεσοι μέθοδοι
- Ποροσιμετρία Υδραργύρου
- Μέθοδοι Μετατόπισης
- Θερμοποροσιμετρία
- Τεχνικές Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού
- Διασπορά Μικρής Ακτίνας (Διασπορά Νετρονίων)
- Τεχνικές επεξεργασίας εικόνας (π.χ Οπτικό Μικροσκόπιο ή Μικροσκόπιο Σάρωσης Ηλεκτρονίων)
- Άμεσες μέθοδοι

3.1.4 Διαπερατότητα

Η διαπερατότητα ενός πορώδους μέσου είναι μια από τις πλέον σημαντικές παραμέτρους για τον προσδιορισμό των δυνατοτήτων παραγωγής από ένα κοίτασμα. Σε αντίθεση με το πορώδες που είναι μια στατική ιδιότητα ενός πετρώματος, η

διαπερατότητα είναι μια δυναμική ιδιότητα και υπό αυτή την έννοια δεν μπορεί να μετρηθεί παρά μόνο μετά από πειράματα ροής σε δείγματα από το πέτρωμα ταμειευτήρα.



Εικόνα 3.8 Ροή ρευστών μέσω ενός πορώδους μέσου (από Σταματάκη, 2005)

Μονάδα μέτρησης της διαπερατότητας είναι το darcy, αλλά συνήθως η διαπερατότητα μετράται σε millidarcies (mD) . Ένα πέτρωμα με διαπερατότητα 1 darcy επιτρέπει 1 cm^3/sec ρευστού το οποίο έχει ιξώδες 1 centipoise (ιξώδες νερού στους 68°F) διαμέσου 1 cm^2 της επιφάνειας του με πτώση της πίεσης 1 atm/cm. Το millidarcy (md) ισούται με 0.001 darcy ενώ το microdarcy (μd) ισούται με 0,000001 darcy.

Ενεργός και Σχετική διαπερατότητα (effective and relative permeability) Στην περίπτωση όπου η ροή αφορά περισσότερα του ενός ρευστά ταυτοχρόνως στο ίδιο πορώδες μέσο (multiphase flow), η απόλυτη διαπερατότητα αντικαθιστάται από την ενεργό (effective) διαπερατότητα η οποία ορίζεται από το νόμο του Darcy για κάθε ένα από τα ρευστά που συνυπάρχουν στο πορώδες μέσο.

Η σχετική διαπερατότητα είναι αδιάστατο μέγεθος και εκφράζεται ως κλάσμα ή ποσοστό. Επειδή, στην πράξη, τα ρευστά αλληλεπιδρούν στο πορώδες μέσο, το άθροισμα των σχετικών διαπερατοτήτων των είναι μικρότερο της μονάδας. Αυτό εκφράζει αμοιβαίες παρεμβολές κάθε ρευστού στην ομαλή ροή του άλλου. Πολλοί παράγοντες ευθύνονται για αυτά τα φαινόμενα. Μέρος των καναλιών μεταξύ των πόρων που είναι διαθέσιμα για τη ροή ενός ρευστού μειώνονται σε μέγεθος από την παρουσία του άλλου ρευστού. Δυσκίνητες σταγόνες ενός ρευστού «μπλοκάρουν» πλήρως κάποιους πόρους, αλλά και τριχοειδή φαινόμενα δημιουργούν σοβαρά προβλήματα ιδιαίτερα όταν η μεταβολή της πίεσης (dP/dx) είναι μικρή. Τόσο η διαπερατότητα όσο και το πορώδες επηρεάζονται από το σχήμα και τον προσανατολισμό των κόκκων του πετρώματος, τη σφαιρικότητα και τον τρόπο ταξινόμησης των. Το μέγεθος των κόκκων δεν επιδρά στο ολικό πορώδες, επηρεάζει

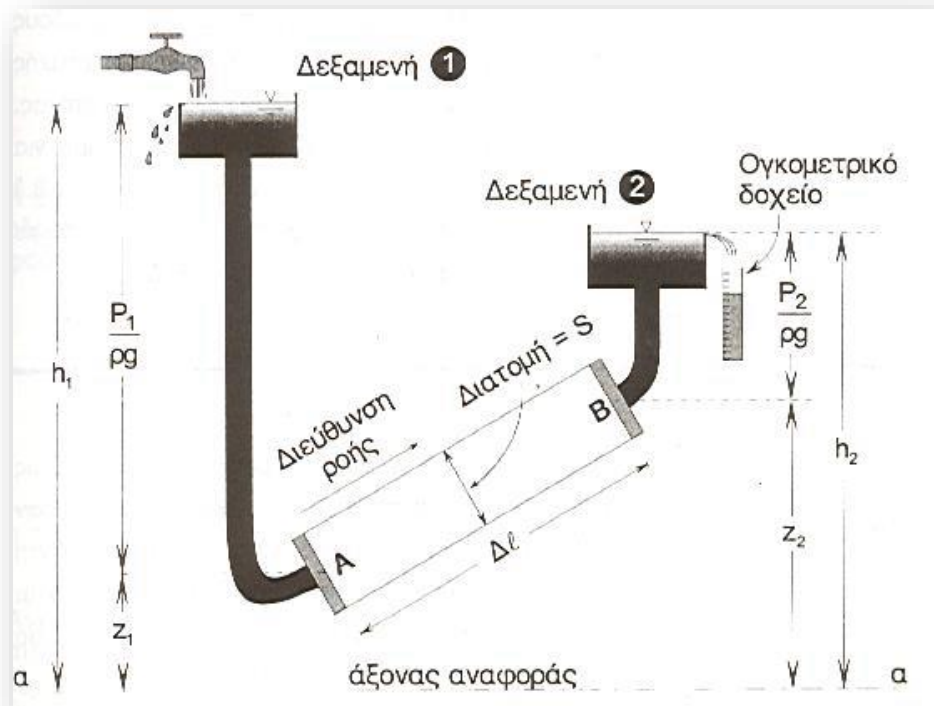
όμως τη διαπερατότητα η οποία αυξάνει, όσο το μέγεθος των κόκκων αυξάνει. **(από Σταματάκη, 2005)**. Πρέπει να αναφέρουμε ότι η διαπερατότητα είναι ανεξάρτητη του πορώδους, αν και είναι προφανές ότι ένα πέτρωμα με μηδενικό πορώδες, δεν είναι και διαπερατό. Η διαπερατότητα αποτελεί ιδιότητα του πετρώματος και σχετίζεται με την ικανότητα του να άγει τα ρευστά. Για να υπολογιστεί η διαπερατότητα σε μια περιοχή στρωμάτων αποθήκευσης πετρελαίου, είναι απαραίτητο να εξεταστούν δείγματα πετρωμάτων με το εύρος των τιμών της διαπερατότητας να ποικίλει ανάλογα πάντα με το υπό μελέτη πέτρωμα.

Το εύρος της διαπερατότητας που απαντάται σε πορώδη μέσα είναι μεγάλο. Κυμαίνεται από $0,1 \text{ mD} - 10 \text{ D}$. Η διαπερατότητα είναι:

- Πολύ χαμηλή όταν $k < 1 \text{ mD}$
- Χαμηλή $1 \text{ mD} < k < 10 \text{ mD}$
- Μέτρια $10 \text{ mD} < k < 50 \text{ mD}$
- Μέση $50 \text{ mD} < k < 200 \text{ mD}$
- Καλή $200 \text{ mD} < k < 500 \text{ mD}$
- Πολύ καλή $500 \text{ mD} < k$

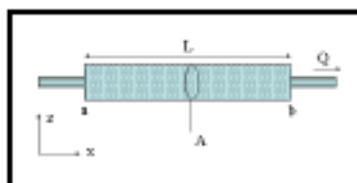
Γενικότερα λοιπόν αναγκαία ήταν η αντικατάσταση της πολύπλοκης μορφής της πραγματικής επιφάνειας των διακένων με μια άλλη συμβατική μορφή, που η αναλυτική εξίσωση της επιτρέπει την ολοκλήρωση των εξισώσεων κίνησης στις συνήθεις απλές περιπτώσεις. Ο Darcy λοιπόν το 1856 μελετώντας τη ροή νερού διαμέσου μιας στήλης άμμου κατέληξε στην εξίσωση που φέρει το όνομα του.

Σ' αυτήν ανάμεσα από τις δύο δεξαμενές υπήρχε ένας σωλήνας με εμβαδό διατομής S γεμάτος με πορώδες υλικό, κορεσμένο με νερό. Εξαιτίας της υψομετρικής διαφοράς που υπήρχε στις στάθμες του νερού στις δύο δεξαμενές, το νερό κινιόταν κατά τη διεύθυνση που φαίνεται στο Σχήμα 3.2. Ένα ογκομετρικό δοχείο μετά τον εκχειλιστή της δεύτερης δεξαμενής, χρησίμευε για τη μέτρηση της παροχής Q , που περνούσε μέσα από το πορώδες υλικό.



Εικόνα 3.9 Σχηματική απεικόνιση εμπειρικού νόμου του Darcy (από Θεοχάρης, 2014)

Ο νόμος του Darcy και τα μοντέλα ροής



$$Q = \left(\frac{k}{\mu} \right) \left(\frac{A(p_1 - p_2)}{B L} \right)$$

(εξίσωση 3.3)

- ✓ Q = Παροχή (βαρέλια/ημέρα)
- ✓ k = Διαπερατότητα (Darcies)
- ✓ μ = το ιξώδες του ρευστού (centipoise)
- ✓ A = επιφάνεια δια μέσου της οποίας ρέει το ρευστό (cm^2 ή ft^2)
- ✓ $p_1 - p_2$ = η πτώση της πίεσης
- ✓ L = η απόσταση ροής του ρευστού
- ✓ B = ο συντελεστής όγκου του σχηματισμού (Bo)

Πεδίο ισχύος του νόμου του Darcy

Ο νόμος του Darcy ως εμπειρικός νόμος, δεν έχει απεριόριστα όρια εφαρμογής. Ισχύει μόνο όταν ο αριθμός Reynolds παίρνει τιμές μικρότερες από μια κρίσιμη τιμή. Ο αριθμός

Reynolds ο οποίος είναι αδιάστατος (απόλυτος αριθμός) για την ροή των ρευστών μέσα σε πορώδες υλικό ορίζεται από την σχέση:

$$\diamond \quad R_e = \frac{V d \rho}{\mu} \quad (\text{εξίσωση 3.4})$$

V = η μέση ταχύτητα εκροής, cm/s

d = η διάμετρος του σωλήνα

μ = ο συντελεστής δυναμικού ή απόλυτου ιξώδους kg/cm s

ρ = πυκνότητα ρευστού, kg/cm³

Συνοπτικά ισχύει

- Για $R_e < 1$ ισχύει ο νομός του Darcy.
- Αν $R_e < 10$ έχουμε καλύτερα αποτελέσματα
- Για $R_e > 10$ δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ παροχής και κλίσης υδραυλικού φορτίου

4 Μεθοδολογίες

4.1 Διαδικασία Δειγματοληψίας και Μέθοδοι Έρευνας

Για τον προσδιορισμό του πορώδους και της διαπερατότητας ελήφθησαν σε 12 στάσεις συνολικής απόστασης 3 χλμ περίπου, στην περιοχή της Φανερωμένης Μεσσαράς, του νομού Ηρακλείου, 38 δείγματα ψαμμιτών(*Παράρτημα.1 Περιοχή Δειγματοληψίας*). Τα συγκεκριμένα δείγματα ανήκουν κυρίως σε ιζηματογενείς φάσεις των αποθέσεων και παρουσιάζουν μεγάλη αναλογία άμμου/πηλού σύμφωνα και με την ακριβή λιθολογική περιγραφή κατά Folk, ώστε λιθολογικά να είναι κατάλληλες ως ταμιευτήρες ρευστών. Κατά την δειγματοληψία αρχικά επιλέχθηκαν προσεκτικά,, έπειτα καθαρίστηκαν, και τελικώς με επιτυχή πυρηνοληψία στο εργαστήριο σε 20 εκ του συνόλου, και συνολικού απολογισμού 47 πυρήνων,(*Παράρτημα.2 Πυρηνοληψία*) εξάχθησαν συμπεράσματα σχετικά με το πορώδες και την διαπερατότητα. Από τους 47 πυρήνες μετρήθηκαν σε 45 εξ'αυτών, το πορώδες, και σε 22 η διαπερατότητα (*Πίνακας 6.b Πορώδες, διαπερατότητα δοκιμίων, Παράρτημα 2. Πίνακας.c Διαγράμματα διαπερατότητας*). Επιπροσθέτως επισημαίνεται πως σε 12 δείγματα συνολικού απολογισμού 18 πυρήνων επιτεύχθηκε μέτρηση πορώδους σε συνδυασμό με διαπερατότητα. Το πορώδες των δειγμάτων ερευνήθηκε με το ποροσίμετρο τύπου Boyle (*4.1.1 Μέτρηση του πορώδους*). Η διαπερατότητα των δειγμάτων εκτιμήθηκε μέσω του υποδοχέα Hassler (*4.1.4 Εργαστηριακή μέτρηση της διαπερατότητας*) 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. **(Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.)**

4.1.1 Μέτρηση του πορώδους

Για την μέτρηση του ενεργού πορώδους, στο εργαστήριο Ανάλυσης Υπόγειων Ταμιευτήρων η μέθοδος που χρησιμοποιείται βασίζεται στο ποροσίμετρο τύπου Boyle. Το ξηρό δείγμα τοποθετείται 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:

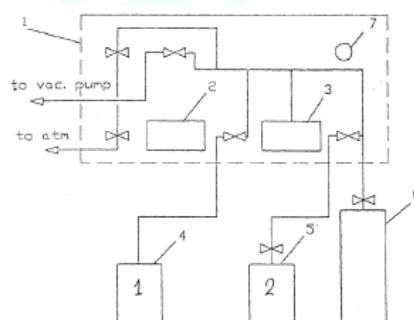
$$\diamond P_1 V_1 = P_2 V_2 \text{ (εξίσωση 4.1)}$$

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, αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- ✓ Μεταλλικά αεροστεγή δοχεία 1,2
- ✓ Μανόμετρο ψηφιακό με διακριτική ικανότητα μέτρησης 0,01bar
- ✓ 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 Ποροσίμετρο και πειραματική διάταξη τύπου Boyle (από Γαμβρούδης, 2010 και Βαρότσης, 2014)

4.1.2 Διαμόρφωση Δοκιμίων

Η πυρηνοληψία αποτελεί μία ιδιαιτέρως αξιόπιστη, αλλά και άμεση μέθοδος ποιοτικού ελέγχου η οποία βασίζεται στην διάτρηση και αποκοπή κυλινδρικού δοκιμίου. Η διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων και λήψης πυρήνων πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης σύμφωνα πάντα με τις αντίστοιχες προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές αναφέρουν ότι:

- Τα δοκίμια πρέπει να είναι κυλινδρικά με διάμετρο κατά προτίμηση μεγαλύτερη ή ίση με NX (δηλαδή περίπου 254 mm) και ύψος 2.5-3 φορές τη διάμετρο τους.
- Τα δοκίμια πρέπει να προετοιμασθούν χρησιμοποιώντας μόνον καθαρό νερό (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 δοκιμών. **(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 47 πυρήνες με προσανατολισμό είτε κάθετο είτε οριζόντιο 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. (Πίνακας 6.α Διαστασιολόγηση, Περιγραφή και Λιθολογικός χαρακτήρας δοκιμίων)



Εικόνα 4.2 Εργαστηριακός πυρηνολήπτης δοκιμίων

Εργαστηριακό δισκοπρίονο κοπής δοκιμίων πετρωμάτων

Μετά την κοπή των δοκιμίων σε κυλινδρικά πρέπει να διαμορφωθούν οι άκρες των κυλίνδρων αυτών, γιατί κατά το τέλος της κοπής τα δοκίμια αποχωρίζονται. Με σπάσιμο από τον υπόλοιπο όγκο του πετρώματος. Έτσι τα κομμάτια αυτά στις άκρες του κυλίνδρου πρέπει να κοπούν για να δημιουργηθούν επίπεδες επιφάνειες. 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 4.3) 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 κοπής δοκιμίων πετρωμάτων (από Φέγγος, Κουβελάς 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 λειανεί 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 Εργαστηριακός λειαντής

4.1.3 Πειραματική διαδικασία

Στο σημείο αυτό απαραίτητο είναι να προσδιοριστεί με ακρίβεια η διαδικασία μέτρησης τόσο του συνολικού όγκου των δοχείων όσο και του υπόλοιπου συστήματος της πειραματικής διαδικασίας τύπου Boyle.

Αρχικά τοποθετούνται σφαίρες γνωστής διαμέτρου στο πρώτο δοχείο. Στο δοχείο αυτό δημιουργείται κενό και στην συνέχεια απομονώνεται από το υπόλοιπο σύστημα. Στην συνέχεια στο δοχείο όπου βρίσκονται οι μεταλλικές σφαίρες γίνεται εκτόνωση και σημειώνεται η ένδειξη της πίεσεως μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας στο δοχείο αυτό [2].

Έπειτα τοποθετείται ακόμα μια σφαίρα και επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρι την πλήρωση του κυλίνδρου με μεταλλικές σφαίρες, όπου μετά από επαναλήψεις της διαδικασίας προκύπτει ο **Πίνακας 4-a** και κατασκευάζεται το διάγραμμα Πίεσης – Όγκου Στερεών Προτύπων από το οποίο και προκύπτει η καμπύλη αναφοράς (**Εικόνα 4.5**)

Τέλος τα υπό προσδιορισμό δοκίμια παίρνουν την θέση των σφαιρών με επανάληψη της διαδικασίας. Οι μετρήσεις που προκύπτουν και η εξίσωση της καμπύλης δίνουν τον όγκο των κόκκων του πετρώματος. Ενδεικτικά παρουσιάζεται παρακάτω ο τρόπος υπολογισμού του πορώδους για το δείγμα FAN21BVA1 (**Πίνακας 4-b**)

Πίνακας 4.α Αποτελέσματα μετρήσεων στερεών προτύπων

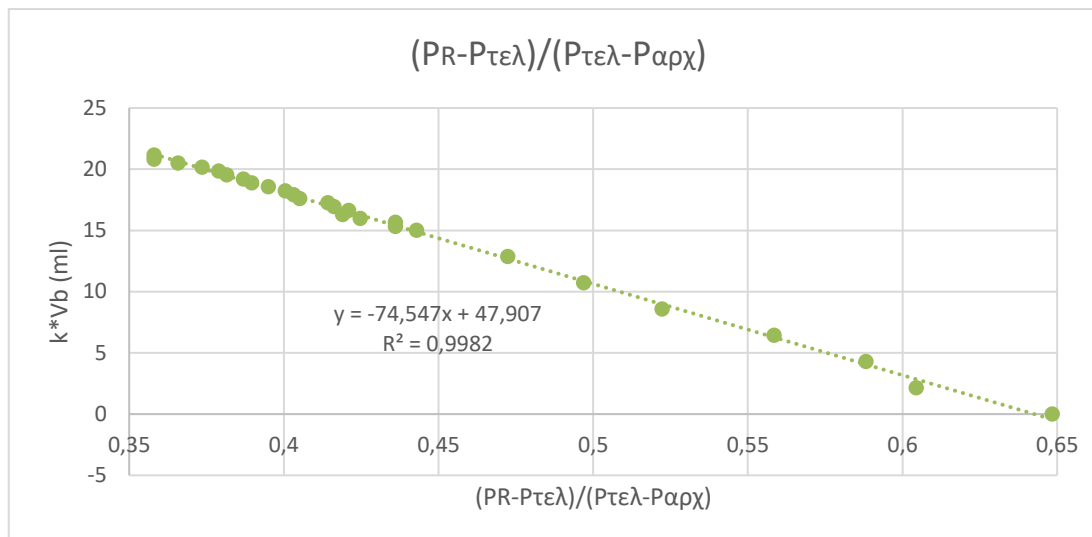
Μέγεθος Σφαιρών	Σφαίρες	V(ml)	P _{αρχ} (bar)	P _R (bar)	P _{τελ} (bar)
Μεγάλες D=1,57 cm	0	0	-0.82	6.40	3.56
	2	2.15	-0.82	6.40	3.68
	4	4.29	-0.81	6.40	3.73
	6	6.44	-0.80	6.40	3.82
	8	8.58	-0.80	6.40	3.93
	10	10.73	-0.80	6.40	4.01
	12	12.87	-0.80	6.40	4.09
	14	15.02	-0.80	6.40	4.19
Μικρές D= 0.395 cm	14+10	15.34	-0.78	6.40	4.22
	14+20	15.66	-0.78	6.40	4.22
	14+30	15.98	-0.78	6.40	4.26
	14+40	16.31	-0.78	6.40	4.28
	14+50	16.63	-0.78	6.40	4.28
	14+60	16.95	-0.78	6.40	4.29
	14+70	17.27	-0.77	6.40	4.30
	14+80	17.60	-0.77	6.40	4.34
	14+90	17.92	-0.77	6.40	4.34
	14+100	18.24	-0.77	6.40	4.35
	14+110	18.57	-0.77	6.40	4.37
	14+120	18.89	-0.77	6.40	4.39
	14+130	19.21	-0.77	6.40	4.4
	14+140	19.53	-0.77	6.40	4.42
	14+150	19.86	-0.77	6.40	4.43
	14+160	20.18	-0.77	6.40	4.45
	14+170	20.50	-0.77	6.40	4.48
	14+180	20.82	-0.77	6.40	4.51
	14+190	21.15	-0.77	6.40	4.51

Πίνακας 4.β Υπολογισμός πορώδους για το δείγμα FAN 21BVA1

Μήκος δοκιμίου	(L)	3.61	(cm)
Διάμετρος δοκιμίου	(D)	2.54	(cm)
Ολικός όγκος δοκιμίου	(BV)	18.29	(cm ³)
Όγκος Πόρων	(GV)	12.84	(cm ³)
Πορώδες		29.78	(%)
Μέτρηση 1 πιέσεως δοκιμίου		-0.79	(bar)
Μέτρηση 2 πιέσεως δοκιμίου		4.1	(bar)

$$\text{Εξίσωση Βαθμονόμησης } GV = -74.54719 \times \frac{PR - P_{τελ}}{P_{τελ} - P_{αρχ}} + 47,906998$$

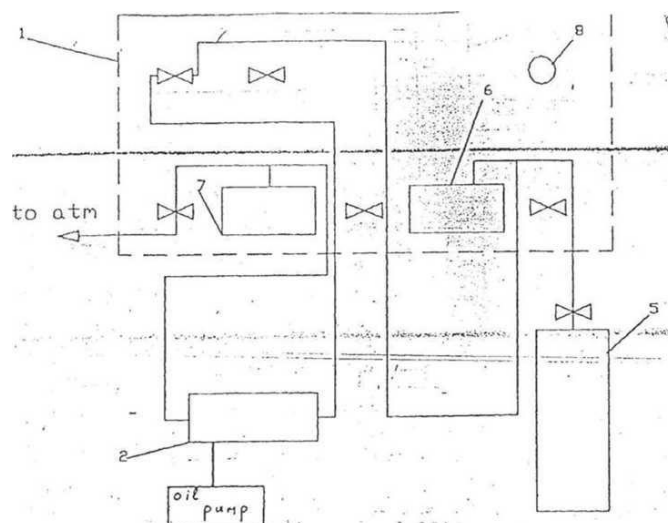
Η ισχύς της εξίσωσης είναι για όγκους GV από 0 έως 21,15 ml



Εικόνα 4.5 : Διάγραμμα Πίεσης – Όγκου Στερεών Προτύπων

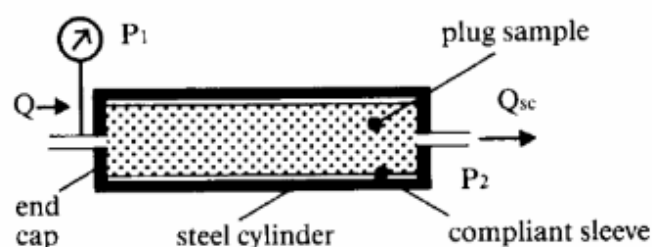
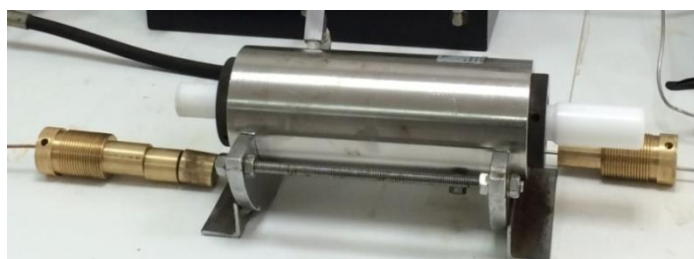
4.1.4 Εργαστηριακή μέτρηση της διαπερατότητας

Η διαπερατότητα είναι συνάρτηση της πίεσης και του χρόνου. Η καλύτερη μέθοδος μέτρησης της είναι οι παραγωγικές δοκιμές (formation testing). Έμμεσα μπορεί να εκτιμηθεί από άλλες μετρήσεις όπως το πορώδες, οι ηχητικές διαγραφίες, ή η μέθοδος NMR (Nuclear Magnetic Resonance) χρησιμοποιώντας εμπειρικές συσχετίσεις.



Εικόνα 4.6 :Πειραματική διάταξη Hassler. Πειραματική διάταξη μέτρησης διαπερατότητας, 1- Πάνελ ελέγχου, 2-Υποδοχέας δειγμάτων, 5-Φιάλη πεπιεσμένου αέρα, 6,7-Μανόμετρα, 8- Διακόπτης λειτουργία (από Βαρότσης, 2014)

Το βασικό στοιχείο της διάταξης είναι ο υποδοχέας δειγμάτων (Core holder). Πρόκειται για ένα υποδοχέα Hassler με δυνατότητα εφαρμογής εξωτερικής εγκάρσιας ακτινωτής πίεσης (overburden pressure) για πιστή φυσική προσομοίωση των συνθηκών ροής του ρευστού στον ταμιευτήρα. Όπως φαίνεται από το σχήμα αποτελείται από ένα μεταλλικό κύλινδρο (1) στον οποίο στερεώνονται δύο μεταλλικές βάσεις 2,3. Στο εσωτερικό του κυλίνδρου τοποθετείται ελαστικός δακτύλιος (4), ο οποίος προσαρμόζεται ερμητικά στις δύο βάσεις. Μέσα στον δακτύλιο τοποθετείται δοκίμιο του πετρώματος με διάμετρο ίση με την εσωτερική διάμετρο του πλαστικού δακτυλίου (1" ή 1 1/2"). Το δοκίμιο συγκρατείται δεξιά και αριστερά από δύο μεταλλικούς κυλίνδρους με οπές μέσω των οποίων εισάγεται και εξάγεται το ρευστό ως προς το οποίο μετρείται η διαπερατότητα (αέρας στην συγκεκριμένη εφαρμογή). Ο κενός χώρος (6) 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. Υπάρχει δυνατότητα εφαρμογής πίεσης μέχρι 2500 psia, για εξάσκηση πίεσης υπερκειμένων στο δοκίμιο.



Εικόνα 4.7 Διαπερατόμετρο (από Βαρότσης, 2014)

Η ακρίβεια της ανωτέρω μεθόδου είναι της τάξεως του $\pm 5\%$ της πραγματικής τιμής όταν η διαπερατότητα κυμαίνεται μεταξύ 10-500 mD. Για διαπερατότητες χαμηλότερες του 1 mD η ακρίβεια γίνεται $\pm 20\%$ ενώ για υψηλότερες των 500 mD είναι συνήθως $\pm 10\%$ 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.

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 κατακορύφου διαπερατότητας **(από Βαρότσης, 2014).**

5 Ιζηματολογικές Αναλύσεις-Κοκκομετρία

Το κοκκομετρικό μέγεθος είναι μια θεμελιώδης ιδιότητα των ιζημάτων και των αντ'ίσοιχων ιζηματογενών πετρωμάτων που καθορίζει τις κύριες ιδιότητές τους.

Η κοκκομετρική ανάλυση αποτελεί τη βάση των ιζηματολογικών αναλύσεων και προσφέρει τον υπολογισμό μιας σειράς από χαρακτηριστικές στατιστικές παραμέτρους από τους οποίους χαρακτηρίζονται:

- Η 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 αρχαίοι Έλληνες ήταν οι πρώτοι που διαπίστωσαν τη μεγάλη ποικιλία του μεγέθους των κόκκων και τους ταξινόμησαν σε τρεις βασικές ομάδες, τους ψηφίτες (κροκάλες-χαλίκια), τους ψαμμίτες (άμμους) και τους πηλίτες (ιλύες-αργίλους) **(από Μουρτζάκης 2011)**. Η βασική αυτή ταξινόμηση με ορισμένες παραλλαγές που έγιναν από νεώτερους ερευνητές ισχύει ακόμα και σήμερα με τα ακόλουθα όρια:

Πίνακας 5.α Ταξινόμηση των κόκκων

Μέγεθος κόκκων	>2mm	Κροκάλες - χαλίκια	
Μέγεθος κόκκων	2mm – 0.0625 mm	Άμμος (sand)	
Μέγεθος κόκκων	0.0625mm –0.0020 mm	Ιλύς (silt)	Πηλός (mud) = Αργίλος (clay) + 50% (silt)
Μέγεθος κόκκων	<0.0020 mm	Αργίλος (clay)	

5.1 Διαδικασία Κοκκομετρικής Ανάλυσης

Η κοκκομετρική ανάλυση, έχει ως σκοπό τον καθορισμό της λιθολογίας, και τον προσδιορισμό των κοκκομετρικών παραμέτρων για την περιγραφή της κοκκομετρικής κατανομής των ιζημάτων, έγινε με την μέθοδο των κοσκίνων για το αδρομερές μέρος των ιζημάτων (>63 μ m) και με την μέθοδο laser για το λεπτομερές μέρος των ιζημάτων.

Από κάθε δείγμα 300 gr περίπου τοποθετήθηκαν σε ποτήρια ζέσεως των 1000 ml στα οποία προστέθηκε νερό και το περιεχόμενο των ποτηριών αναδεύθηκε για μερικά λεπτά κατά αραιά χρονικά διαστήματα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν 38 κοκκομετρικές αναλύσεις. Μετά την παρέλευση 24 ωρών, εκ του συνόλου των 38 κοκκομετρικών, 5 αναλύσεις δεν πραγματοποιήθηκαν λόγω της μη αποσυμπέτρωσης των δειγμάτων (*Πίνακας 6α Διαστασιολόγηση, Περιγραφή δοκιμίων*). Έπειτα τα δείγματα υποβλήθηκαν σε υγρή κοσκίνιση ώστε να επιτευχθεί ένας πρώτος διαχωρισμός μεταξύ των αδρομερών συστατικών (ψηφίδες +άμμος) και των λεπτομερών συστατικών (πηλός και άργιλος). Η υγρή κοσκίνιση είναι μια έκπλυση του δείγματος με αποσταγμένο νερό μέσα σε κόσκινο διαμέτρου κόκκων 63 μ m όπου το διερχόμενο υλικό (κόκκοι μεγέθους πηλού και αργίλου + νερό) συγκεντρώνεται σε ποτήρια ζέσεως των 1000 ml ενώ το συγκρατούμενο (κόκκοι μεγέθους μεγαλύτερων των 63 μ m αλλά και υλικό μικρότερης διαμέτρου που δεν κατόρθωσε να περάσει από το κόσκινο) μεταφέρεται σε ποτήρια ζέσεως των 400 ml και τοποθετείται σε φούρνο για να ξηρανθεί.

Το μέρος του δείγματος που συγκρατήθηκε κατά την υγρή κοσκίνιση (*Εικόνα 5.1 Πραγματοποίηση της υγρής κοσκίνισης*) αφού ξηράνθηκε, ζυγίστηκε και υποβλήθηκε σε ξηρή κοσκίνιση (*Εικόνα 5.2 Πραγματοποίηση της ξηρής κοσκίνισης – Κοσκινιέρα*) Το υλικό που πέρασε από το κόσκινο διαμέτρου 63 μ m αφού ζυγίστηκε, εφαρμόστηκε η ανάλυση με την μέθοδο laser.

Επίσης, είναι σημαντικό να σημειωθεί το γεγονός πως για την μέτρηση και την εξαγωγή συμπερασμάτων στις ιζηματολογικές Αναλύσεις έγινε αναγωγή του % w/v (Laser) σε % w/w (Κόσκινο).



Εικόνα 5.1 Πραγματοποίηση της υγρής κοσκίνισης



Εικόνα 5.2 Πραγματοποίηση της ξηρής κοσκίνισης – Κοσκινιέρα

Με τα στοιχεία που εξήχθησαν από την κοκκομετρική ανάλυση κατασκευάστηκαν οι αθροιστικές κοκκομετρικές καμπύλες (Παράρτημα 3. Πίνακας.ε. Διαγράμματα Αθροιστικών κοκκομετρικών κατανομών δειγμάτων) έπειτα καθορίστηκε ο λιθολογικός χαρακτήρας των ιζημάτων με την βοήθεια της ταξινόμησης κατά Folk and Ward (1970) και υπολογίσθηκαν οι στατιστικές παράμετροι (διάμεσος Md, αριθμητικός μέσος Mz, τυπική απόκλιση σί, ασυμμετρία, και κύρτωση)

Πίνακας 5.β Στατιστικές Παράμετροι (από Κοντόπουλος, 2007)

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ
Διάμεσος Md	$\Phi 50$
Αριθμητικός Μέσος Mz	$(\Phi 16 + \Phi 50 + \Phi 84) / 3$
Τυπική Απόκλιση σG	$(\Phi 84 - \Phi 16) / 2$
Τυπική Απόκλιση σί	$((\Phi 84 - \Phi 16) / 4) + ((\Phi 95 - \Phi 5) / 6,6)$
Ασυμμετρία SK1	$((\Phi 16 + \Phi 84 - 2 * \Phi 50) / (2 * (\Phi 84 - \Phi 16))) + ((\Phi 5 + \Phi 95 - 2 * \Phi 50) / (2 * (\Phi 95 - \Phi 5)))$

➤ 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)

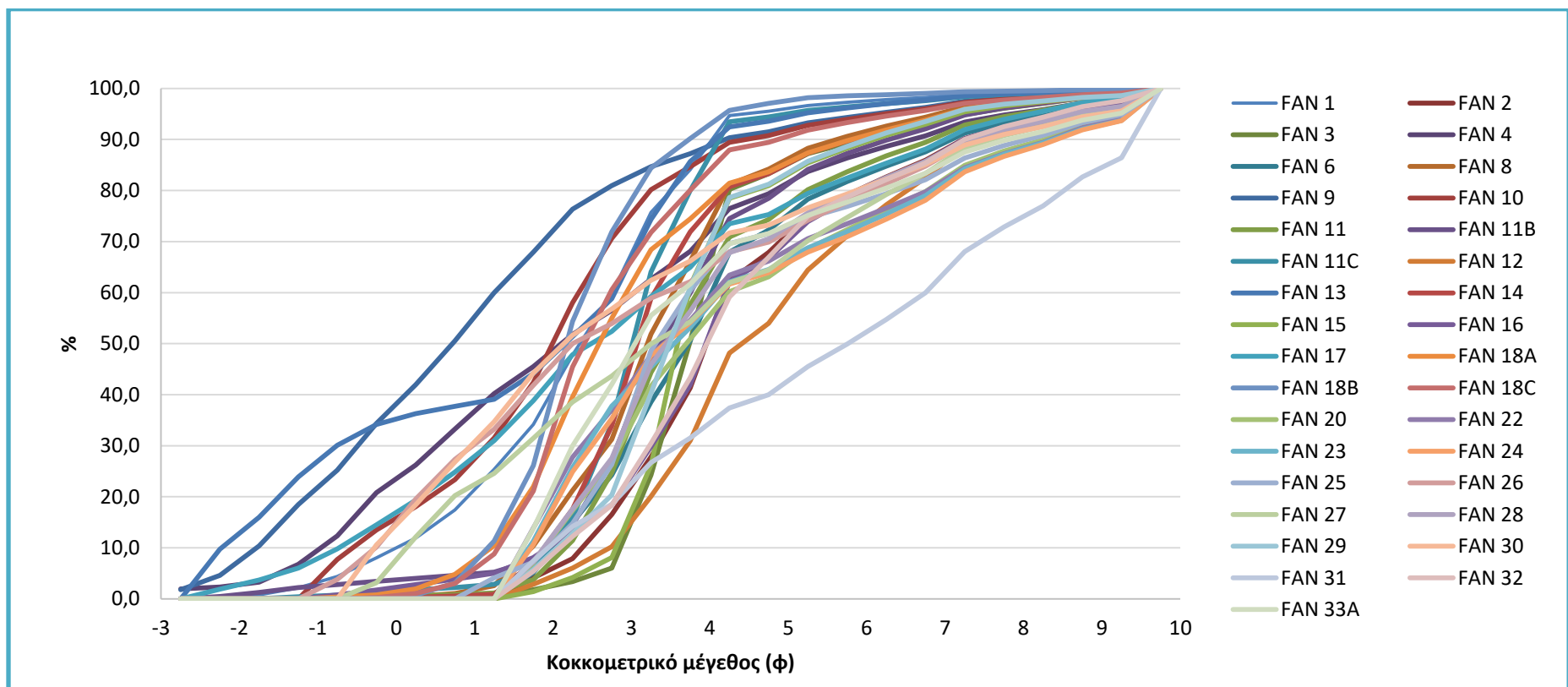
Όταν οι τιμές μιας μεταβλητής δεν ισαπέχουν από το σημείο της μέγιστης συχνότητας (επικρατούσα τιμή ή τύπος = Mode) και πάντα από τη μια πλευρά του σημείου μέγιστης συχνότητας (Mode) υπάρχει μεγαλύτερος αριθμός συχνοτήτων σε σχέση προς την άλλη πλευρά του, τότε η καμπύλη είναι ασύμμετρη.

➤ 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)



Εικόνα 5.3 : Αθροιστικές κοκκομετρικές αναλύσεις δειγμάτων

Πίνακας 5.σ Χαρακτηρισμός Κοκκομετρικών Παραμέτρων

Δείγμα	Ταξιθέτηση	Ασυμμετρία	Κύρτωση
FAN 1	φτωχή ταξιθέτηση	αρνητική ασυμμετρία	μεσόκυρτη
FAN 2	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
FAN 3	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	πολύ λεπτόκυρτη
FAN 4	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	μεσόκυρτη
FAN 6	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
FAN 8	φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
FAN 9	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
FAN 10	φτωχή ταξιθέτηση	κανονική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
FAN 11	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
FAN 11B	φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	πολύ λεπτόκυρτη
FAN 11C	μέτρια ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
FAN 12	φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	μεσόκυρτη
FAN 13	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	πολύ αρνητική ασυμμετρία	πλατύκυρτη
FAN 14	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	πολύ λεπτόκυρτη
FAN 15	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	πολύ λεπτόκυρτη
FAN 16	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
FAN 17	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	μεσόκυρτη
FAN 18A	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
FAN 18B	μέτρια ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
FAN 18C	φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
FAN 20	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	μεσόκυρτη
FAN 22	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	πλατύκυρτη
FAN 23	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	πλατύκυρτη
FAN 24	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	πλατύκυρτη
FAN 25	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
FAN 26	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	πλατύκυρτη
FAN 27	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	πλατύκυρτη
FAN 28	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
FAN 29	φτωχή ταξιθέτηση	θετική ασυμμετρία	πολύ λεπτόκυρτη
FAN 30	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	πλατύκυρτη
FAN 31	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	κανονική ασυμμετρία	πλατύκυρτη
FAN 32	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	λεπτόκυρτη
FAN 33A	πολύ φτωχή ταξιθέτηση	πολύ θετική ασυμμετρία	μεσόκυρτη

• 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 φ 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.

Με βάση τις Αθροιστικές καμπύλες και τον υπολογισμό των στατιστικών παραμέτρων (Πίνακας 5.α Χαρακτηρισμός Κοκκομετρικών Παραμέτρων, Παράρτημα 3. Πίνακας.ε. Διαγράμματα Αθροιστικών κοκκομετρικών κατανομών δειγμάτων) προέκυψαν τα εξής: Ο βαθμός ταξιθέτησης στο 51,5% των αναλυθέντων δειγμάτων δείχνει ότι τα ιζήματα έχουν πολύ φτωχή ταξιθέτηση ($\sigma_i > 2\phi$), με το 42,4 % να χαρακτηρίζεται από φτωχή ταξιθέτηση. Η ασυμμετρία των αναλυθέντων δειγμάτων χαρακτηρίζεται γενικά από θετική (33%), μέχρι και πολύ θετική ασυμμετρία (54,5 %). Τέλος η κύρτωση των αναλυθέντων δειγμάτων έδειξε πως κατέχει ένα ευρύ φάσμα τιμών, όπου το 42,4 % των δειγμάτων ανήκει στις λεπτόκυρτες καμπύλες με το υπόλοιπο ποσοστό να χαρακτηρίζεται από πλατύκυρτη, μεσόκυρτη και πολύ λεπτόκυρτη καμπύλη.

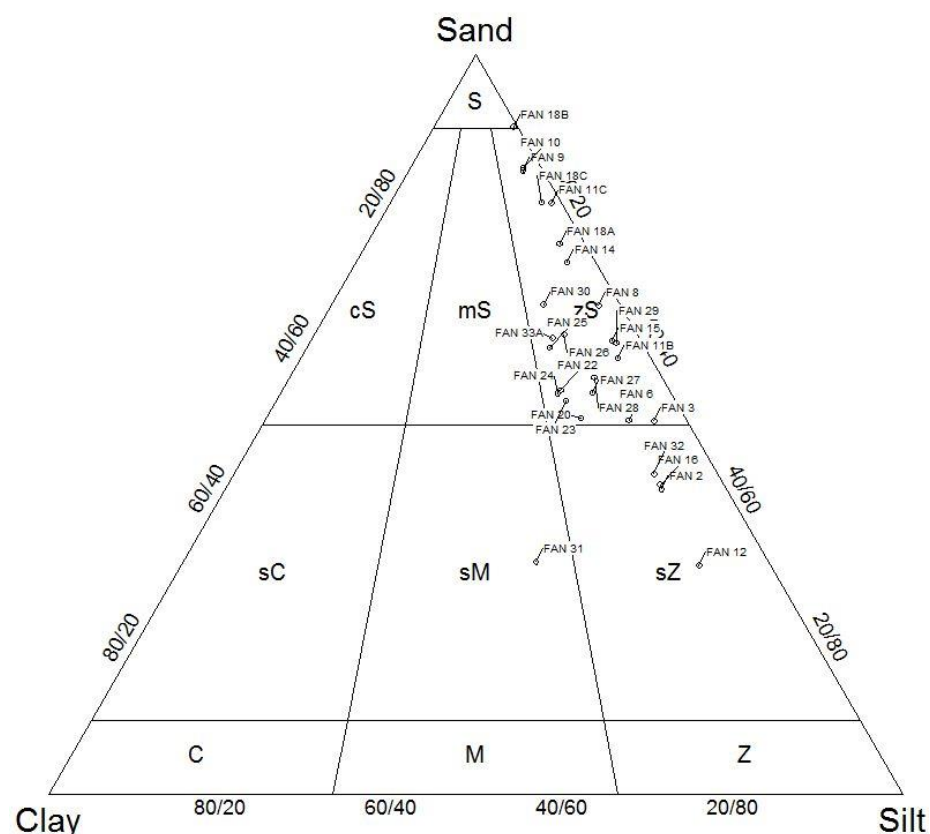
Με βάση τα ποσοστά των επί μέρους κλασμάτων: χαλίκι, άμμος, πηλός, και άργιλος, που υπολογίστηκαν από τις κοκκομετρικές αναλύσεις, τα αναλυθέντα δείγματα προβάλλονται σε τριγωνικά διαγράμματα λιθολογικής ονοματολογίας (κατά Folk 1974)

Πίνακας 5.δ Αποτελέσματα Κοκκομετρικών Αναλύσεων των δειγμάτων

Δείγμα	Χαλίκι %	Άμμος %	Ιλύς %	Πηλός %	Άργιλος %
FAN 1	2,2	81,9	15,1	15,9	0,8
FAN 2	0	41,3	51,1	58,7	7,6
FAN 3	0	50,5	45,6	49,5	3,9
FAN 4	6,8	61,3	26,7	31,9	5,2
FAN 6	0	50,6	42,6	49,4	6,8
FAN 8	0	66,1	31,3	33,9	2,6
FAN 9	18,5	68,7	10,9	12,8	1,9
FAN 10	0	84,7	13,2	15,3	2,1
FAN 11	0,1	57,5	36,9	42,4	5,5
FAN 11B	2,2	57,7	36,3	40,1	3,8
FAN 11C	0,4	79,6	18,8	20	1,2
FAN 12	0	31	60,6	69	8,4
FAN 13	23,9	61,8	13,2	14,3	1,1
FAN 14	0	71,9	24,7	28,1	3,4
FAN 15	0	61,3	35,3	38,7	3,4
FAN 16	0	41,9	50,6	58,1	7,5
FAN 17	6	58,9	29	35,1	6
FAN 18A	0	74,4	22,6	25,6	3
FAN 18B	0	90,2	9,3	9,8	0,5
FAN 18C	0	80,1	17,7	19,9	2,3
FAN 20	0	50,9	36,8	49,1	12,3
FAN 22	0	54,6	32,6	45,4	12,8
FAN 23	0	53,2	33,9	46,8	12,9
FAN 24	0	54,2	32,5	45,8	13,3
FAN 25	0	60,4	28,4	39,6	11,2

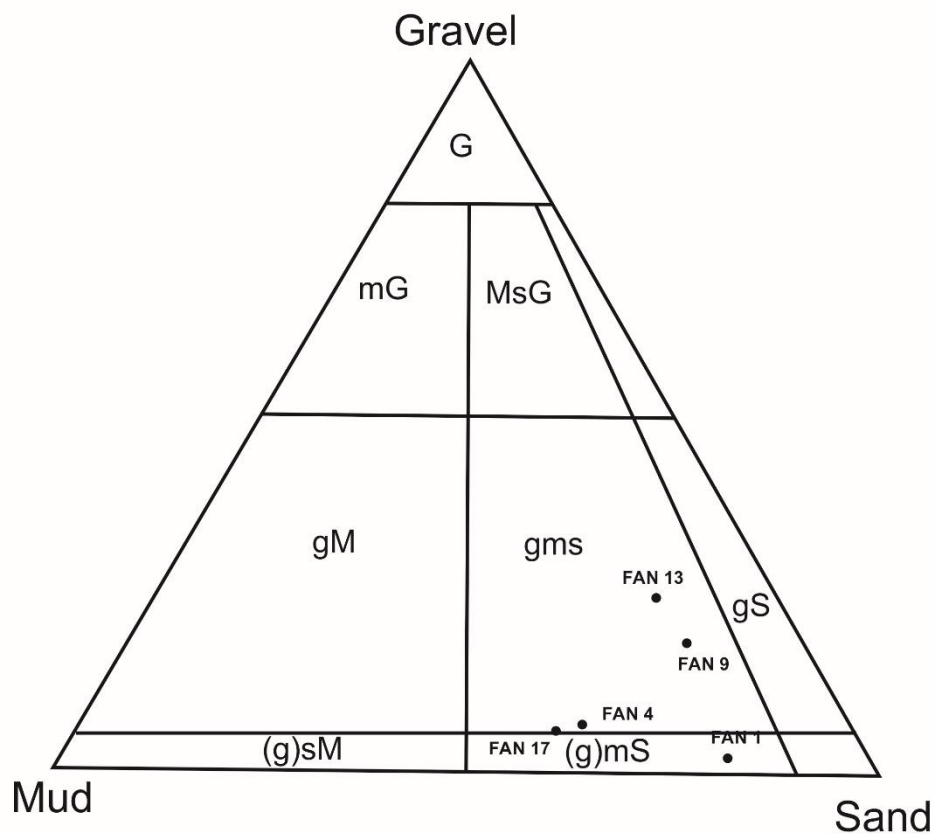
FAN 26	0	62,1	29,2	37,9	8,6
FAN 27	0	54,3	36,5	45,7	9,2
FAN 28	0	56,3	35,7	43,7	8
FAN 29	0	61	35,9	39	3,1
FAN 30	0	66,2	24,8	33,8	9
FAN 31	0	31,5	41,3	68,5	27,2
FAN 32	0	43,3	49,1	56,7	7,5
FAN 33A	0	61,7	28,1	38,3	10,2

- Η ταξινόμηση σε λιθολογικούς τύπους ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων γίνεται με τη βοήθεια Τριγωνικών διαγραμμάτων Ταξινόμησης και Ονοματολογίας.
- Σύμφωνα με την εκατοστιαία συμμετοχή των διαφόρων κοκκομετρικών τάξεων
- Τα τριγωνικά συστήματα ταξινόμησης διακρίνονται σε:
 - ⇒ Διαγράμματα για **λεπτόκοκκα ιζήματα** με $d < 2 \text{ mm}$ (άμμος-άργιλος-ιλύς)
 - ⇒ Διαγράμματα για **χονδρόκοκκα ιζήματα** με $d > 2 \text{ mm}$ (ψηφίδες-πηλός-άμμος)



Εικόνα 5.4: Τριγωνικό Διάγραμμα λεπτόκοκκων ιζημάτων κατά Folk (1974)

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



Εικόνα 5.5 Τριγωνικό Διάγραμμα μεσόκκοων ιζημάτων κατά Folk (1974)

G ψηφίδες, **sG** αμμούχες ψηφίδες, **msG** ιλυούχες αμμούχες ψηφίδες, **mG** ιλυούχες ψηφίδες, **gS** ψηφιδούχος άμμος, **gms** ψηφιδούχος ιλυούχος άμμος, **Gm** ψηφιδούχος ιλύς, **(g)S** ελαφριά ψηφιδούχος άμμος, **(g)mS** ελαφριά ψηφιδούχος ιλυούχος άμμος, **(g)M** ελαφριά ψηφιδούχος ιλύς, **mS** ιλυούχος άμμος, **sM** αμμούχος ιλύς, **S** άμμος, **M** ιλύς

Πίνακας 5.ε Συγκριτικά χαρακτηριστικά των μεθόδων ξηρής/υγρής κοσκίνισης & Διάθλασης με λειζερ (Laser diffraction Analysis) (από Πυλιώτης, 2011)

Χαρακτηριστικά	Μέθοδος Ξηρής /Υγρής Κοσκίνισης	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 (%) Ιλός, 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

6 Αποτελέσματα

Η μεταβολή φυσικών και χημικών παραμέτρων ενός αρχικού ιζήματος σε διαφορετικά αποθετικά περιβάλλοντα κατά την απόθεση και κατά την διαγένεση είναι καθοριστικής σημασίας για τις τιμές των χαρακτηριστικών πετροφυσικών παραμέτρων όπως το πορώδες και η διαπερατότητα. Για τον καθορισμό των δύο αυτών παραμέτρων ακολουθηθήθηκε στα δείγματα που πάρθηκαν από την φυσική τομή στην περιοχή του φράγματος της Φανερωμένης 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 κοσκίνιση (όσων δειγμάτων ρευστοποιήθηκαν ύστερα από εμβάπτιση σε νερό). Το πορώδες και η διαπερατότητα μετρήθηκαν όπως έχει αναφερθεί ανωτέρω. Στους επόμενους πίνακες παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Πίνακας 6.α Διαστασιολόγηση, Περιγραφή και Λιθολογικός χαρακτήρας δοκιμίων

Δείγμα	Πυρήνας**	Μήκος Πυρήνα (L - cm)	Πλάτος Πυρήνα (D - cm)	Περιγραφή πεδίου	Λιθολογικός χαρακτήρας κατά Folk (1974)
FAN 1	—	—	—	Εναλλαγές κροκαλοπαγών με ψαμμίτες, έντονος ο ηπειρωτικός χαρακτήρας	Ελαφρώς χαλικώδης ιλυούχος Άμμος
FAN 2	VA1	2.24	2.45	Εναλλαγές ψαμμιτικών πάγκων με κροκαλοπαγή	Αμμούχος Ιλύς
FAN 3	—	—	—	μαργαϊκός ψαμμίτης	Ιλυούχος Άμμος
FAN 4	VA1	1.76	2.53	κροκαλοπαγές που μεταβαίνει σε μάργα	Ψηφιδούχος ιλυούχος άμμος
FAN 5	VA1	2.21	2.52	μαργαϊκός ψαμμίτης	*
FAN 6	VA1	3.89	2.51	Λεπτόκοκκος ψαμμίτης	Ιλυούχος Άμμος
	VA2	4.73	2.49		
	VA3	3.45	2.52		
	VA4	3.88	2.51		
	VA5	2.45	2.47		
FAN 7	VA1.1	2.61	2.5	λεπτόκοκκος ψαμμίτης έντονα συμπαγοποιημένος	*
	VA1.2	3.79	2.51		
	VA2	3.84	2.51		
	VA3	3.69	2.46		
FAN 8	VA1	2.93	2.49	ψαμμίτης	Ιλυούχος Άμμος
	VA2	2.91	2.52		
FAN 9	—	—	—	μικροκροκαλοπαγή	Ψηφιδούχος ιλυούχος άμμος
FAN 10	—	—	—	κροκαλοπαγές	Ιλυούχος Άμμος
FAN 11(A,B,C)	—	—	—	Εναλλαγές ψαμμίτη προς κροκαλοπαγές	Ιλυούχος Άμμος
FAN 12	HA1	2.22	2.56	λεπτόκοκκος ψαμμίτης που περιέχει κροκάλες	Αμμούχος Ιλύς
FAN 13	VA1	2.65	2.47	ψαμμίτης λεπτόκοκκος	Ψηφιδούχος ιλυούχος άμμος
	VA2	3.21	2.47		
FAN 14	—	—	—	ψαμμίτης λεπτόκοκκος	Ιλυούχος Άμμος
FAN 15	—	—	—	Ψαμμίτης άστρωτος τουλάχιστον 10 μέτρα	Ιλυούχος Άμμος
FAN 16	HA1	4	2.55	μετάβαση από μαργαϊκό ψαμμίτη σε κροκαλοπαγές.	Αμμούχος Ιλύς
FAN 17	—	—	—	κροκαλοπαγές	Ψηφιδούχος ιλυούχος άμμος
FAN 18A	—	—	—	Ψαμμίτης άνω τμήμα	Ιλυούχος Άμμος

FAN 18B	—	—	—	Ψαμμίτης κατώτερο τμήμα	Άμμος
FAN 18C	—	—	—	Ψαμμίτης κατώτερο τμήμα	Ιλυούχος Άμμος
FAN 19	VA1	3.7	2.56	Μάργα	*
	VA2	1.36	2.50		
	HA1	1.69	2.54		
FAN 20	VA1	2.87	2.50	μαργαϊκός ψαμμίτης	Ιλυούχος Άμμος
FAN 21	VA1	3.61	2.54	μαργαϊκός ψαμμίτης απο τον δεύτερο μεγάλο πάγκο	*
	VA2	2.46	2.53		
	VA3	2.75	2.56		
	VA1	4.21	2.55		
FAN 22	VA1	4.26	2.51	μαργαϊκός ψαμμίτης	Ιλυούχος Άμμος
	HA1	3.52	2.44		
FAN 23	VA1	3.87	2.58	μαργαϊκός ψαμμίτης	Ιλυούχος Άμμος
	VA2	3.71	2.54		
	VA3	2.61	2.56		
FAN 24	VA1	2.52	2.54	μαργαϊκός ψαμμίτης	Ιλυούχος Άμμος
	VA2	1.95	2.54		
FAN 25	VA1	3.9	2.31	μάργα	Ιλυούχος Άμμος
	VA2	3.9	2.50		
FAN 26	—	—	—	κροκαλοπαγές	Ιλυούχος Άμμος
FAN 27	—	—	—	κροκαλοπαγές	Ιλυούχος Άμμος
FAN 28	VA1	1.98	2.5	εναλλαγές μαργών ψαμμιτών	Αμμούχος Ιλός
FAN 29	—	—	—	Ψαμμίτης	Ιλυούχος Άμμος
FAN 30	VA1	4.71	2.50	μικροκροκαλοπαγή	Ιλυούχος Άμμος
	VA2	3.44	2.51		
	VA3	2.35	2.49		
	VA4	1.90	2.50		
FAN 31	VA1	2.03	2.42	μικροκροκαλοπαγή	Αμμούχος Ιλός
FAN 32	VA1	1.63	2.51	ψαμμίτης	Ιλυούχος Άμμος
	HA1	2.35	2.51		
FAN 33A	AVA1	1.96	2.54	μαργαϊκός ψαμμίτης	Ιλυούχος Άμμος
	AHA1	2.42	2.54		
	AHA2	2.59	2.41		
FAN 33B	B VA1	2.99	2.49	μαργαϊκός ψαμμίτης	*

* Τα πορώδη μέσα FAN 5, FAN 7, FAN 19, FAN 21, FAN 33B δεν μπορούν να περιγραφούν κατά Folk καθώς δεν έχουν πραγματοποιηθεί σε αυτά κοκκομετρικές αναλύσεις

** Προσανατολισμός πυρήνα κάθετα (VA), και οριζόντια στη στρώση (HA)

Πίνακας 6.β Πορώδες, διαπερατότητα δοκιμών

Δείγμα	Πυρήνες	Πορώδες (%)	Διαπερατότητα (mD)			
			25 (atm)	50 (atm)	100 (atm)	200 (atm)
FAN 1	—	—	—	—	—	—
FAN 2	VA1	8.93	—	—	—	—
FAN 3	—	—	—	—	—	—
FAN 4	VA1	28.25	—	—	—	—
FAN 5	VA1	25.21	—	—	—	—
FAN 6	VA1	5.27	0.17	0.16	0.16	0.17
	VA2	12.91	0.07	0.18	0.07	0.07
	VA3	8.37	—	—	—	—
	VA4	5.78	0.17	0.16	0.17	0.17
	VA5	31.86	—	—	—	—
FAN 7	VA1.1	13.74	—	—	—	—
	VA1.2	7.89	0.12	0.12	0	0
	VA2	9.09	0.12	0.12	0.13	0.11
	VA3	3.23	—	—	—	—
FAN 8	VA1	23.30	3.16	2.73	2.71	2.45
	VA2	23.54	28.85	27.44	28.56	26.11
FAN 9	—	—	—	—	—	—
FAN 10	—	—	—	—	—	—
FAN 11	—	—	—	—	—	—
FAN 12	HA1	34.30	—	—	—	—
FAN 13	VA1	24.93	—	—	—	—
	VA2	15.50	12.08	10.37	9.25	9.16
FAN 14	—	—	—	—	—	—
FAN 15	—	—	—	—	—	—
FAN 16	HA1	36.73	—	—	—	—
FAN 17	—	—	—	—	—	—
FAN 18	—	—	—	—	—	—
FAN 19	VA1	34.92	0.19	0.20	0.24	0.20
	VA2	47.42	—	—	—	—
	HA1	43.75	—	—	—	—
FAN 20	VA1	35.15	—	—	—	—
FAN 21(B,C)	BVA1	29.78	0.34	0.51	0.44	0.40
	BVA2	29.41	—	—	—	—
	BVA3	32.08	1.11	0.82	0.61	0.54
	CVA1	44.81	7.96	7.48	32.84	5.41
FAN 22	VA1	31.34	12.86	11.88	10.62	10.40
	HA1	33.98	0.65	0.51	0.46	0.45
FAN 23	VA1	62.04	—	—	—	—
	VA2	35.31	3.26	2.83	2.61	2.19
	VA3	38.00	0.85	0.76	0.68	0.55
FAN 24	VA1	32.22	0.81	0.69	0.60	0.45
	VA2	29.05	—	—	—	—

FAN 25	VA1	24.85	0.23	0.21	0.27	—
	VA2	28.63	0.52	0.46	0.40	0.32
FAN 26	—	—	—	—	—	—
FAN 27	—	—	—	—	—	—
FAN 28	VA1	42.51	—	—	—	—
FAN 29	—	—	—	—	—	—
FAN 30	VA1	30.61	21.04	20.26	17.46	13.26
	VA2	9.00	0.13	0.17	0.03	0.15
	VA3	25.75	—	—	—	—
	VA4	34.64	—	—	—	—
FAN 31	VA1	13.41	—	—	—	—
FAN 32	VA1	40.27	—	—	—	—
	HA1	45.41	—	—	—	—
FAN 33A	AVA1	40.25	—	—	—	—
	AHA1	34.07	—	—	—	—
	AHA2	28.42	—	—	—	—
FAN 33B	BVA1	34.53	0.63	0.50	0.34	0.32

* Στους πίνακες 6α και 6β η υποκείμενη κλαστική ενότητα (μέχρι και FAN 18) και η υπερκείμενη ανθρακοκλαστική ενότητα Lago Mare (FAN 19 – FAN 33B) είναι σημειωμένες με διαφορετική σκίαση.

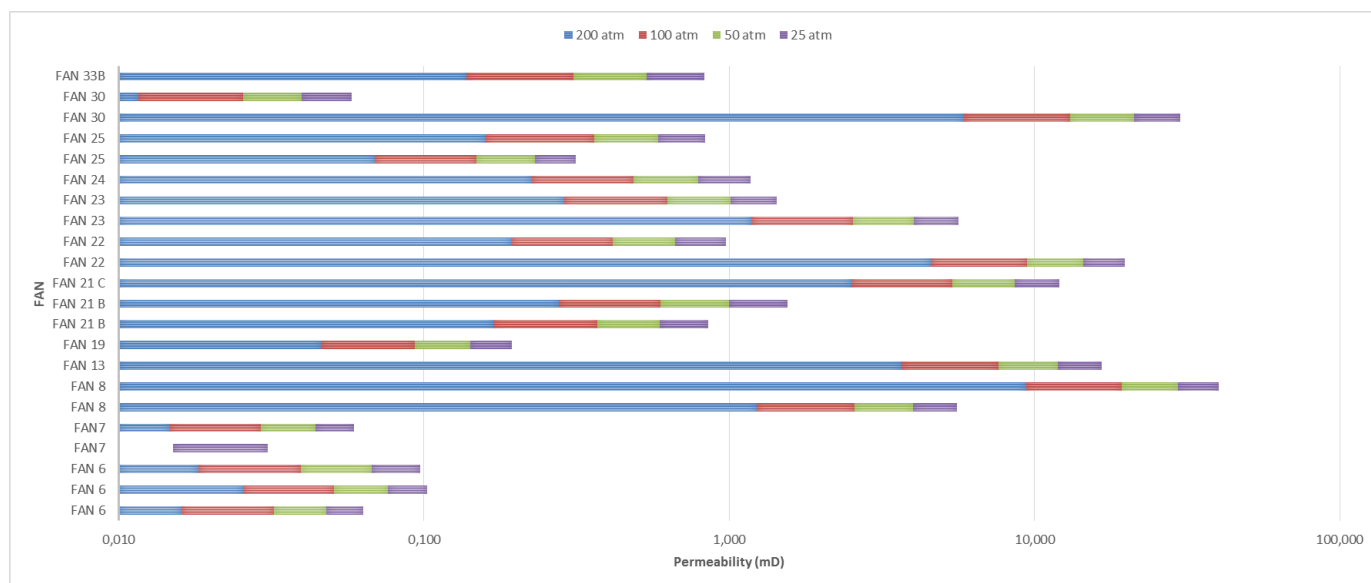
Πίνακας 6.ε Συγκριτικά αποτελέσματα Πορώδους

Πορώδες (%)	ΚΛΑΣΤΙΚΑ (FAN 1-18) (%)	ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ (FAN 19 - 33B) (%)
Μικρότερο Πορώδες (%)	3,23	9
Μεγαλύτερο Πορώδες (%)	36,73	62,04
Μ.Ο Πορώδους (%)	17,71	34,17

Πίνακας 6.δ Συγκριτικά αποτελέσματα Διαπερατότητας

Διαπερατότητα (%)	ΚΛΑΣΤΙΚΑ (FAN 1-18) (mD)	ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ (FAN 19 - 33B) (mD)
Μικρότερη Διαπερατότητα (mD)	0,01	0,01
Μεγαλύτερη Διαπερατότητα (mD)	10,05	7,49
Μ.Ο Διαπερατότητας (mD)	1,59	1,55

Πίνακας 6.ε Απεικόνιση σε ραβδόγραμμα των αποτελεσμάτων Διαπερατότητας



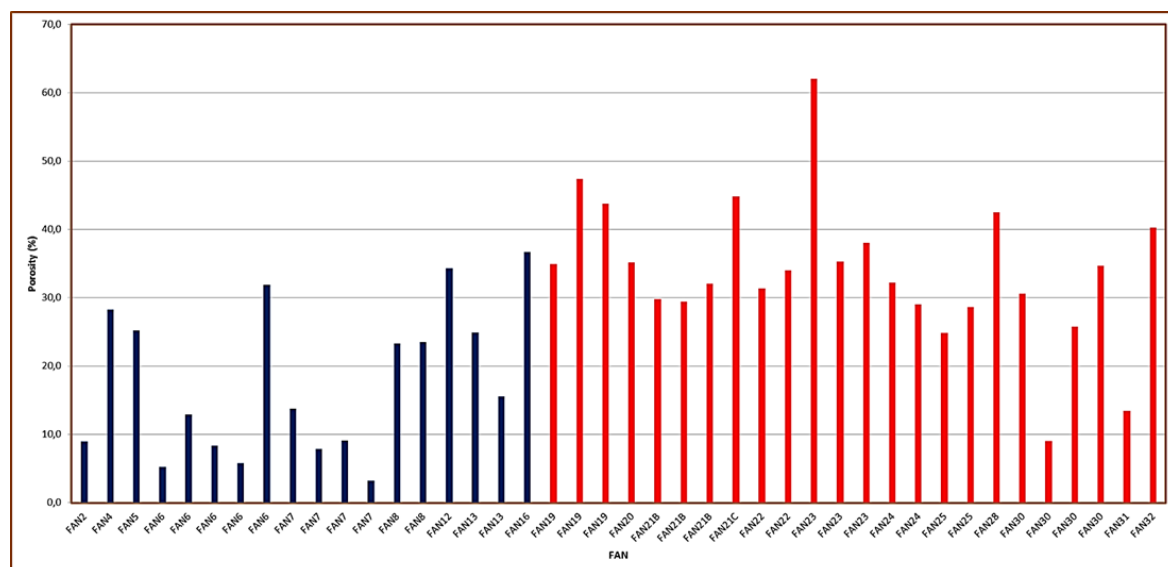
7 Συζήτηση και Συμπεράσματα

Σε μια εκτεταμένη περιοχή στην κεντρική Κρήτη, εντός της λεκάνης της Μεσσαράς, έχουν παρατηρηθεί σε υδρογεωτρήσεις διαφυγές μεθανίου διαγενετικής προέλευσης. 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. Ως επακόλουθο, 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, διαγενετικές αντιδράσεις 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 αισθητά, η

διαφορά στην λιθολογική περιγραφή κατά Folk (1974) για τα δείγματα τα οποία μελετήθηκαν (Πίνακας 6.α Διαστασιολόγηση, Περιγραφή δοκιμίων).

Πίνακας 7.α. Απεικόνιση σε ραβδόγραμμα του πορώδους των υπό μελέτη ψαμμιτικών δειγμάτων της Φανερωμένης. (μπλε απεικόνιση κλαστική ενότητα, κόκκινη απεικόνιση ανθρακοκλαστική υπερκείμενη ενότητα Lago Mare)



Στα Υπερκείμενα (FAN 19 -33B, 11 περιγραφές χαρακτηρίζονται ως Ιλυούχος Άμμος και 2 περιγραφές ως Αμμούχος Ιλύς) εν αντιθέσει με τα Υποκείμενα (FAN 1-18C) όπου γίνεται αντιληπτή η διαφοροποίηση στα δείγματα που μελετήθηκαν (9 περιγραφές ως Ιλυούχος Άμμος, 3 ως Αμμούχος Ιλυσ, 4 ως Ψηφιδούχος Ιλυούχος Άμμος, 1 ως ελαφρώς Χαλικώδης, 1 Άμμος). Πιο συγκεκριμένα:

- Υπερκείμενα (FAN 19 -33B) ⇒ Ενιαίο αποθετικό περιβάλλον (Lago Mare)
- Υποκείμενα (FAN 1-18C) ⇒ Εναλλασσόμενο αποθετικό περιβάλλον (πιθανώς δελταϊκό)

Επιπρόσθετα τα δείγματα FAN 8, FAN 21(B,C), FAN 22, και FAN 30 είναι ανομοιογενώς συμπαγοποιημένα, συμπέρασμα που προκύπτει από τις εμφανείς διαφορές στην διαπερατότητα που εμφανίζουν οι μεταξύ τους πυρήνες. Στην ανθρακο-κλαστική υπερκείμενη ενότητα Lago Mare το πορώδες κινείται από 9% έως 62,04% με μέσο πορώδες 34,17 %, (29 πυρήνες), ενώ στην υποκείμενη κλαστική ενότητα με 3,23 % έως

36,73 % και με μέσο πορώδες 17,71 % (18 πυρήνες). (Πίνακας 6.c Συγκριτικά αποτελέσματα Πορώδους, Πίνακας 6.d Συγκριτικά αποτελέσματα Διαπερατότητας)

Τέλος είναι παρακινδυνευμένη η τεκμηρίωση μέσω των τιμών διαπερατότητας για τους εξής λόγους: Μετρήθηκε μόνο σε δείγματα πολύ καλά συμπαγοποιημένα (δείγματα μέτριας διαγενετικής λιθοποίησης δεν έδωσαν πυρήνες προς μέτρηση διαπερατότητας). Σε αυτά τα δείγματα οι τιμές κινήθηκαν από 0,03 – 32,8 mD.

Βιβλιογραφία

Διεθνής

- **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.
- **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.
- **Folk R. L. (1974):** Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Co, Austin, Texas, 170p.
- **Dornsiepen, U.F. & Manutsoglu, E. (1994):** Zur Gliederung der Phyllit Decke Kretas und des Peloponnes. Z. dt. geol. Ges., 145, 286-303.
- **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
- **Moore & Wade (2013):** Carbonate Reservoirs, Porosity and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework, Elsevier, 2nd 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.
- **Seidel E., H. Kreuzer & W. Harre (1982):** A late Oligocene/early Miocene high pressure belt in the external Hellenides, Geol. Jb., E23, 165-206.
- **van Hinsbergen, D. and Meulenkamp, J.E. (2006):** Neogene supradetachment basin development on Crete (Greece) during exhumation of the South Aegean core complex. Basin Research, 18, 103-124.
- **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.

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, Δημοσίευτη διδακτορική διατριβή Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος (ΕΚΠΑ) σελ. 564 , Αθήνα. <http://phdtheses.ekt.gr/eadd/handle/10442/21417>
- **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 γεωϋλικών, Μεταπτυχιακή εργασία, Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, 307 σελ, Χανιά
- **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. Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή Γεωλογικού Τμήματος Παν/μιου Πατρών, σελ. 181, Πάτρα.
- **Κοντόπουλος Ν. (2007):** Σημειώσεις Ιζηματολογίας της σχολής Θετικών επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών
- **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 Μεσσαρά Κρήτης, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ 49, Πάτρα.
- **Μοφόρης Λ. (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 Άλφα 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.

Πηγές από το Διαδίκτυο




- [1] www.chania.gr
- [2] <http://www.gliderengineering.com/laboratoridenvol/info/tech/porosity/porosity.en.html>

Παράρτημα

- ① Παράρτημα 1: Περιοχή Δειγματοληψίας
- ② Παράρτημα 2: Πυρηνοληψία
- ③ Παράρτημα 3: Κοκκομετρικές Αναλύσεις

Παράρτημα.1 Περιοχή Δειγματοληψίας

Παράρτημα 1. Πίνακας.α.Φωτογραφική απεικόνιση περιοχής Δειγματοληψίας

ΔΕΙΓΜΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ
FAN 1 Εναλλαγές κροκαλοπαγών με ψαμμίτες, έντονος ο ηπειρωτικός χαρακτήρας	
FAN 2 Εναλλαγές ψαμμιτικών πάγκων με κροκαλοπαγή	
FAN 3 μαργαϊκός ψαμμίτης	

FAN 4 κροκαλοπαγές που
μεταβαίνει σε μάργα



FAN 5 μαργαϊκός ψαμμίτης



FAN 6 λεπτοκοκκος ψαμμίτης



FAN 7 λεπτόκοκκος ψαμμίτης
έντονα συμπαγοποιημένος



FAN 8 ψαμμίτης



FAN 9 μικρόκροκαλοπαγή



FAN 10 κροκαλοπαγές



FAN 11 (Α,Β,Γ) εναλλαγές
ψαμμίτη προς κροκαλοπαγές



FAN12 λεπτόκοκκος ψαμμίτης
που περιέχει κροκάλες



FAN13 ψαμμίτης λεπτόκοκκος



FAN14 ψαμμίτης λεπτόκοκκος



FAN15 ψαμμίτης “αστρωτος”
τουλάχιστον 10 μέτρα



FAN16 μετάβαση από
μαργαϊκό ψαμμίτη σε
κροκαλοπαγές.



FAN17 κροκαλοπάγες



FAN 18A,B,C ψαμμίτης



FAN19,20,21A μάργα,
μαργαϊκός ψαμμίτης

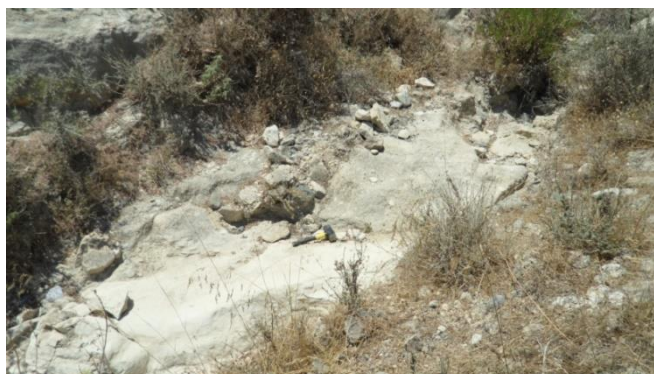


FAN21B , 21C, 22, 23, 24

μαργαϊκός ψαμμίτης απο τον
δεύτερο μεγάλο πάγκο,
μαργαϊκός ψαμμίτης



FAN25 μάργα



FAN26,27 κροκαλοπαγές



FAN28 εναλλαγές μαργών
ψαμμιτών



FAN29 ψαμμίτης



FAN30 μικροκρόκαλοπαγή



FAN31 μικροκρόκαλοπαγή



FAN32 ψαμμίτης



FAN33A μαργαϊκός ψαμμίτης



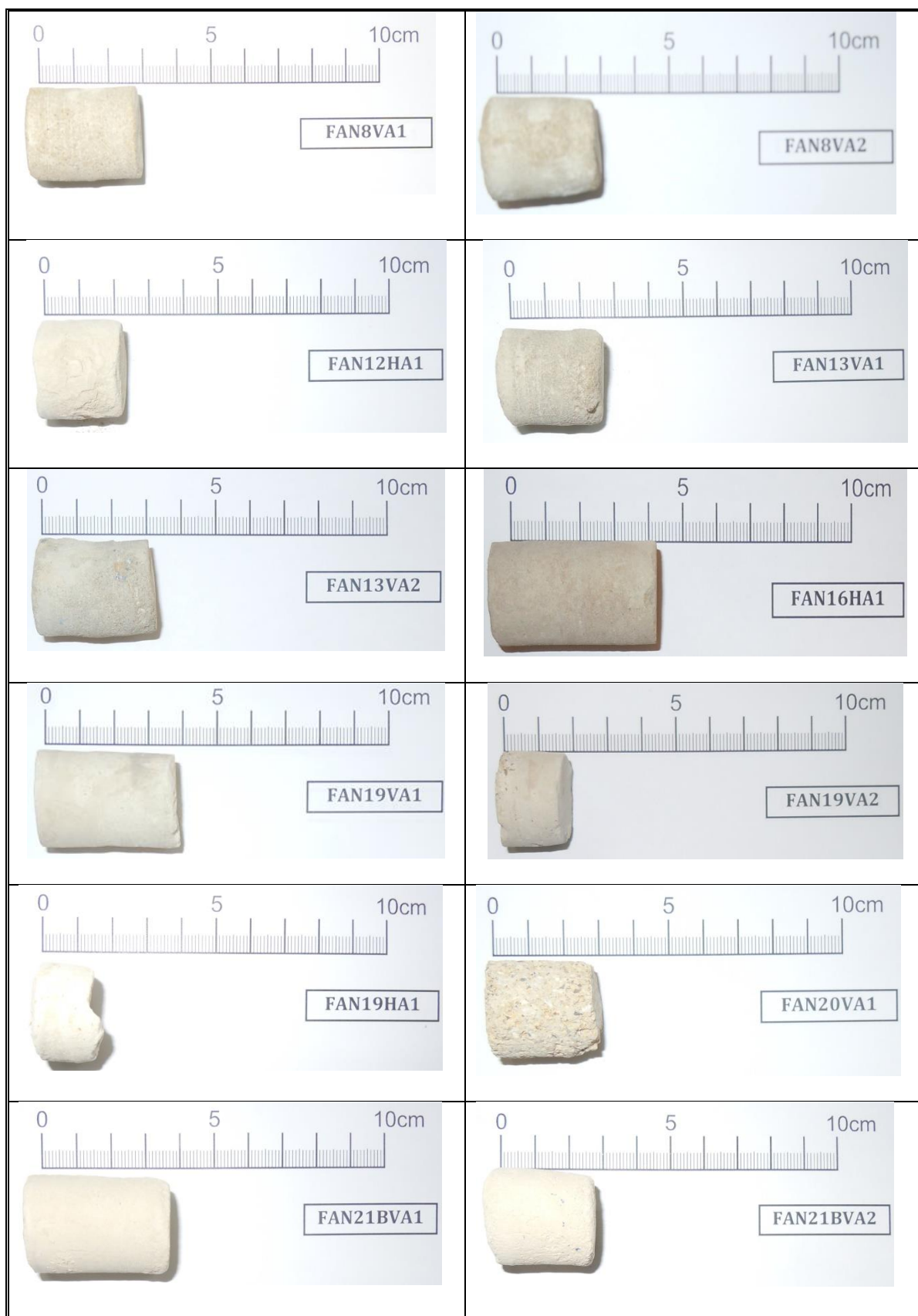
FAN33B μαργαϊκός ψαμμίτης

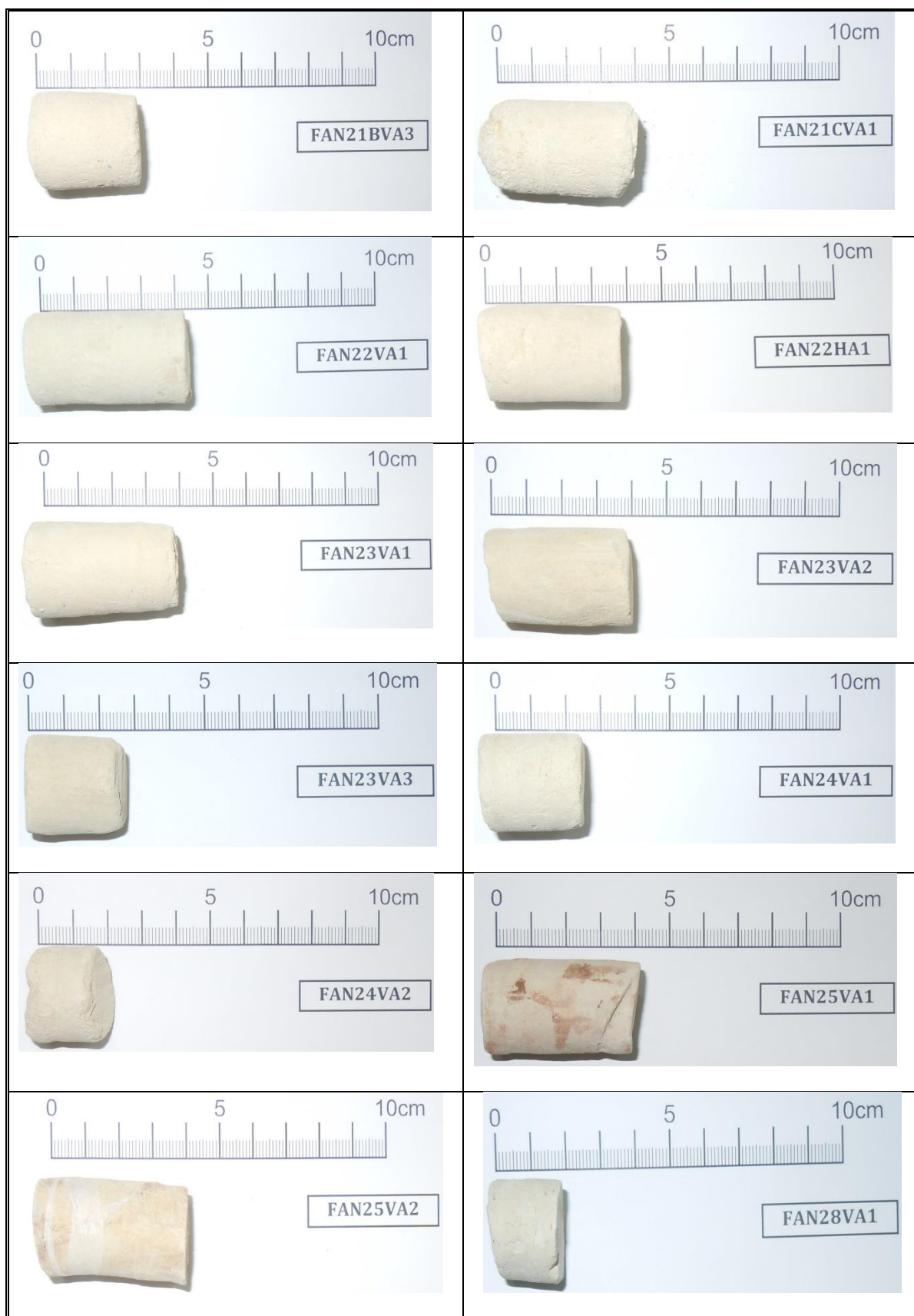


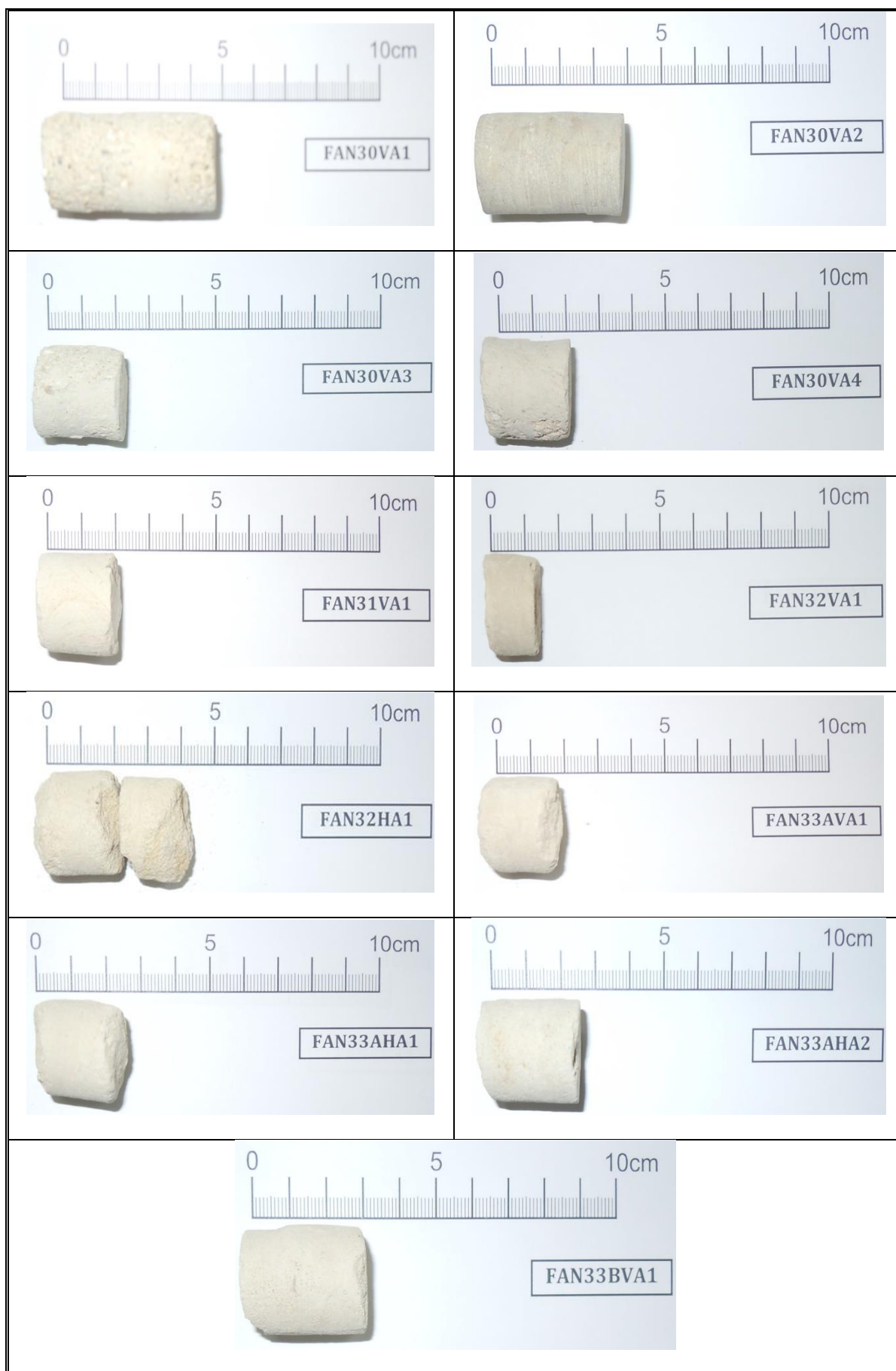
Παράρτημα.2 Πυρηνοληψία, Εργαστηριακές Μετρήσεις

Παράρτημα 2. Πίνακας.β Φωτογραφική απεικόνιση πυρήνων







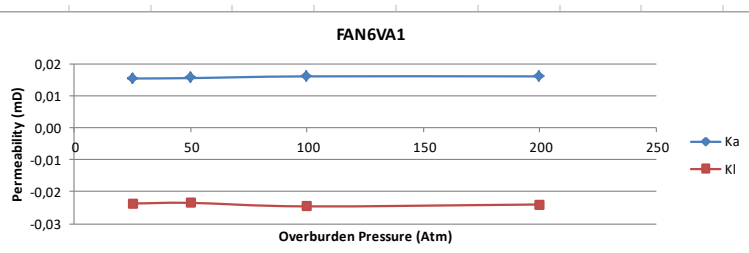


Παράρτημα 2. Πίνακες.ε Διαγράμματα διαπερατότητας

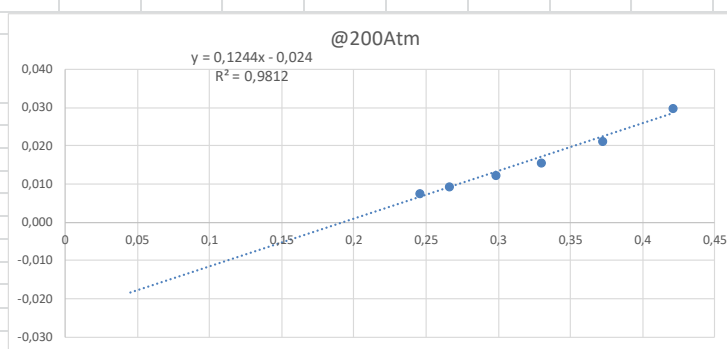
FAN6VA1	r (cm)	2,51
	A(cm2)	19,78
	L(cm)	3,89

ξώδες αερα (@20 οC	
μ(cP)	1,98E-02

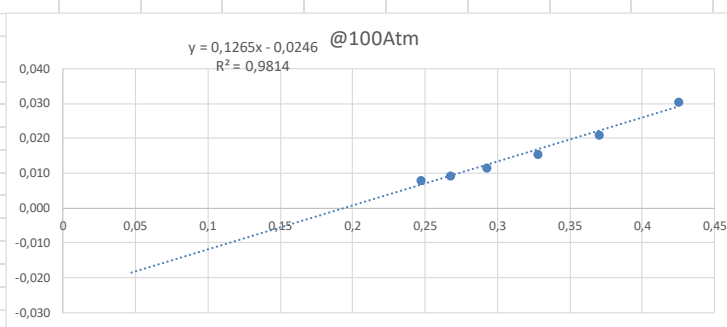
FAN6VA1		
Atm	Ka	KI
200	0,02	-0,02
100	0,02	-0,02
50	0,02	-0,02
25	0,02	-0,02



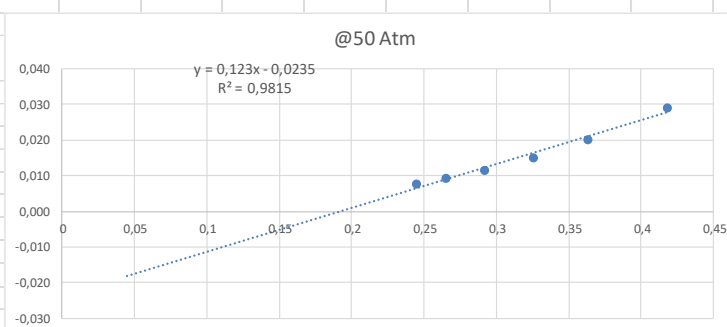
					INPUT @200 atm lithostatic			
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/s ec)	Pmean	/Pmea	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
7,165232	1,00027	0,05	4,083	0,245	105,3	90,6	3	0,008
6,518796	1,00027	0,05	3,76	0,266	95,8	81,1	3	0,009
5,715855	1,00027	0,05	3,358	0,298	84	69,3	3	0,012
5,076224	1,00027	0,05	3,038	0,329	74,6	59,9	3	0,016
4,382155	1,00027	0,05	2,691	0,372	64,4	49,7	3	0,021
3,749329	1,00027	0,05	2,375	0,421	55,1	40,4	3	0,030
3,055261	1,00027	0,05	2,028	0,493	44,9	30,2	3	0,047
2,32717	1,00027	0,05	1,664	0,601	34,2	19,5	3	0,088
1,476596	1,00027	0,05	1,238	0,807	21,7	7	3	0,331
Average								0,016
KI								-0,0240



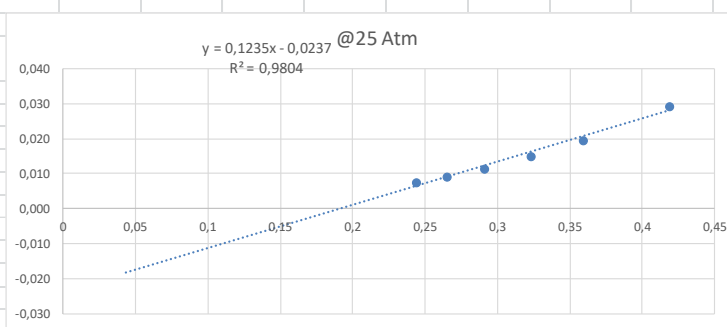
					INPUT @100atm lithostatic			
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/s)	Pmean	/Pmea	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
7,097187	1,00027	0,05	4,049	0,247	104,3	89,6	3	0,008
6,484774	1,00027	0,05	3,743	0,267	95,3	80,6	3	0,009
5,845142	1,00027	0,05	3,423	0,292	85,9	71,2	3	0,012
5,103442	1,00027	0,05	3,052	0,328	75	60,3	3	0,016
4,402569	1,00027	0,05	2,701	0,37	64,7	50	3	0,021
3,708501	1,00027	0,05	2,354	0,425	54,5	39,8	3	0,031
2,987215	1,00027	0,05	1,994	0,502	43,9	29,2	3	0,049
2,306756	1,00027	0,05	1,654	0,605	33,9	19,2	3	0,090
1,57186	1,00027	0,05	1,286	0,778	23,1	8,4	3	0,265
							Average	0,016
							KI	-0,0246

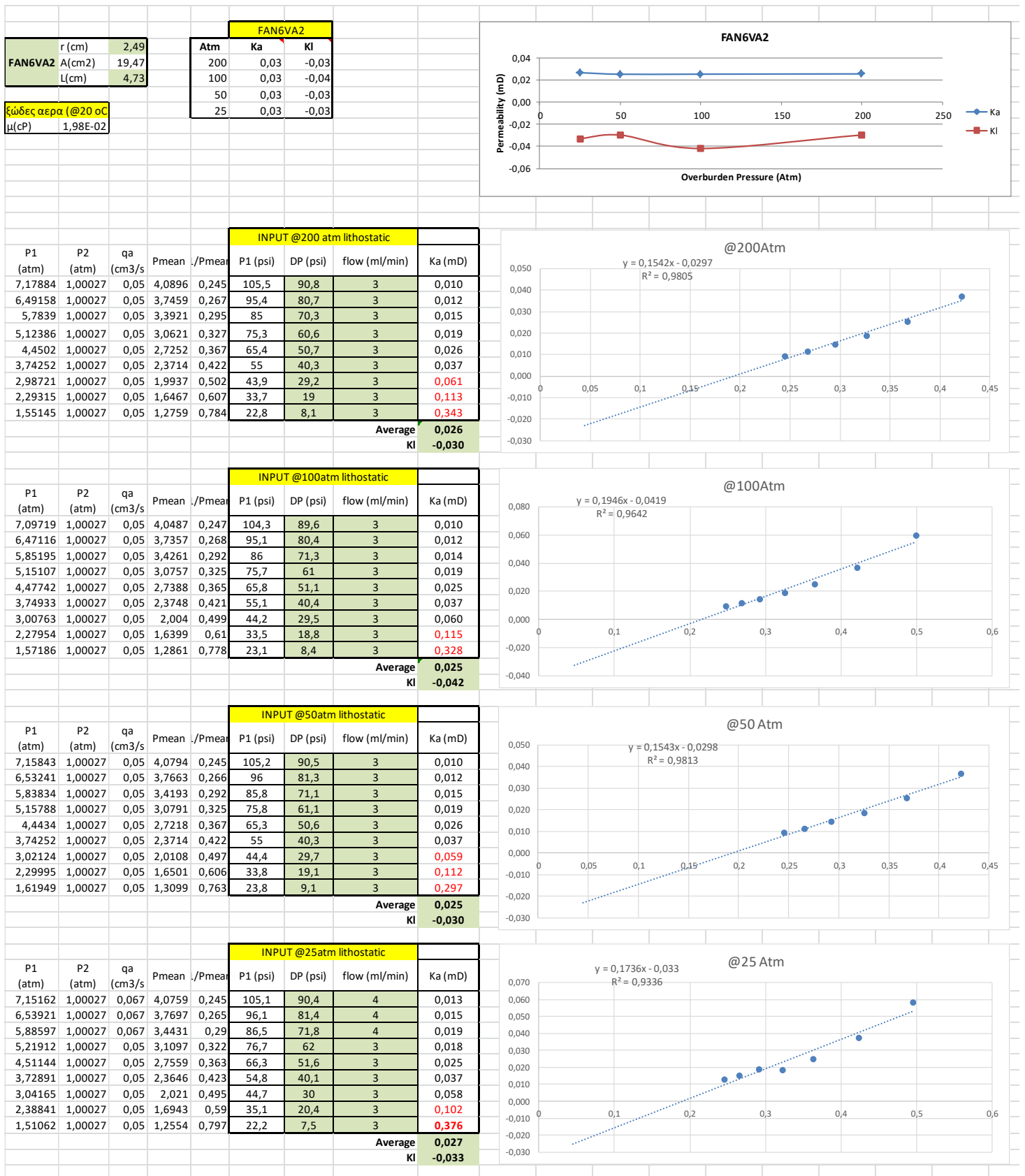


					INPUT @50atm lithostatic			
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/s)	Pmean	/Pmea	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
7,172037	1,00027	0,05	4,086	0,245	105,4	90,7	3	0,008
6,559624	1,00027	0,05	3,78	0,265	96,4	81,7	3	0,009
5,865556	1,00027	0,05	3,433	0,291	86,2	71,5	3	0,012
5,151074	1,00027	0,05	3,076	0,325	75,7	61	3	0,015
4,511443	1,00027	0,05	2,756	0,363	66,3	51,6	3	0,020
3,790156	1,00027	0,05	2,395	0,417	55,7	41	3	0,029
3,123306	1,00027	0,05	2,062	0,485	45,9	31,2	3	0,045
2,333974	1,00027	0,05	1,667	0,6	34,3	19,6	3	0,088
1,612688	1,00027	0,05	1,306	0,765	23,7	9	3	0,244
							Average	0,016
							KI	-0,0235



					INPUT @25atm lithostatic			
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/s)	Pmean	/Pmea	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
7,212865	1,00027	0,05	4,107	0,244	106	91,3	3	0,008
6,546015	1,00027	0,05	3,773	0,265	96,2	81,5	3	0,009
5,88597	1,00027	0,05	3,443	0,29	86,5	71,8	3	0,012
5,198706	1,00027	0,05	3,099	0,323	76,4	61,7	3	0,015
4,572684	1,00027	0,05	2,786	0,359	67,2	52,5	3	0,020
3,776547	1,00027	0,05	2,388	0,419	55,5	40,8	3	0,029
3,041651	1,00027	0,05	2,021	0,495	44,7	30	3	0,047
2,32717	1,00027	0,033	1,664	0,601	34,2	19,5	2	0,059
1,585469	1,00027	0,05	1,293	0,773	23,3	8,6	3	0,258
							Average	0,015
							KI	-0,0237

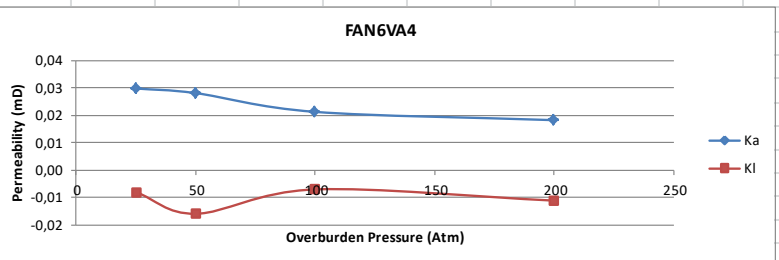




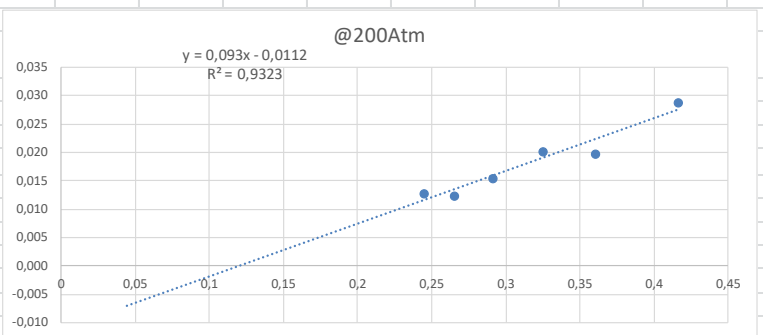
FAN6VA4	r (cm)	2,51
	A(cm2)	19,78
	L(cm)	3,88

ξώδες αέρα (@20 οC	
μ(cP)	1,98E-02

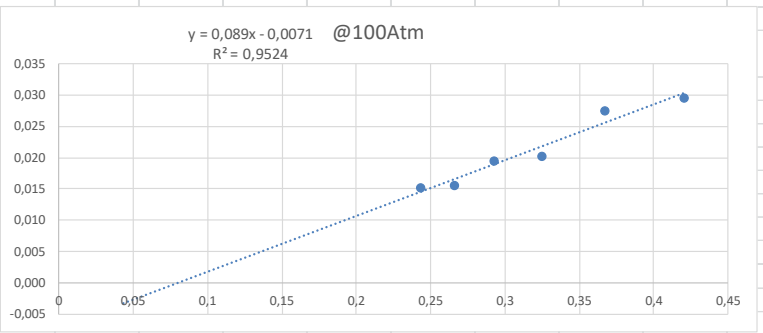
FAN6VA4		
Atm	Ka	KI
200	0,02	-0,01
100	0,02	-0,01
50	0,03	-0,02
25	0,03	-0,01



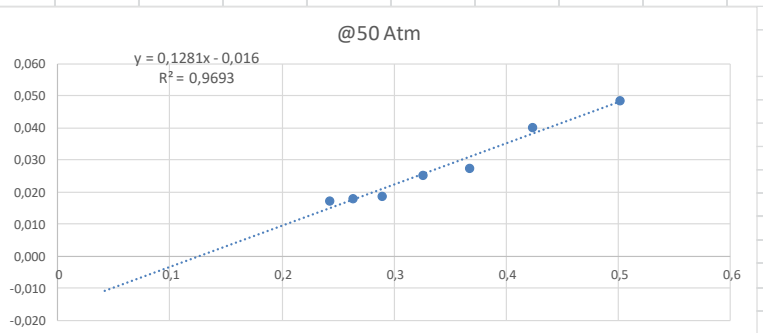
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/	Pmean	/Pmea	INPUT @200 atm lithostatic			Ka (mD)
					P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	
7,19245	1,00027	0,083	4,096	0,244	105,7	91	5	0,013
6,55282	1,00027	0,067	3,777	0,265	96,3	81,6	4	0,012
5,87917	1,00027	0,067	3,44	0,291	86,4	71,7	4	0,015
5,15788	1,00027	0,067	3,079	0,325	75,8	61,1	4	0,020
4,55227	1,00027	0,05	2,776	0,36	66,9	52,2	3	0,020
3,81057	1,00027	0,05	2,405	0,416	56	41,3	3	0,029
3,05526	1,00027	0,05	2,028	0,493	44,9	30,2	3	0,047
2,368	1,00027	0,05	1,684	0,594	34,8	20,1	3	0,084
1,53103	1,00027	0,05	1,266	0,79	22,5	7,8	3	0,289
							Average	0,018
							KI	-0,011



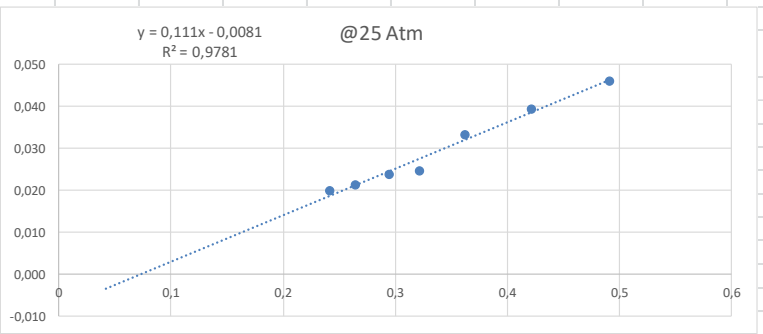
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/	Pmean	/Pmea	INPUT @100atm lithostatic			Ka (mD)
					P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	
7,22647	1,00027	0,1	4,113	0,243	106,2	91,5	6	0,015
6,53241	1,00027	0,083	3,766	0,266	96	81,3	5	0,016
5,85195	1,00027	0,083	3,426	0,292	86	71,3	5	0,019
5,16468	1,00027	0,067	3,082	0,324	75,9	61,2	4	0,020
4,45701	1,00027	0,067	2,729	0,366	65,5	50,8	4	0,027
3,76294	1,00027	0,05	2,382	0,42	55,3	40,6	3	0,030
3,07567	1,00027	0,05	2,038	0,491	45,2	30,5	3	0,046
2,35439	1,00027	0,05	1,677	0,596	34,6	19,9	3	0,086
1,56506	1,00027	0,05	1,283	0,78	23	8,3	3	0,268
							Average	0,021
							KI	-0,0071

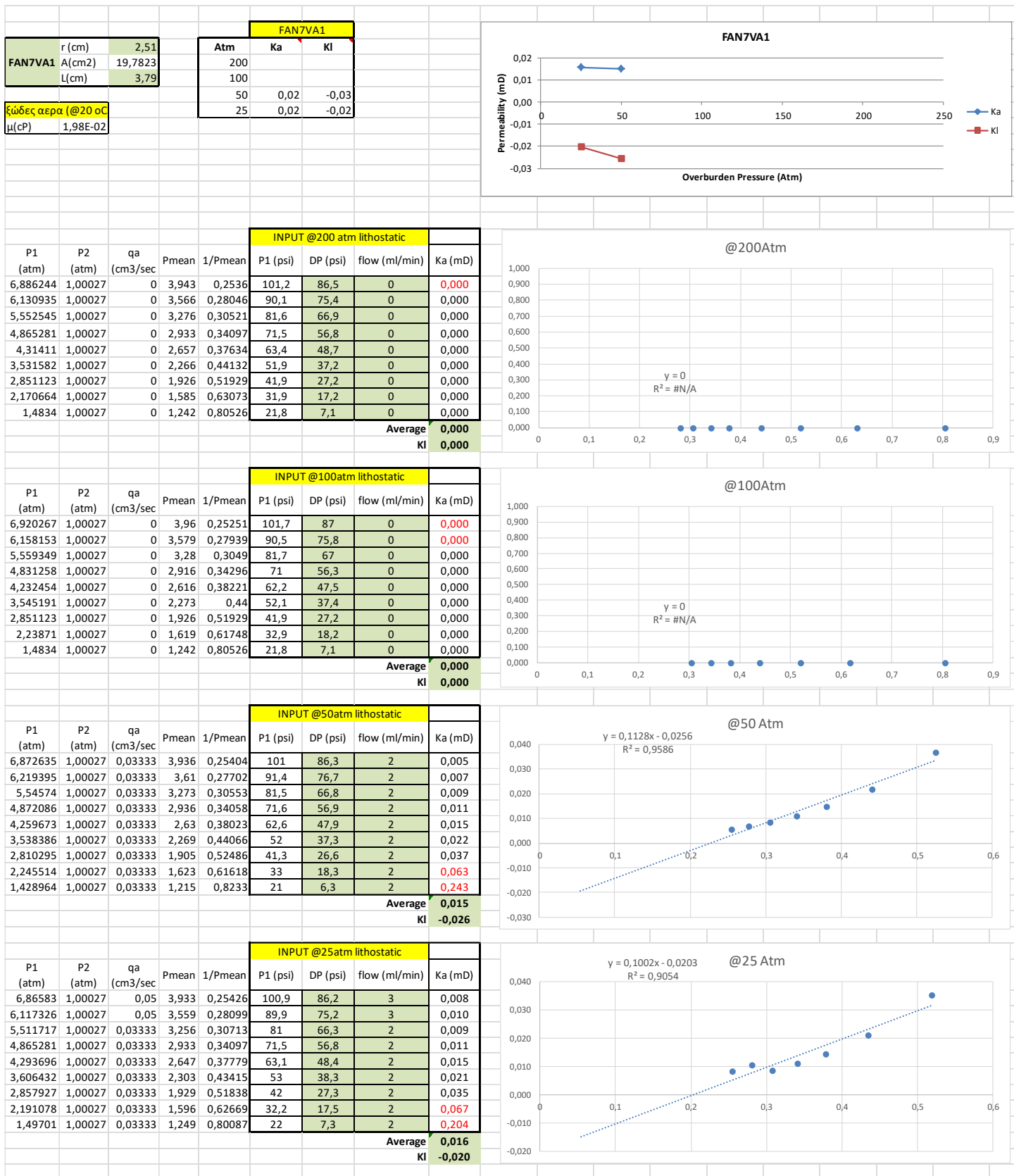


P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/	Pmean	/Pmea	INPUT @50atm lithostatic			Ka (mD)
					P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	
7,2673	1,00027	0,117	4,134	0,242	106,8	92,1	7	0,018
6,62087	1,00027	0,1	3,811	0,262	97,3	82,6	6	0,018
5,91999	1,00027	0,083	3,46	0,289	87	72,3	5	0,019
5,15107	1,00027	0,083	3,076	0,325	75,7	61	5	0,025
4,4502	1,00027	0,067	2,725	0,367	65,4	50,7	4	0,028
3,72891	1,00027	0,067	2,365	0,423	54,8	40,1	4	0,040
2,99402	1,00027	0,05	1,997	0,501	44	29,3	3	0,049
2,29995	1,00027	0,05	1,65	0,606	33,8	19,1	3	0,091
1,49701	1,00027	0,05	1,249	0,801	22	7,3	3	0,314
							Average	0,028
							KI	-0,0160



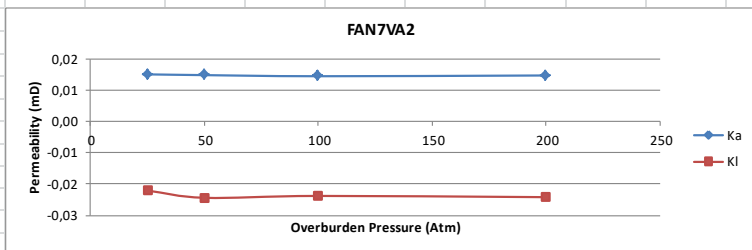
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/	Pmean	/Pmea	INPUT @25atm lithostatic			Ka (mD)
					P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	
7,28772	1,00027	0,133	4,144	0,241	107,1	92,4	8	0,020
6,59365	1,00027	0,117	3,797	0,263	96,9	82,2	7	0,021
5,80431	1,00027	0,1	3,402	0,294	85,3	70,6	6	0,024
5,22592	1,00027	0,083	3,113	0,321	76,8	62,1	5	0,025
4,52505	1,00027	0,083	2,763	0,362	66,5	51,8	5	0,033
3,75613	1,00027	0,067	2,378	0,42	55,2	40,5	4	0,040
3,07567	1,00027	0,05	2,038	0,491	45,2	30,5	3	0,046
2,36119	1,00027	0,05	1,681	0,595	34,7	20	3	0,085
1,59227	1,00027	0,05	1,296	0,771	23,4	8,7	3	0,253
Average								0,030
KI								-0,0081



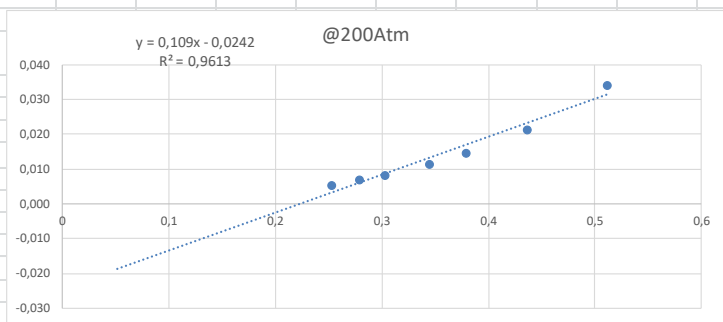


FAN7VA2	r (cm)	2,51
	A(cm2)	19,78231
	L(cm)	3,84
Ιξώδες αερα (@20 oC)		
μ(cP)	1,98E-02	

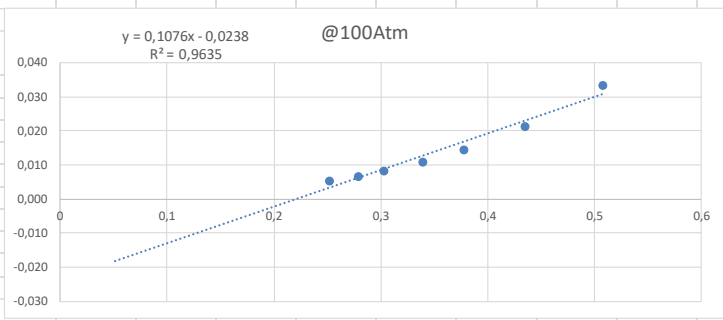
FAN7VA2		
Atm	Ka	KI
200	0,01	-0,02
100	0,01	-0,02
50	0,01	-0,02
25	0,02	-0,02



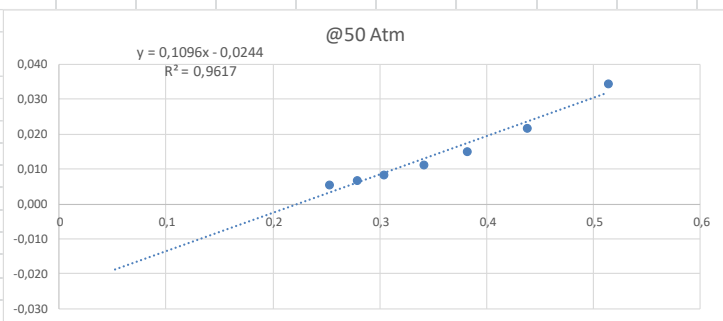
INPUT @200 atm lithostatic								
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
6,940681	1,000275	0,033333	3,97	0,2519	102	87,3	2	0,005
6,1853716	1,000275	0,033333	3,593	0,2783	90,9	76,2	2	0,007
5,6069815	1,000275	0,033333	3,304	0,3027	82,4	67,7	2	0,008
4,8108446	1,000275	0,033333	2,906	0,3442	70,7	56	2	0,012
4,2868912	1,000275	0,033333	2,644	0,3783	63	48,3	2	0,015
3,5928231	1,000275	0,033333	2,297	0,4354	52,8	38,1	2	0,022
2,9123642	1,000275	0,033333	1,956	0,5112	42,8	28,1	2	0,034
2,2182961	1,000275	0,033333	1,609	0,6214	32,6	17,9	2	0,065
1,490205	1,000275	0,033333	1,245	0,8031	21,9	7,2	2	0,210
Average								0,015
KI								-0,024



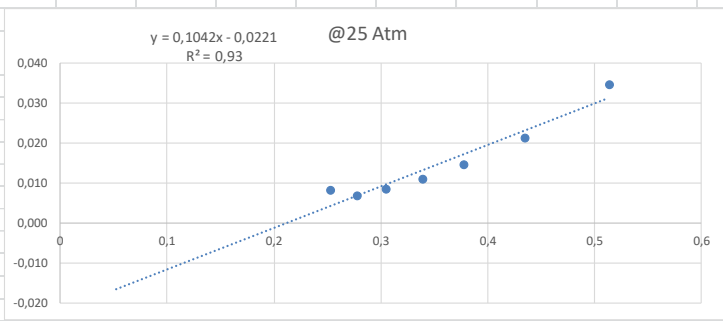
INPUT @100atm lithostatic								
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
6,9542902	1,000275	0,033333	3,977	0,2514	102,2	87,5	2	0,005
6,1717624	1,000275	0,033333	3,586	0,2789	90,7	76	2	0,007
5,6205907	1,000275	0,033333	3,31	0,3021	82,6	67,9	2	0,008
4,9129134	1,000275	0,033333	2,957	0,3382	72,2	57,5	2	0,011
4,3005004	1,000275	0,033333	2,65	0,3773	63,2	48,5	2	0,015
3,6064323	1,000275	0,033333	2,303	0,4341	53	38,3	2	0,021
2,9463871	1,000275	0,033333	1,973	0,5068	43,3	28,6	2	0,033
2,2659282	1,000275	0,033333	1,633	0,6123	33,3	18,6	2	0,062
1,5038142	1,000275	0,033333	1,252	0,7987	22,1	7,4	2	0,204
Average								0,014
KI								-0,024



INPUT @50atm lithostatic								
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
6,9270718	1,000275	0,033333	3,964	0,2523	101,8	87,1	2	0,005
6,1921762	1,000275	0,033333	3,596	0,2781	91	76,3	2	0,007
5,5865677	1,000275	0,033333	3,293	0,3036	82,1	67,4	2	0,008
4,8720859	1,000275	0,033333	2,936	0,3406	71,6	56,9	2	0,011
4,2392591	1,000275	0,033333	2,62	0,3817	62,3	47,6	2	0,015
3,5724093	1,000275	0,033333	2,286	0,4374	52,5	37,8	2	0,022
2,898755	1,000275	0,033333	1,95	0,5129	42,6	27,9	2	0,035
2,2387098	1,000275	0,033333	1,619	0,6175	32,9	18,2	2	0,064
1,4017454	1,000275	0,033333	1,201	0,8326	20,6	5,9	2	0,266
Average								0,015
KI								-0,024



INPUT @25atm lithostatic								
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
6,9338764	1,000275	0,05	3,967	0,2521	101,9	87,2	3	0,008
6,2057853	1,000275	0,033333	3,603	0,2775	91,2	76,5	2	0,007
5,5797631	1,000275	0,033333	3,29	0,3039	82	67,3	2	0,009
4,9129134	1,000275	0,033333	2,957	0,3382	72,2	57,5	2	0,011
4,3005004	1,000275	0,033333	2,65	0,3773	63,2	48,5	2	0,015
3,5996277	1,000275	0,033333	2,3	0,4348	52,9	38,2	2	0,021
2,898755	1,000275	0,033333	1,95	0,5129	42,6	27,9	2	0,035
2,2931466	1,000275	0,033333	1,647	0,6073	33,7	19	2	0,060
1,6126876	1,000275	0,033333	1,306	0,7654	23,7	9	2	0,160
Average								0,015
KI								-0,022



Overburden Pressure (Atm)	Ka (mD)	KI (mD)
25	1.6	1.2
50	1.45	1.3
100	1.35	1.2
200	1.25	1.15

@200Atm

$y = 0,2174x + 1,14$
 $R^2 = 0,985$

The scatter plot displays the relationship between $\lg K$ (y-axis) and p (x-axis) at a constant pressure of 200 Atm. The y-axis ranges from 1,160 to 1,320 with increments of 0,020. The x-axis ranges from 0 to 0,9 with increments of 0,1. A linear regression line is shown with the equation $y = 0,2174x + 1,14$ and a coefficient of determination $R^2 = 0,985$. Six data points are plotted, showing a strong positive linear correlation.

p	$\lg K$
0,13	1,165
0,33	1,205
0,37	1,220
0,42	1,235
0,50	1,255
0,60	1,265
0,77	1,305

@100Atm

$y = 0,3151x + 1,1929$
 $R^2 = 0,9811$

The scatter plot displays the relationship between the ratio of specific heats (γ) on the y-axis and the ratio of specific volumes (v) on the x-axis at a pressure of 100 Atm. The x-axis ranges from 0 to 0.9, and the y-axis ranges from 1,200 to 1,500. A linear regression line is fitted to the data points, with the equation $y = 0,3151x + 1,1929$ and a coefficient of determination $R^2 = 0,9811$. The data points are as follows:

v	γ
0,29	1,275
0,32	1,295
0,35	1,315
0,40	1,330
0,50	1,345
0,61	1,385
0,78	1,435

@50 Atm

Scatter plot showing the relationship between the inverse of the rate of polymerization ($1/R_p$) and the inverse of the monomer concentration ($1/M_0$) at 50 Atm. The data points show a strong positive linear correlation, with a regression line and $R^2 = 0.9714$.

Regression equation: $y = 0.3187x + 1.2799$

$R^2 = 0.9714$

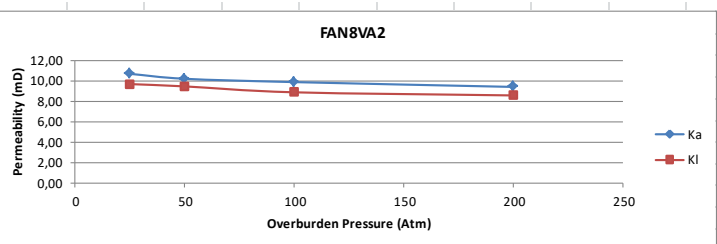
$1/M_0$	$1/R_p$
0.10	1.31
0.29	1.35
0.32	1.38
0.36	1.40
0.42	1.42
0.50	1.45
0.62	1.47
0.82	1.54

$y = 0,6915x + 1,2327$
 $R^2 = 0,9901$ @ 25 Atm

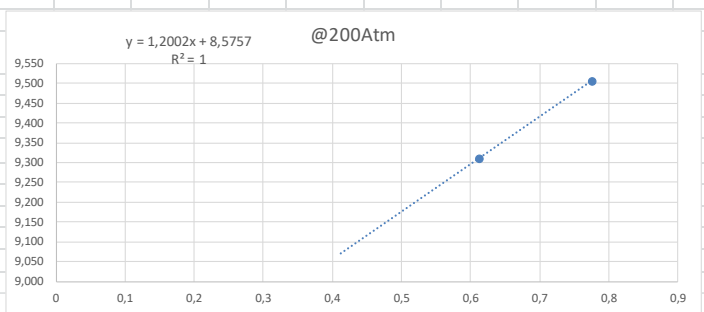
v_2/v_1	γ
0,28	1,42
0,32	1,45
0,36	1,50
0,42	1,50
0,50	1,58
0,62	1,65
0,78	1,80

FAN8VA2	r (cm)	2,52
	A(cm2)	19,94026
	L(cm)	2,91
Ιξώδες αερα (@20 οC)		
μ(cP)	1,98E-02	

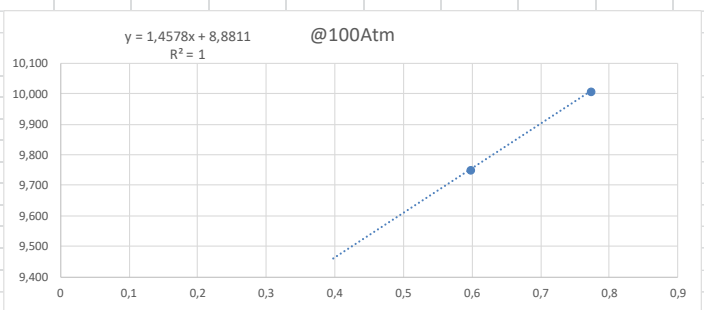
FAN8VA2		
Atm	Ka	Kl
200	9,41	8,58
100	9,88	8,88
50	10,21	9,46
25	10,69	9,69



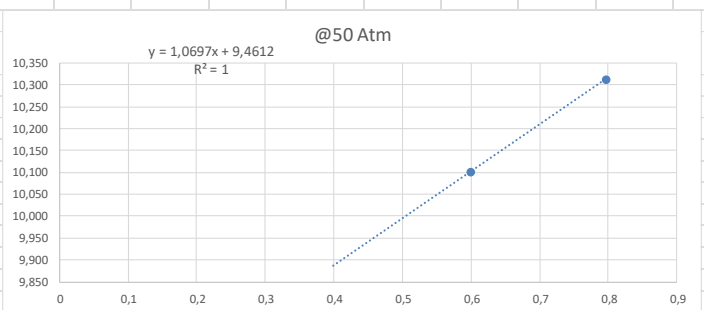
INPUT @200 atm lithostatic								
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
2,2659282	1,000275	6,65	1,6331	0,61233	33,3	18,6	399	9,311
1,57866469	1,000275	2,45	1,2895	0,77551	23,2	8,5	147	9,506
Average								9,409
Kl								8,576



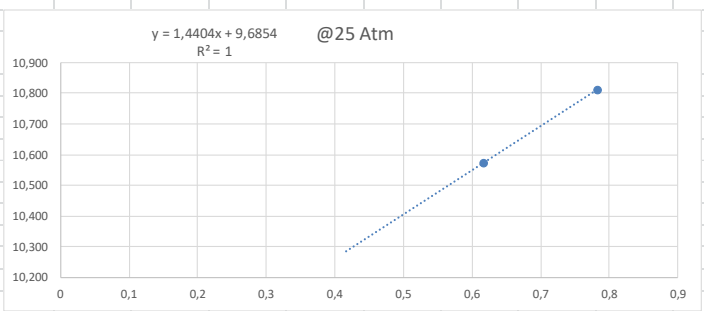
INPUT @100atm lithostatic								
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
2,34758327	1,000275	7,6	1,6739	0,5974	34,5	19,8	456	9,752
1,58546928	1,000275	2,616667	1,2929	0,77347	23,3	8,6	157	10,009
Average								9,880
Kl								8,881



INPUT @50atm lithostatic								
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
2,34077868	1,000275	7,816667	1,6705	0,59861	34,4	19,7	469	10,101
1,5106188	1,000275	2,283333	1,2554	0,79653	22,2	7,5	137	10,313
Average								10,207
Kl								9,461



INPUT @25atm lithostatic								
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
2,24551443	1,000275	7,383333	1,6229	0,61618	33	18,3	443	10,573
1,55825093	1,000275	2,666667	1,2793	0,7817	22,9	8,2	160	10,811
Average								10,692
Kl								9,685

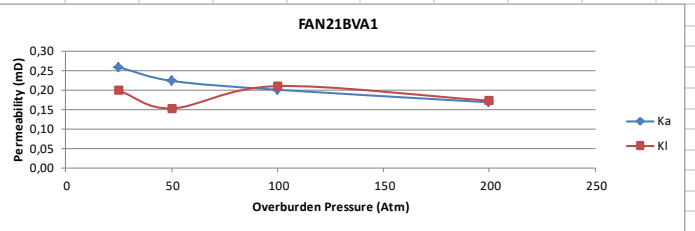




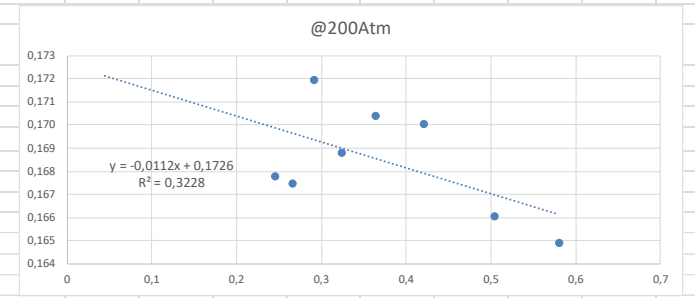


										FAN19VA1			
FAN19VA1	r (cm)	2,56				Atm	Ka	KI					
	A(cm2)	20,5783				200	0,05	0,01					
	L(cm)	3,7				100	0,05	0,02					
							50	0,05	0,00				
								25	0,05	0,02			
Ιξώδες αερα (@20 οC)													
μ(cP)		1,98E-02											

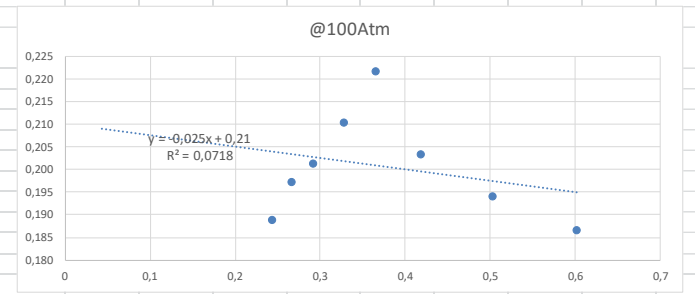
FAN21BVA1			
r (cm)	2,54	Atm	Ka
A(cm2)	20,258024	200	0,17
L(cm)	3,61	100	0,20
		50	0,22
		25	0,26
Ιξώδες αέρα (@20 οC)			
μ(CP)	1,98E-02	Kl	
			0,20



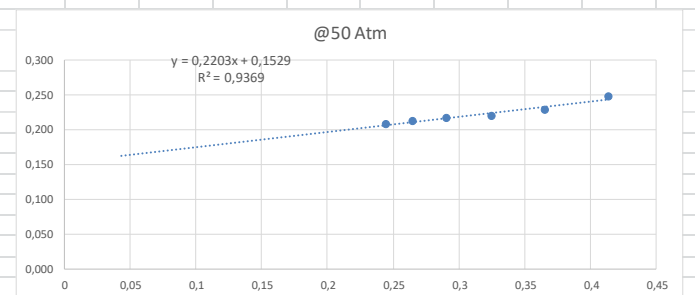
INPUT @200 atm lithostatic			
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean
7,1788416	1,000275	1,2	4,0896
6,5187964	1,000275	0,98333333	3,7595
5,8791651	1,000275	0,81666667	3,4397
5,1782924	1,000275	0,61666667	3,0893
4,5114426	1,000275	0,46666667	2,7559
3,7629378	1,000275	0,31666667	2,3816
2,9668009	1,000275	0,18333333	1,9835
2,4496521	1,000275	0,11666667	1,725
1,5310326	1,000275	0,06666667	1,2657
			0,24453
			0,26527
			0,29072
			0,3237
			0,36286
			0,41988
			0,50415
			0,57972
			0,79011
			105,5
			90,8
			72
			0,168
			0,167
			0,172
			0,169
			0,170
			0,170
			0,166
			0,165
			0,351
			Average
			Kl
			0,1726



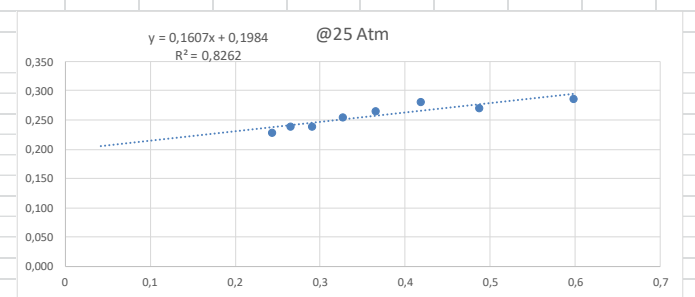
INPUT @100atm lithostatic			
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean
7,2196691	1,000275	1,36666667	4,11
6,5392102	1,000275	1,16666667	3,7697
5,8587513	1,000275	0,95	3,4295
5,1170511	1,000275	0,75	3,0587
4,4842243	1,000275	0,6	2,7422
3,7833516	1,000275	0,38333333	2,3918
2,9804101	1,000275	0,21666667	1,9903
2,3271695	1,000275	0,11666667	1,6637
1,5106188	1,000275	0,06666667	1,2554
			0,24331
			0,26527
			0,29159
			0,32694
			0,36466
			0,41809
			0,50243
			0,60106
			0,79653
			106,1
			91,4
			82
			0,189
			0,197
			0,201
			0,210
			0,222
			0,203
			0,194
			0,187
			0,368
			Average
			Kl
			0,2100

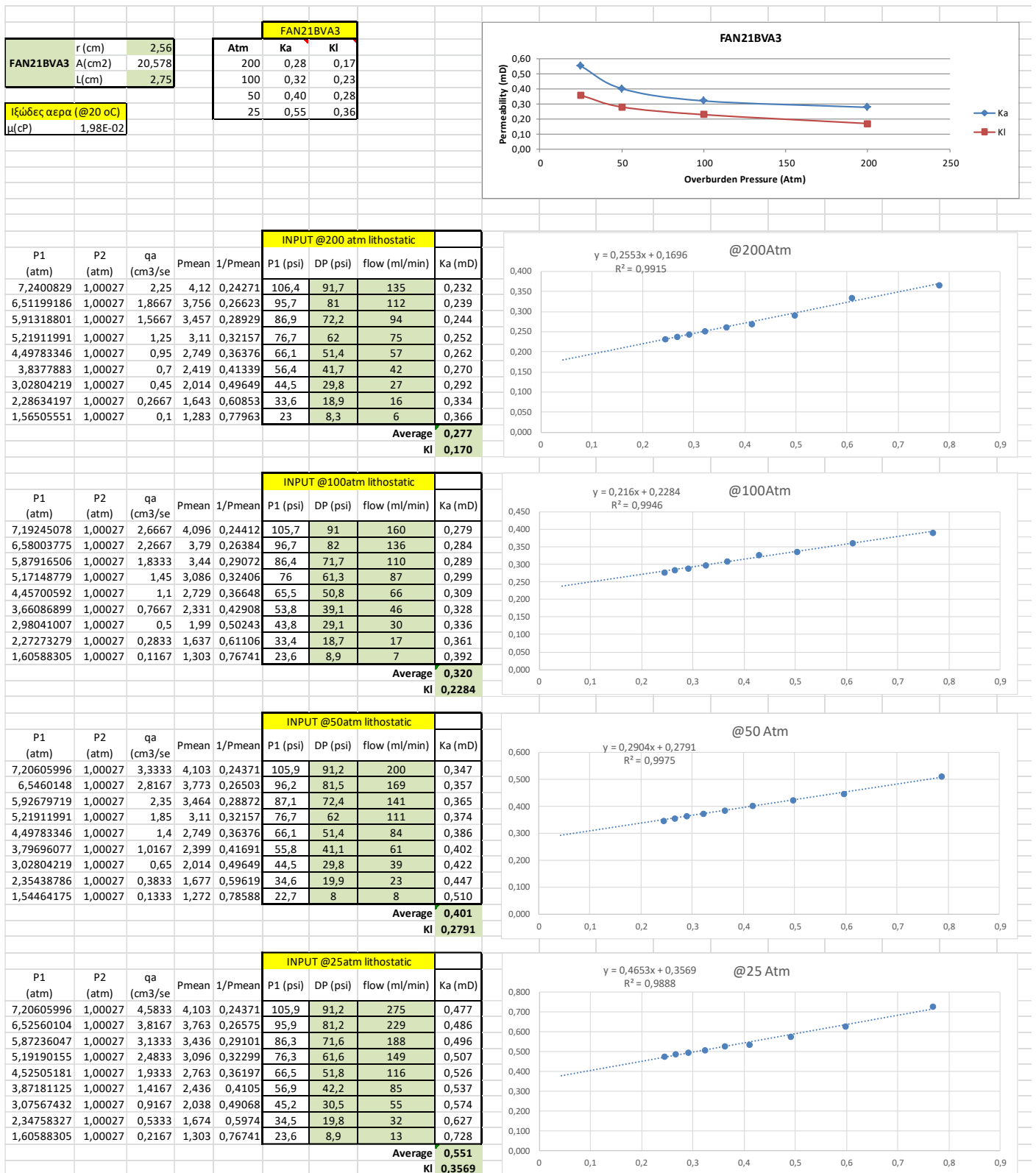


INPUT @50atm lithostatic			
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean
7,1992554	1,000275	1,5	4,0998
6,5664286	1,000275	1,26666667	3,7834
5,8859697	1,000275	1,03333333	3,4431
5,1646832	1,000275	0,8	3,0825
4,4774197	1,000275	0,61666667	2,7388
3,8377883	1,000275	0,48333333	2,419
3,1233064	1,000275	0,28333333	2,0618
2,3543879	1,000275	0,2	1,6773
1,5922739	1,000275	0,08333333	1,2963
			0,24392
			0,26432
			0,29043
			0,32441
			0,36512
			0,41339
			0,48502
			0,59619
			0,77144
			105,8
			91,1
			90
			0,209
			0,213
			0,217
			0,220
			0,229
			0,249
			0,229
			0,229
			0,229
			0,311
			0,384
			Average
			Kl
			0,224
			0,1529



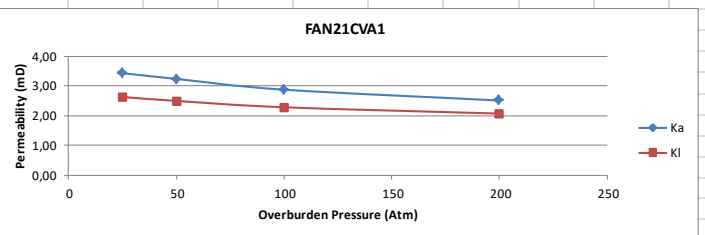
INPUT @25atm lithostatic			
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean
7,2468875	1,000275	1,66666667	4,1236
6,5528194	1,000275	1,41666667	3,7765
5,9063834	1,000275	1,15	3,4533
5,1442694	1,000275	0,91666667	3,0723
4,4774197	1,000275	0,71666667	2,7388
3,7901562	1,000275	0,53333333	2,3952
3,1165019	1,000275	0,33333333	2,0584
2,3475833	1,000275	0,18333333	1,6739
1,639906	1,000275	0,08333333	1,3201
			0,24251
			0,26479
			0,28958
			0,32549
			0,36512
			0,4175
			0,48582
			0,5974
			0,75752
			106,5
			91,8
			100
			0,229
			0,239
			0,240
			0,254
			0,266
			0,282
			0,270
			0,287
			0,349
			Average
			Kl
			0,258
			0,1984



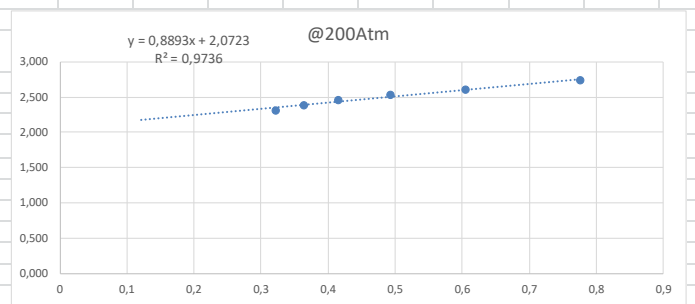


FAN21CVA1		
r (cm)	2,55	
A(cm2)	20,41785	
L(cm)	4,21	
Ιξώδες αέρα (@20 οC)		
μ(cP)	1,98E-02	

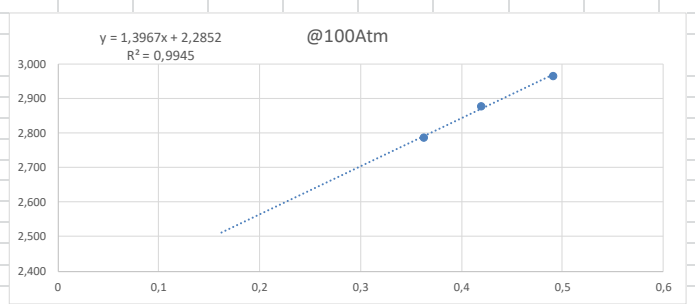
FAN21CVA1		
Atm	Ka	KI
200	2,51	2,07
100	2,88	2,29
50	3,24	2,50
25	3,43	2,63



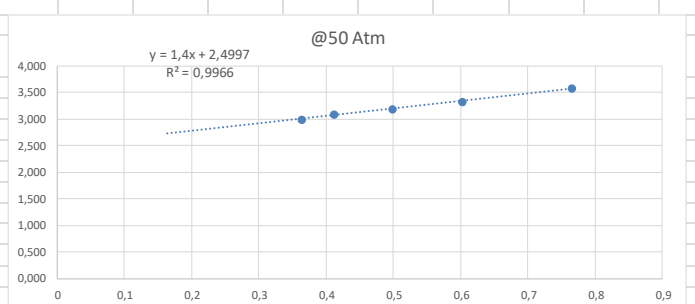
INPUT @200 atm lithostatic								
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
5,23272909	1,00027	7,5	3,1165	0,32087	76,9	62,2	450	2,325
4,49783346	1,00027	5,616667	2,7491	0,36376	66,1	51,4	337	2,388
3,82417913	1,00027	4,1	2,4122	0,41455	56,2	41,5	246	2,461
3,06886973	1,00027	2,616667	2,0346	0,4915	45,1	30,4	157	2,542
2,30675574	1,00027	1,383333	1,6535	0,60477	33,9	19,2	83	2,618
1,57866469	1,00027	0,5	1,2895	0,77551	23,2	8,5	30	2,741
Average								2,513
KI								2,0723



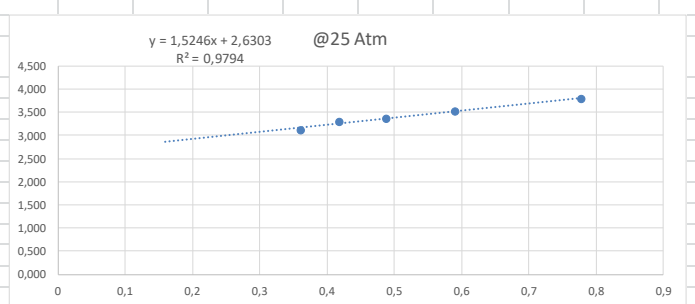
INPUT @100atm lithostatic								
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
4,51824722	1,00027	6,616667	2,7593	0,36242	66,4	51,7	397	2,787
3,776547	1,00027	4,666667	2,3884	0,41869	55,5	40,8	280	2,878
3,0824789	1,00027	3,083333	2,0414	0,48987	45,3	30,6	185	2,966
2,2659282	1,00027	4,666667	1,6331	0,61233	33,3	18,6	280	9,232
1,48340044	1,00027	6,616667	1,2418	0,80526	21,8	7,1	397	45,093
Average								2,877
KI								2,285



INPUT @50atm lithostatic								
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
4,49783346	1,00027	7,05	2,7491	0,36376	66,1	51,4	423	2,998
3,85820207	1,00027	5,25	2,4292	0,41165	56,7	42	315	3,092
3,01443301	1,00027	3,166667	2,0074	0,49817	44,3	29,6	190	3,202
2,32036491	1,00027	1,783333	1,6603	0,60229	34,1	19,4	107	3,327
1,61268764	1,00027	0,7	1,3065	0,76541	23,7	9	42	3,577
Average								3,239
KI								2,4997



INPUT @25atm lithostatic								
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	#TIMH!	OFF	OFF	LIMIT	#TIMH!
4,55907476	1,00027	7,566667	2,7797	0,35975	67	52,3	454	3,128
3,79015618	1,00027	5,416667	2,3952	0,4175	55,7	41	325	3,314
3,10969726	1,00027	3,583333	2,055	0,48662	45,7	31	215	3,380
2,3952154	1,00027	2,05	1,6977	0,58902	35,2	20,5	123	3,539
1,5718601	1,00027	0,683333	1,2861	0,77756	23,1	8,4	41	3,801
Average								3,432
KI								2,6303



The graph shows the permeability of FAN22VA1 under different overburden pressures. The Ka series (blue diamonds) starts at approximately 5.4 mD at 25 Atm and decreases to about 4.7 mD at 200 Atm. The KI series (red squares) starts at approximately 4.0 mD at 25 Atm and increases slightly to about 4.2 mD at 50 Atm, then decreases to about 4.0 mD at 200 Atm.

Overburden Pressure (Atm)	Ka Permeability (mD)	KI Permeability (mD)
25	5.4	4.0
50	5.1	4.2
100	4.8	4.1
200	4.7	4.0

$y = 0,7615x + 4,142$
 $R^2 = 0,762$

@200Atm

The scatter plot displays the relationship between the ratio of partial pressures (p_{O_2}/p_T) on the x-axis and the ratio of partial pressures (p_{CO_2}/p_T) on the y-axis at 200 Atm. The x-axis ranges from 0 to 0.9, and the y-axis ranges from 4,250 to 4,800. Five data points are plotted, and a linear regression line is shown with the equation $y = 0,7615x + 4,142$ and $R^2 = 0,762$.

p_{O_2}/p_T	p_{CO_2}/p_T
0,22	4,31
0,42	4,38
0,49	4,55
0,61	4,65
0,79	4,68

@100Atm

$y = 0,5724x + 4,5036$
 $R^2 = 0,5081$

x	y
0,22	4,62
0,42	4,63
0,50	4,86
0,61	4,95
0,81	4,91

@50 Atm

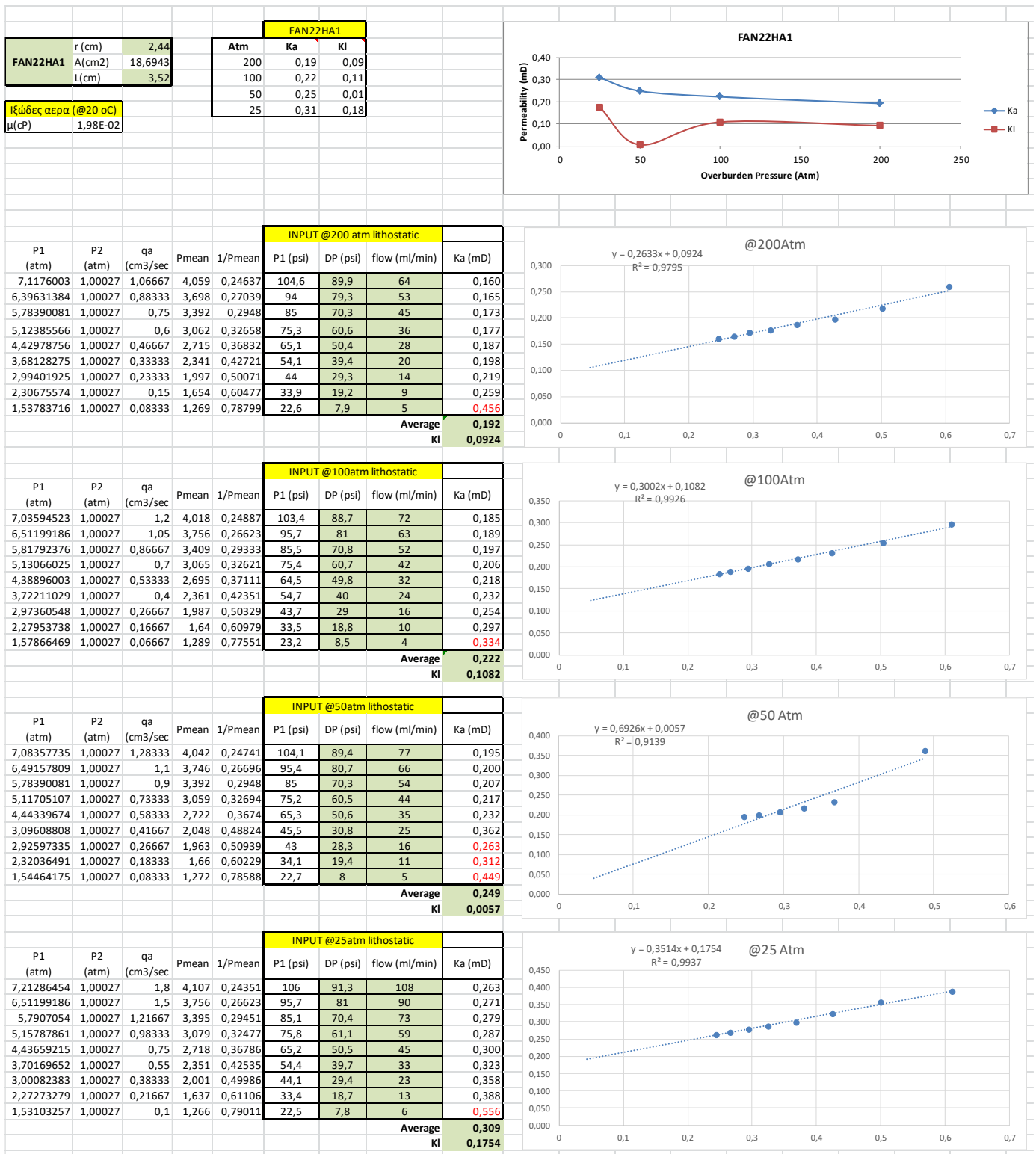
$y = 1,3364x + 4,2701$
 $R^2 = 0,9443$

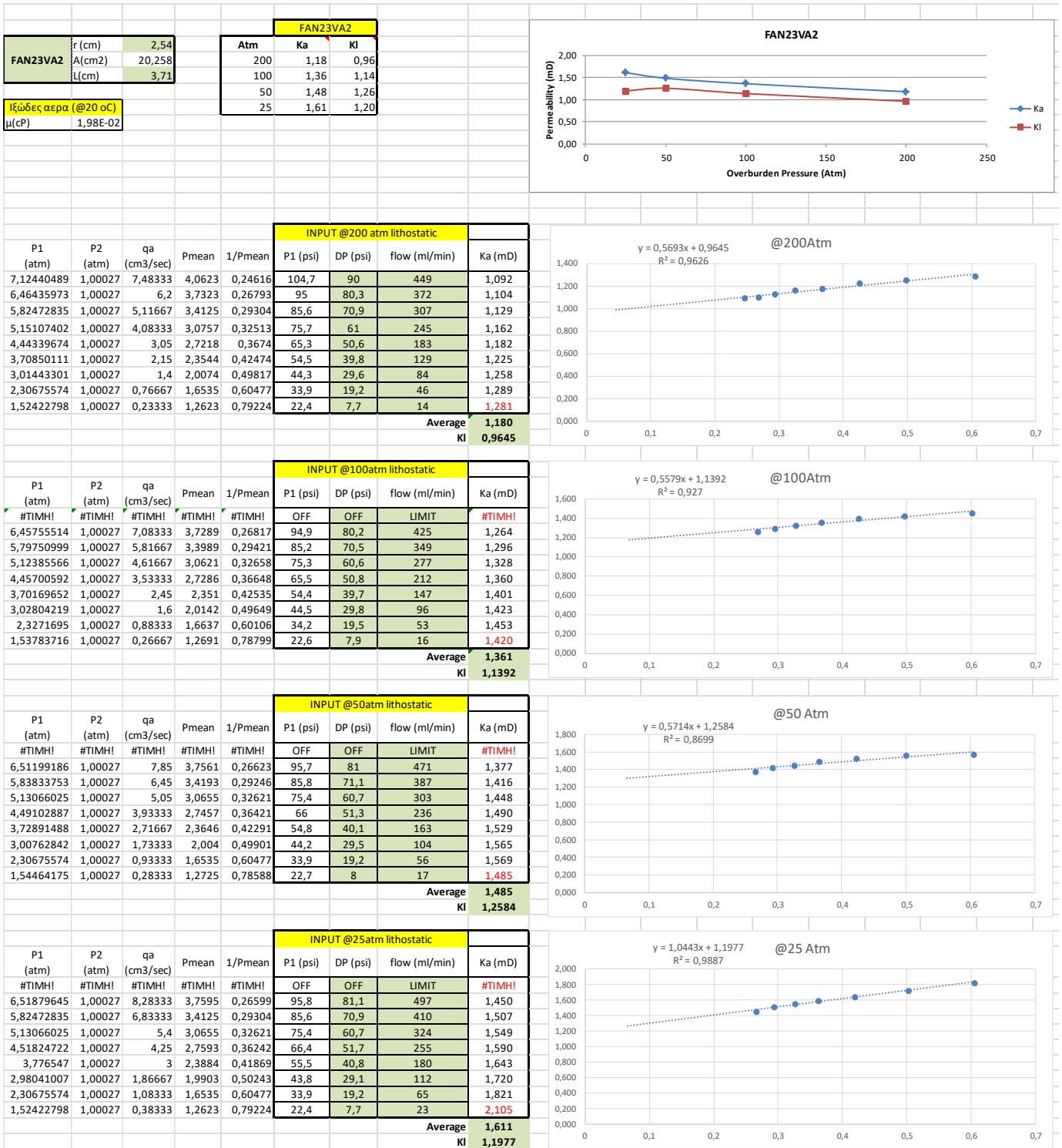
Mole Fraction of CO ₂ (x)	Density (g/cm ³) (y)
0.22	4.56
0.42	4.79
0.50	5.01
0.60	5.08
0.77	5.28

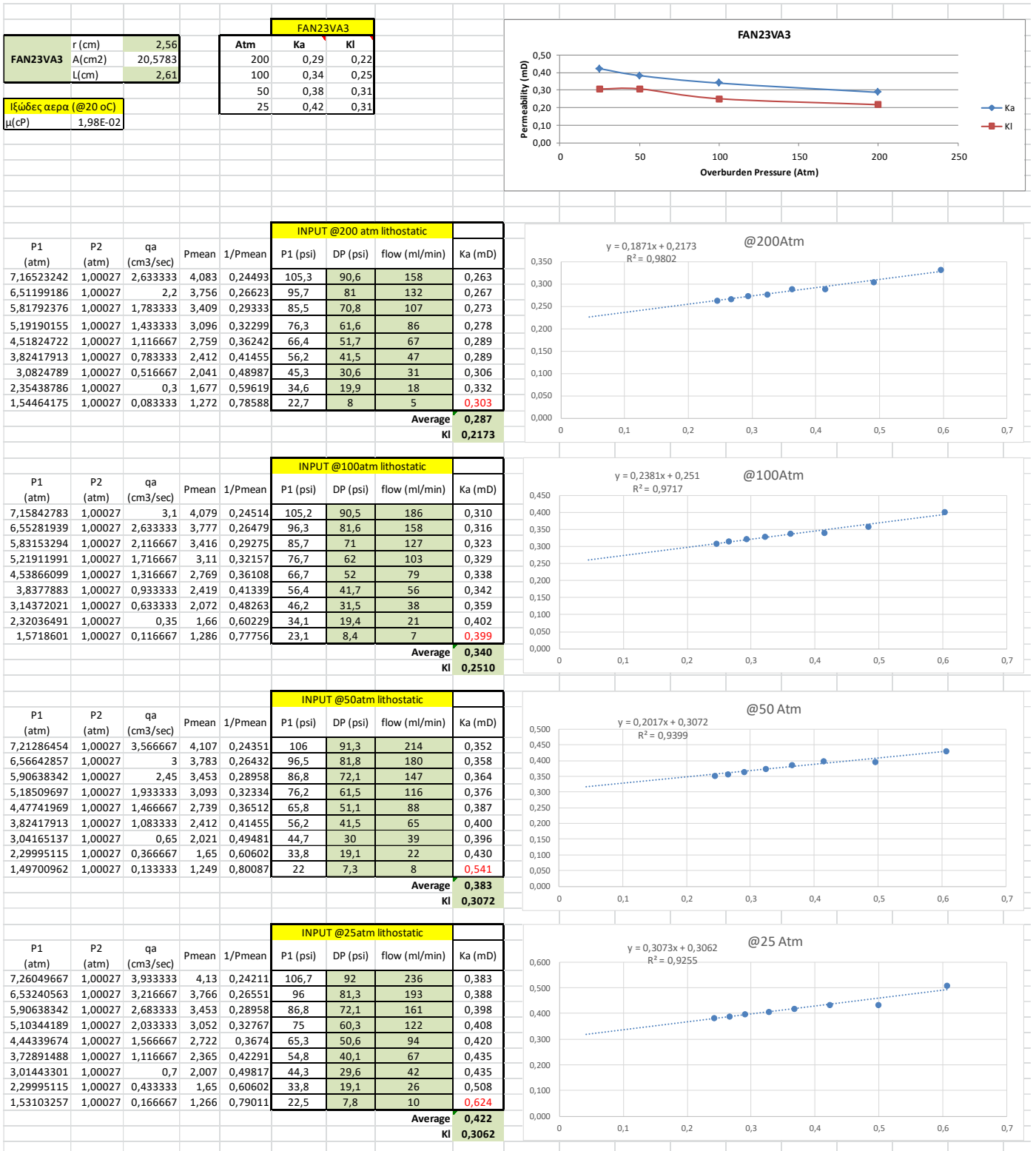
@25 Atm

$y = 2,2908x + 4,0159$
 $R^2 = 0,9945$

x	y
0.22	4500
0.42	4900
0.50	5100
0.60	5300
0.76	5700

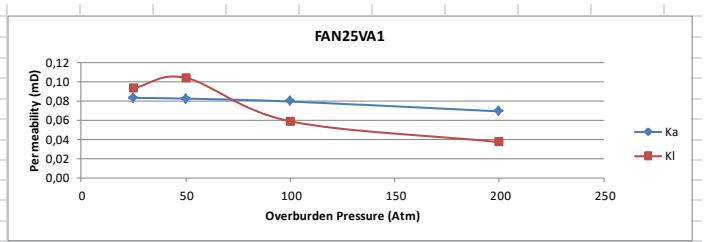




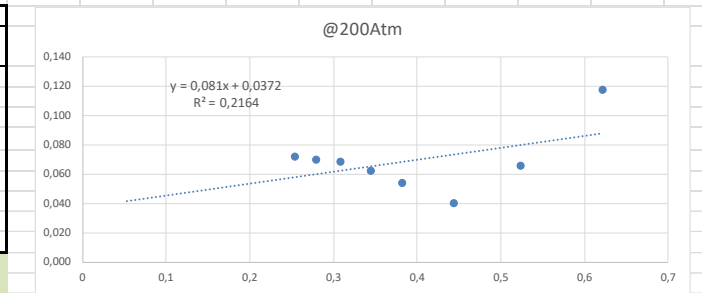


		FAN25VA1	
FAN25VA1	r (cm)	2,31	
	A(cm2)	16,755354	
	L(cm)	3,9	
Ιξώδες αέρα (@20 οC)			
μ(cP)	1,98E-02		

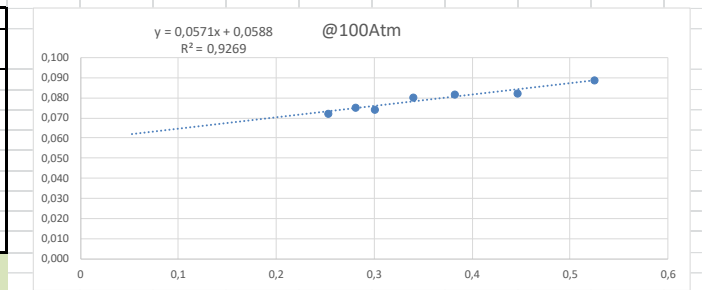
Atm	Ka	KI
200	0,07	0,04
100	0,08	0,06
50	0,08	0,10
25	0,08	0,09



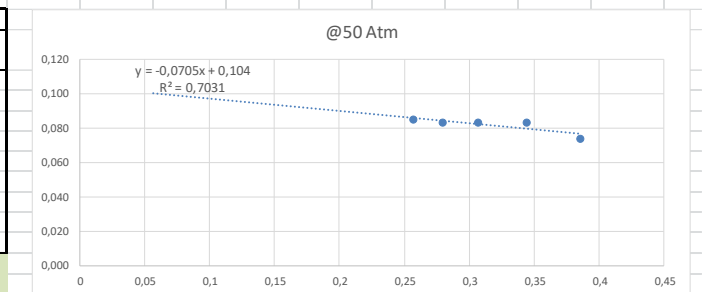
					INPUT @200 atm lithostatic			
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
6,9134626	1,00027	0,3666667	3,9569	0,2527251	101,6	86,9	22	0,072
6,178567	1,00027	0,2833333	3,5894	0,2785965	90,8	76,1	17	0,070
5,4913035	1,00027	0,2166667	3,2458	0,3080915	80,7	66	13	0,069
4,80404	1,00027	0,15	2,9022	0,3445713	70,6	55,9	9	0,063
4,2460637	1,00027	0,1	2,6232	0,3812183	62,4	47,7	6	0,054
3,511168	1,00027	0,05	2,2557	0,4433172	51,6	36,9	3	0,041
2,8239045	1,00027	0,05	1,9121	0,5229881	41,5	26,8	3	0,066
2,2182961	1,00027	0,05	1,6093	0,6213938	32,6	17,9	3	0,118
1,4561821	1,00027	0,05	1,2282	0,8141808	21,4	6,7	3	0,412



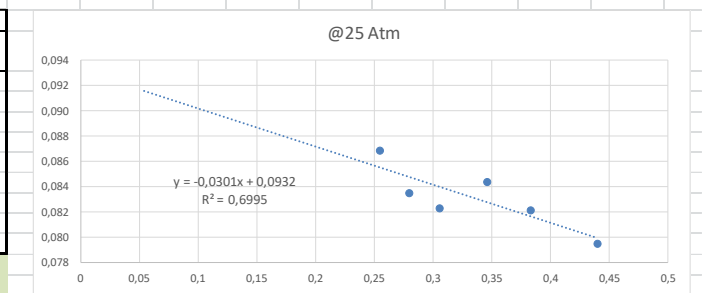
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	INPUT @100atm lithostatic			Ka (mD)
					P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	
6,9202672	1,00027	0,3666667	3,9603	0,252508	101,7	87	22	0,072
6,1377395	1,00027	0,3	3,569	0,28019	90,2	75,5	18	0,076
5,6682228	1,00027	0,25	3,3342	0,2999176	83,3	68,6	15	0,074
4,8924996	1,00027	0,2	2,9464	0,3393987	71,9	57,2	12	0,080
4,2324545	1,00027	0,15	2,6164	0,3822097	62,2	47,5	9	0,082
3,4907543	1,00027	0,1	2,2455	0,4453323	51,3	36,6	6	0,083
2,8170999	1,00027	0,0666667	1,9087	0,5239203	41,4	26,7	4	0,089
2,1570548	1,00027	0,05	1,5787	0,6334467	31,7	17	3	0,126
1,6194922	1,00027	0,05	1,3099	0,7634267	23,8	9,1	3	0,285

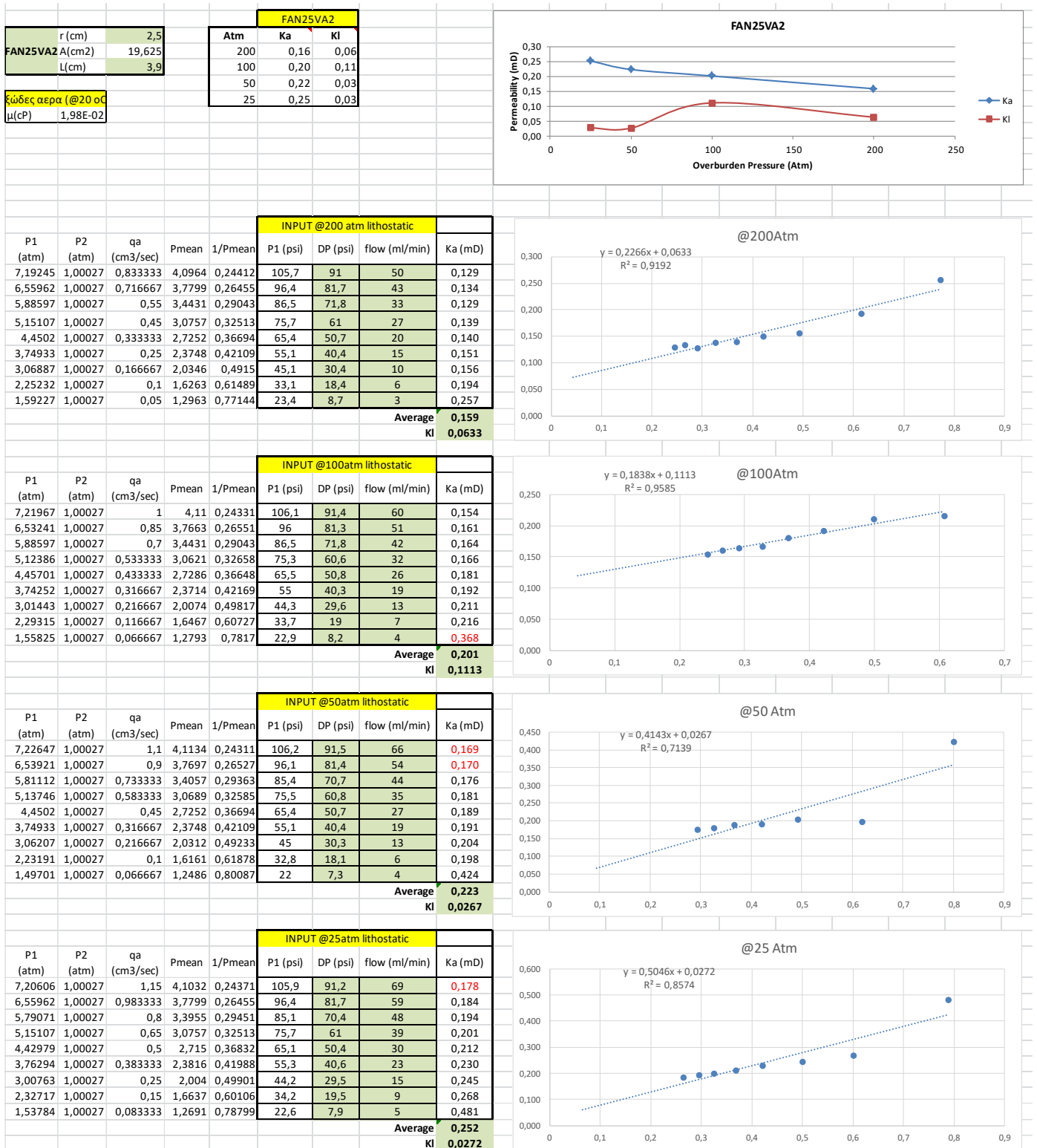


					INPUT @50atm lithostatic			
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
6,79098	1,00027	0,4166667	3,8956	0,2566981	99,8	85,1	25	0,085
6,1649578	1,00027	0,3333333	3,5826	0,2791256	90,6	75,9	20	0,083
5,532131	1,00027	0,2666667	3,2662	0,3061659	81,3	66,6	16	0,083
4,8108446	1,00027	0,2	2,9056	0,3441678	70,7	56	12	0,083
4,1916269	1,00027	0,1333333	2,596	0,3852153	61,6	46,9	8	0,074
3,5315818	1,00027	0,1	2,2659	0,4413202	51,9	37,2	6	0,080
2,8579275	1,00027	0,0666667	1,9291	0,5183762	42	27,3	4	0,086
2,1638594	1,00027	0,0333333	1,5821	0,6320845	31,8	17,1	2	0,084
1,4153546	1,00027	0,0333333	1,2078	0,8279417	20,8	6,1	2	0,307

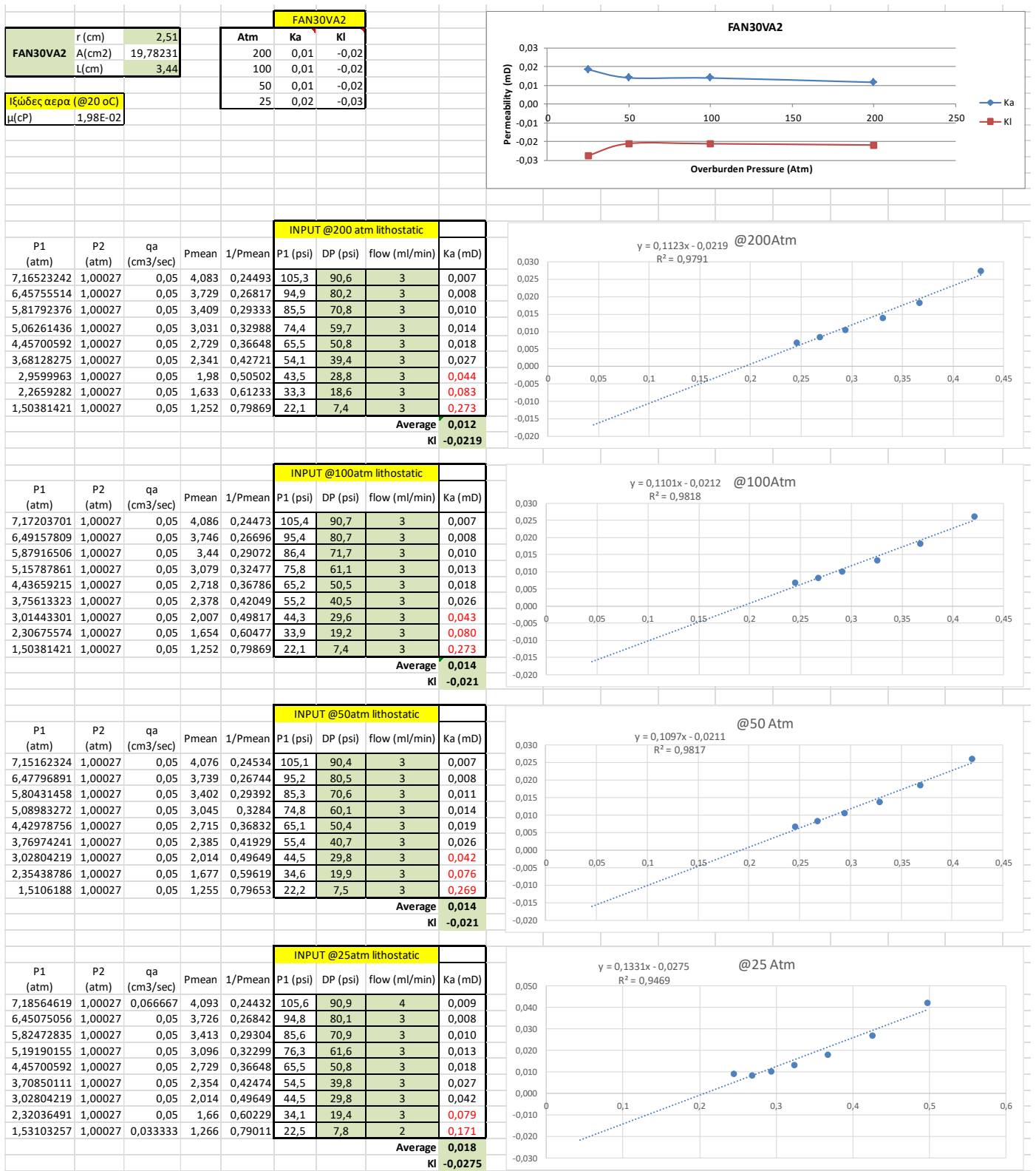


					INPUT @25atm lithostatic			
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
6,8590259	1,00027	0,4333333	3,9297	0,2544756	100,8	86,1	26	0,087
6,1513486	1,00027	0,3333333	3,5758	0,2796568	90,4	75,7	20	0,084
5,5593494	1,00027	0,2666667	3,2798	0,3048955	81,7	67	16	0,082
4,7836262	1,00027	0,2	2,892	0,3457874	70,3	55,6	12	0,084
4,2256499	1,00027	0,15	2,613	0,3827074	62,1	47,4	9	0,082
3,5519956	1,00027	0,1	2,2761	0,4393412	52,2	37,5	6	0,079
2,898755	1,00027	0,0666667	1,9495	0,5129481	42,6	27,9	4	0,083
2,2251007	1,00027	0,05	1,6127	0,6200829	32,7	18	3	0,117
1,490205	1,00027	0,0333333	1,2452	0,8030582	21,9	7,2	2	0,252



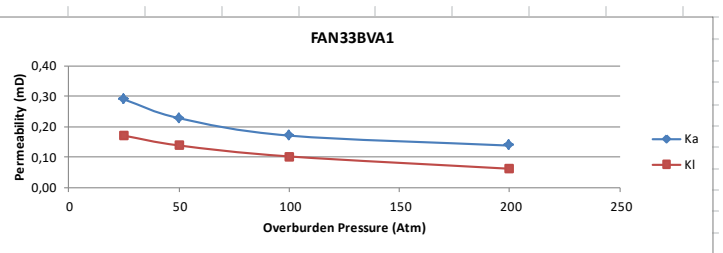




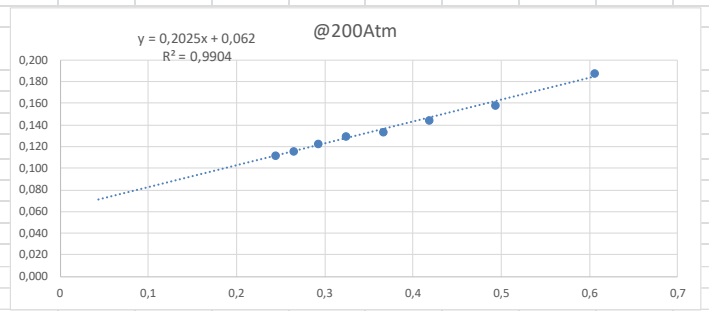


FAN33BVA1		
r (cm)	2,49	
A(cm2)	19,46831	
L(cm)	2,99	
ξώδες αερα (@20 οC		
μ(cP)	1,98E-02	

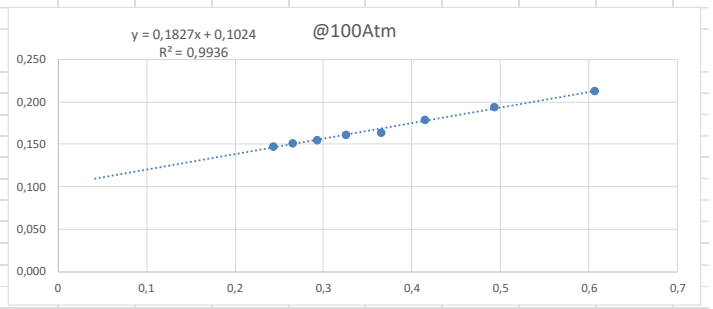
Atm	Ka	KI
200	0,14	0,06
100	0,17	0,10
50	0,23	0,14
25	0,29	0,17



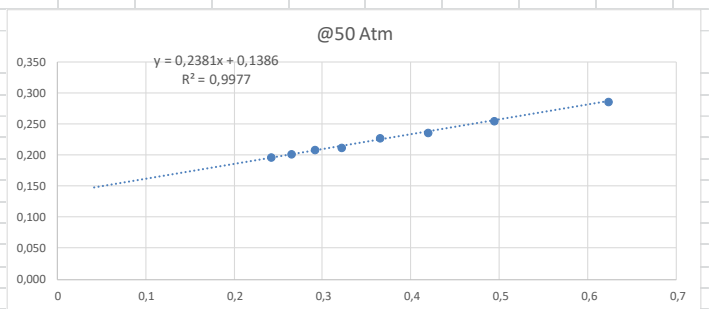
					INPUT @200 atm lithostatic			
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
7,20606	1,00027	0,933333	4,1032	0,24371	105,9	91,2	56	0,112
6,559624	1,00027	0,8	3,7799	0,26455	96,4	81,7	48	0,116
5,838338	1,00027	0,666667	3,4193	0,29246	85,8	71,1	40	0,123
5,178292	1,00027	0,55	3,0893	0,3237	76,1	61,4	33	0,130
4,470615	1,00027	0,416667	2,7354	0,36557	65,7	51	25	0,134
3,790156	1,00027	0,316667	2,3952	0,4175	55,7	41	19	0,144
3,055261	1,00027	0,216667	2,0278	0,49315	44,9	30,2	13	0,158
2,306756	1,00027	0,133333	1,6535	0,60477	33,9	19,2	8	0,188
1,558251	1,00027	0,066667	1,2793	0,7817	22,9	8,2	4	0,284
							Average	0,138
							KI	0,0620



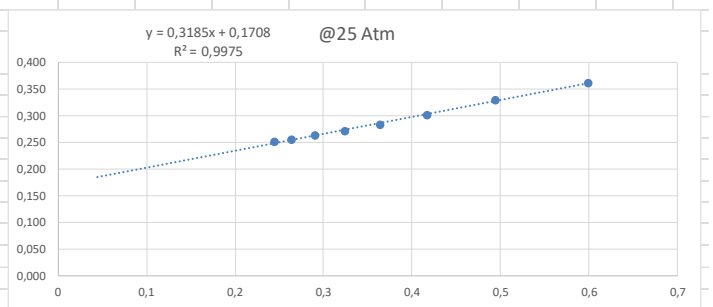
					INPUT @100atm lithostatic			
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
7,253692	1,00027	1,25	4,127	0,24231	106,6	91,9	75	0,148
6,573233	1,00027	1,05	3,7868	0,26408	96,6	81,9	63	0,152
5,851947	1,00027	0,85	3,4261	0,29188	86	71,3	51	0,156
5,164683	1,00027	0,683333	3,0825	0,32441	75,9	61,2	41	0,162
4,484224	1,00027	0,516667	2,7422	0,36466	65,9	51,2	31	0,165
3,824179	1,00027	0,4	2,4122	0,41455	56,2	41,5	24	0,179
3,062065	1,00027	0,266667	2,0312	0,49233	45	30,3	16	0,194
2,299951	1,00027	0,15	1,6501	0,60602	33,8	19,1	9	0,213
1,4834	1,00027	0,05	1,2418	0,80526	21,8	7,1	3	0,254
Average								0,171
KI								0,1024



					INPUT @50atm lithostatic			
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
7,260497	1,00027	1,666667	4,1304	0,24211	106,7	92	100	0,196
6,573233	1,00027	1,4	3,7868	0,26408	96,6	81,9	84	0,202
5,88597	1,00027	1,15	3,4431	0,29043	86,5	71,8	69	0,208
5,225925	1,00027	0,916667	3,1131	0,32122	76,8	62,1	55	0,212
4,491029	1,00027	0,716667	2,7457	0,36421	66	51,3	43	0,228
3,776547	1,00027	0,516667	2,3884	0,41869	55,5	40,8	31	0,237
3,055261	1,00027	0,35	2,0278	0,49315	44,9	30,2	21	0,256
2,211491	1,00027	0,183333	1,6059	0,62271	32,5	17,8	11	0,287
1,551446	1,00027	0,1	1,2759	0,78378	22,8	8,1	6	0,433
							Average	0,228
							KI	0,1386



					INPUT @25atm lithostatic			
P1 (atm)	P2 (atm)	qa (cm3/sec)	Pmean	1/Pmean	P1 (psi)	DP (psi)	flow (ml/min)	Ka (mD)
7,199255	1,00027	2,1	4,0998	0,24392	105,8	91,1	126	0,252
6,600452	1,00027	1,783333	3,8004	0,26313	97	82,3	107	0,255
5,913188	1,00027	1,466667	3,4567	0,28929	86,9	72,2	88	0,263
5,171488	1,00027	1,15	3,0859	0,32406	76	61,3	69	0,272
4,511443	1,00027	0,9	2,7559	0,36286	66,3	51,6	54	0,283
3,796961	1,00027	0,666667	2,3986	0,41691	55,8	41,1	40	0,303
3,055261	1,00027	0,45	2,0278	0,49315	44,9	30,2	27	0,329
2,340779	1,00027	0,266667	1,6705	0,59861	34,4	19,7	16	0,363
1,592274	1,00027	0,133333	1,2963	0,77144	23,4	8,7	8	0,529
							Average	0,290
							KI	0,1708



Παράρτημα.3 Κοκκομετρικές αναλύσεις

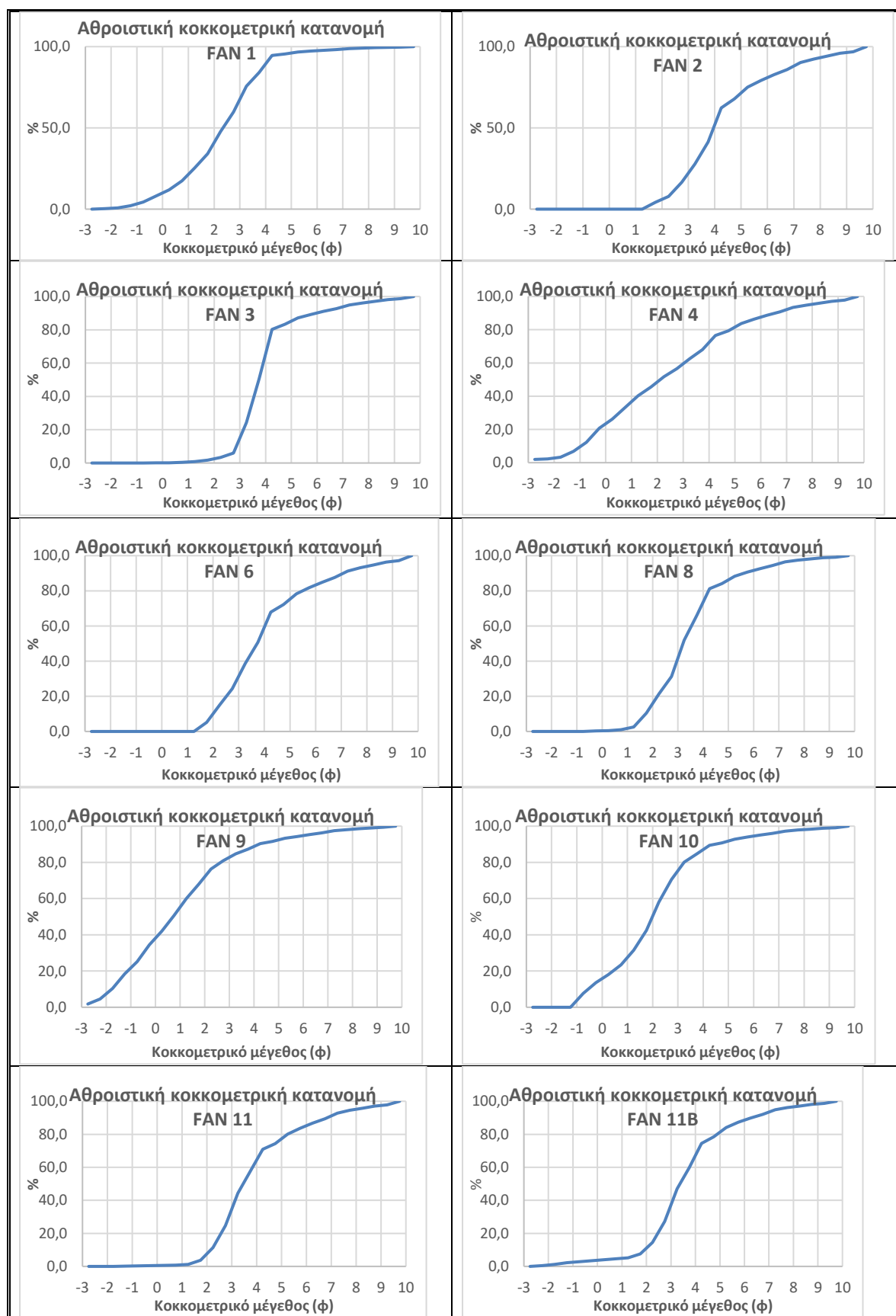
Παράρτημα 3. Πίνακας.d. Ποσοστιαίες Αθροιστικών κοκκομετρικών κατανομών δειγμάτων

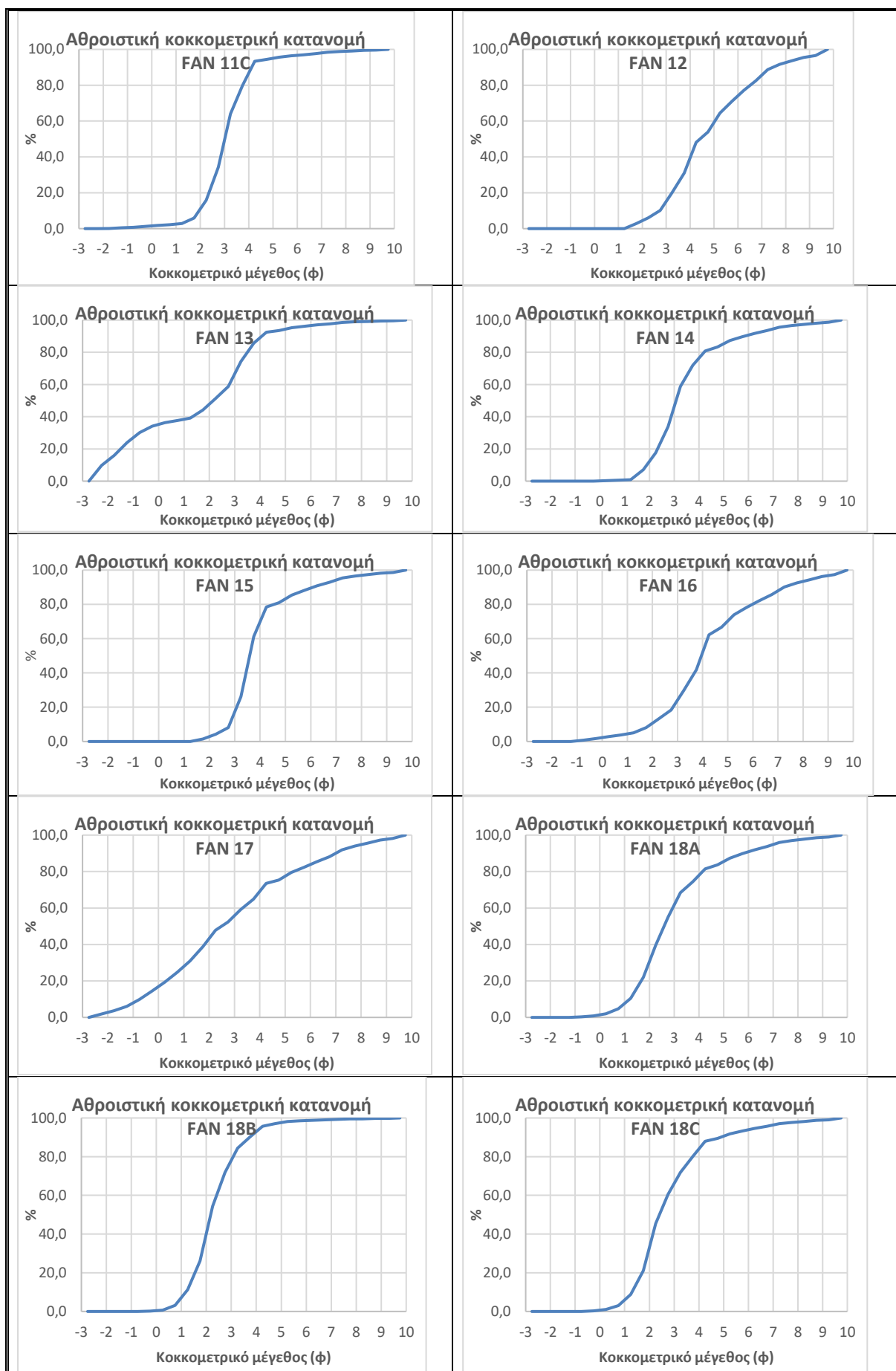
	min	max	FAN 1	FAN 2	FAN 3	FAN 4	FAN 6	FAN 8	FAN 9	FAN 10	FAN 11	FAN 11B
1	-3,0	-2,5	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0
2	-2,5	-2,0	0,3	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	0,5
3	-2,0	-1,5	0,8	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	10,4	0,0	0,0	1,2
4	-1,5	-1,0	2,2	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	18,5	0,0	0,1	2,2
5	-1,0	-0,5	4,4	0,0	0,0	12,3	0,0	0,0	25,2	7,7	0,2	2,8
6	-0,5	0,0	8,1	0,0	0,1	20,8	0,0	0,3	34,4	13,5	0,4	3,4
7	0,0	0,5	11,9	0,0	0,1	26,2	0,0	0,5	42,0	18,0	0,6	4,0
8	0,5	1,0	17,4	0,0	0,4	33,2	0,0	1,1	50,6	23,4	0,8	4,6
9	1,0	1,5	25,4	0,0	0,8	40,2	0,0	2,6	60,0	31,5	1,1	5,2
10	1,5	2,0	34,1	4,2	1,8	45,5	5,1	10,4	67,9	42,4	3,7	7,5
11	2,0	2,5	47,8	7,9	3,4	51,8	15,0	21,2	76,3	58,0	11,4	14,5
12	2,5	3,0	59,8	16,5	6,0	56,5	24,3	31,3	80,9	70,6	24,7	27,2
13	3,0	3,5	75,7	27,8	24,3	62,6	38,6	51,9	84,7	80,2	44,4	47,0
14	3,5	4,0	84,1	41,3	50,5	68,1	50,6	66,1	87,2	84,7	57,6	59,9
15	4,0	4,5	94,7	62,3	80,2	76,5	67,9	81,2	90,3	89,4	70,9	74,5
16	4,5	5,0	95,5	67,9	83,3	79,4	72,2	84,2	91,5	90,8	74,3	78,4
17	5,0	5,5	96,6	75,1	87,2	83,7	78,3	88,3	93,3	92,8	80,2	84,1
18	5,5	6,0	97,3	79,1	89,3	86,3	81,7	90,6	94,3	94,0	83,7	87,3
19	6,0	6,5	97,8	82,7	91,1	88,7	84,8	92,6	95,3	95,1	86,8	89,9
20	6,5	7,0	98,3	85,9	92,7	90,7	87,6	94,4	96,3	96,0	89,5	92,1
21	7,0	7,5	98,9	90,2	94,9	93,4	91,2	96,5	97,5	97,3	92,8	94,8
22	7,5	8,0	99,2	92,4	96,1	94,8	93,2	97,4	98,1	97,9	94,5	96,2
23	8,0	8,5	99,4	94,1	97,1	95,9	94,6	98,1	98,5	98,4	95,7	97,1
24	8,5	9,0	99,6	95,9	98,1	97,1	96,3	98,8	99,0	98,9	97,1	98,2
25	9,0	9,5	99,7	96,9	98,7	97,8	97,2	99,2	99,3	99,2	97,8	98,7
26	9,5	10,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

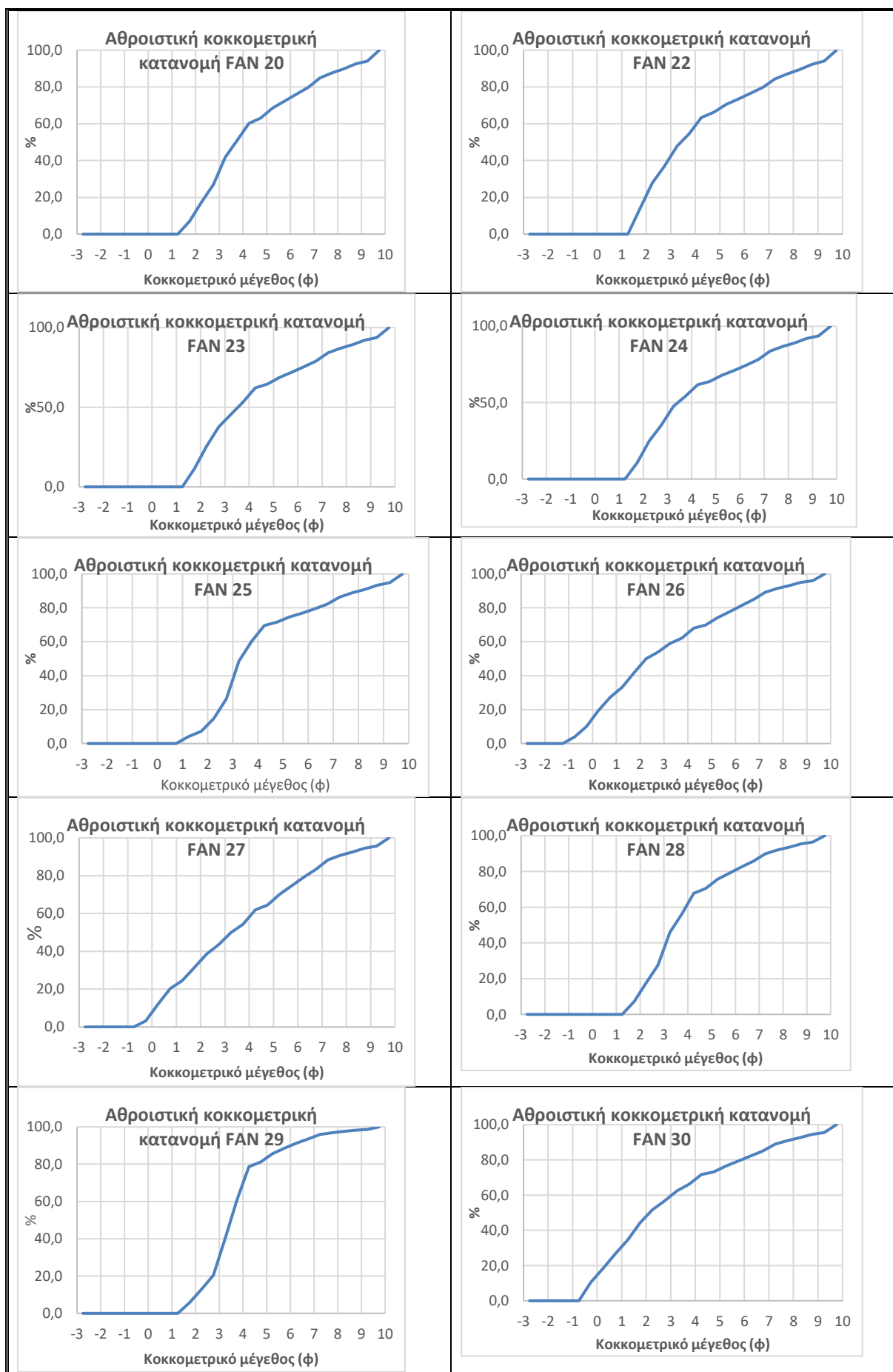
FAN 11C	FAN 12	FAN 13	FAN 14	FAN 15	FAN 16	FAN 17	FAN 18A	FAN 18B	FAN 18C	FAN 20	FAN 22
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	9,7	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	16,0	0,0	0,0	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,4	0,0	23,9	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,7	0,0	30,1	0,0	0,0	0,8	9,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
1,3	0,0	34,2	0,0	0,0	1,8	14,5	0,8	0,2	0,3	0,0	0,0
1,8	0,0	36,3	0,3	0,0	2,8	19,3	2,0	0,7	1,1	0,0	0,0
2,2	0,0	37,7	0,6	0,0	3,9	24,8	4,8	3,1	3,0	0,0	0,0
2,9	0,0	39,1	0,9	0,0	5,0	31,0	10,5	11,3	8,8	0,0	0,0
5,9	2,9	44,1	7,1	1,4	8,1	38,8	22,0	26,1	21,1	7,0	13,9
15,9	6,0	51,4	17,6	4,2	13,3	47,8	39,6	54,3	45,5	17,3	27,8
34,4	10,2	58,8	33,9	8,1	18,4	52,4	55,0	71,9	60,6	27,0	37,1
64,0	20,1	74,4	58,9	26,2	29,8	59,2	68,4	84,4	71,8	41,7	47,8
80,0	31,0	85,7	71,9	61,3	41,9	64,9	74,4	90,2	80,1	50,9	54,6
93,4	48,2	92,4	80,8	78,5	62,2	73,5	81,4	95,7	87,9	60,2	63,4
94,4	54,0	93,6	83,3	81,0	66,7	75,3	83,6	97,1	89,4	63,1	66,2
95,7	64,4	95,2	87,3	85,4	73,9	79,4	87,4	98,2	91,8	68,5	70,5
96,4	71,1	96,2	89,7	88,2	78,3	82,4	89,8	98,5	93,3	72,3	73,5
97,0	77,2	97,0	91,8	90,8	82,2	85,3	91,9	98,8	94,6	76,1	76,6
97,6	82,5	97,7	93,5	93,0	85,7	88,1	93,8	99,0	95,7	79,8	79,8
98,4	88,7	98,5	95,6	95,4	90,1	91,9	96,0	99,3	97,1	84,9	84,5
98,8	91,6	98,9	96,6	96,6	92,5	94,0	97,0	99,5	97,7	87,7	87,2
99,1	93,6	99,2	97,3	97,4	94,3	95,5	97,8	99,6	98,2	89,9	89,4
99,4	95,5	99,5	98,2	98,2	96,3	97,2	98,5	99,7	98,8	92,5	92,3
99,6	96,5	99,6	98,6	98,7	97,4	98,2	98,9	99,8	99,1	94,2	94,1
100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

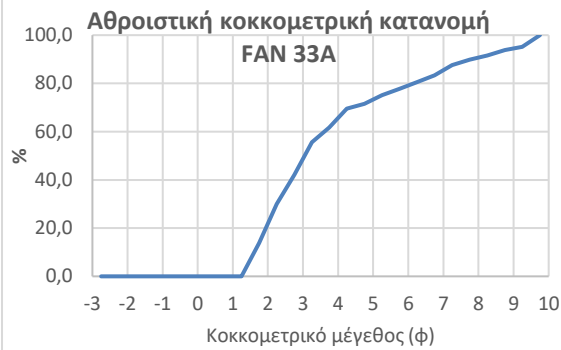
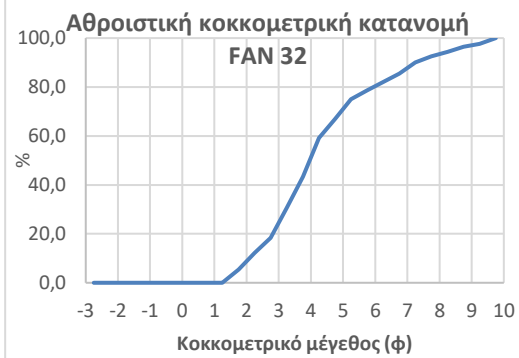
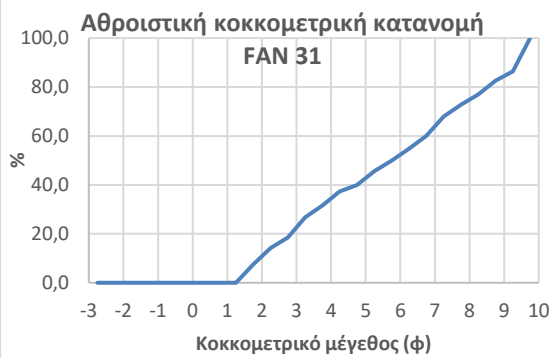
FAN 23	FAN 24	FAN 25	FAN 26	FAN 27	FAN 28	FAN 29	FAN 30	FAN 31	FAN 32	FAN 33A
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	10,2	3,2	0,0	0,0	10,6	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	19,6	12,1	0,0	0,0	18,5	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	27,4	20,2	0,0	0,0	26,8	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	4,1	33,2	24,6	0,0	0,0	34,7	0,0	0,0	0,0
11,3	10,6	7,2	41,8	31,5	7,3	5,7	44,2	7,4	5,4	13,8
25,7	24,9	14,8	50,0	38,6	17,6	12,9	51,7	14,2	12,2	30,0
37,8	35,3	26,3	54,0	43,7	27,6	20,3	56,8	18,6	18,4	42,0
45,5	47,6	48,7	58,9	49,9	45,9	40,3	62,4	26,7	30,5	55,5
53,2	54,2	60,4	62,1	54,3	56,3	61,0	66,2	31,5	43,3	61,7
62,1	61,7	69,6	68,0	62,0	67,8	78,6	71,7	37,4	59,1	69,6
64,5	63,9	71,5	69,9	64,4	70,5	81,2	73,2	40,0	66,9	71,6
68,8	67,9	74,6	74,2	70,1	75,6	85,7	76,6	45,5	75,0	75,2
71,9	70,9	76,9	77,7	74,7	79,1	88,6	79,3	49,9	78,7	77,7
75,4	74,4	79,4	81,3	79,2	82,5	91,3	82,2	54,8	82,1	80,5
79,0	78,1	82,1	84,8	83,3	85,7	93,5	85,1	60,0	85,4	83,4
84,3	83,6	86,4	89,2	88,4	89,8	95,9	88,9	68,0	90,0	87,5
87,1	86,7	88,8	91,4	90,8	92,0	96,9	91,0	72,8	92,5	89,8
89,3	89,0	90,8	93,1	92,6	93,6	97,6	92,5	77,0	94,4	91,6
92,0	91,9	93,3	95,0	94,6	95,5	98,2	94,4	82,7	96,4	93,8
93,7	93,7	94,8	96,0	95,7	96,5	98,6	95,6	86,4	97,6	95,1
100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Παράρτημα 3. Πίνακας.ε. Διαγράμματα Αθροιστικών κοκκομετρικών κατανομών δειγμάτων









Όνομα δειγματος	Αρχικό βάρος (gr)	Προσθήκη νερού	Προσθήκη HCL	Εκκλύσεις	Βάρος μετά την επεξεργασία με HCL	Βάρος (>63 μm) μετά από υγρή κοσκίνιση	8000(μm)-gr	5600 (μm)-gr	4000 (μm)-gr	2830 (μm)-gr	2000 (μm)-gr	1400 (μm)-gr	1000 (μm)-gr	710 (μm)-gr	500 (μm)-gr	355 (μm)-gr	250 (μm)-gr	180 (μm)-gr	125(μm)-gr	90 (μm)-gr	63 (μm)-gr	pan (μm)-gr	Λοιπό (gr)-gr
FAN 1	290,3	✓	—	—	—	217,72	—	0,6	1,1	3	4,9	8	8,4	12	17,3	19,18	29,81	26,06	34,67	17,34	21,56	12,09	2,12
FAN 2	282,7	✓	—	—	—	257,01	137,9 συσσωματώματα (μη σωστή αποσυμπίεψη)	3,4 συσσωματώματα	1,8 συσσωματώματα	1,7 συσσωματώματα	1,1 συσσωματώματα	1,1 συσσωματώματα	0,8 συσσωματώματα	0,6 συσσωματώματα	0,7 συσσωματώματα	1,91	1,72	3,98	4,54	4,61	7,24	2	20,02
FAN 3	291,5	✓	—	—	—	171,71	—	—	—	—	0,1 συσσωματώματα	0,1 κόκκοι + 0,6 συσσωματώματα	0,1 κόκκοι + 0,8 συσσωματώματα	0,5 κόκκοι + 0,8 συσσωματώματα	0,9 κόκκοι + 0,8 συσσωματώματα	1,77	3	5,08	34,04	46,97	51,48	23,95	21,86
FAN 4	283	✓	—	—	—	205,35	5,3	0,9	2,6	9,4	15	22,9	14,6	18,9	18,8	14,23	16,95	12,78	15,5	11,08	16,71	8,19	65,65
FAN 5	299,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FAN 6	254,7	✓	—	—	—	222,35	—	—	—	—	—	—	—	—	168,23 (συσσωματώματα)	4,07	7,82	7,28	10,76	7,81	10,8	5,39	25,11
FAN 7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FAN 8	278,4	✓	—	—	—	244,72	104,1 συσσωματώματα	7,1 συσσωματώματα	1,7 συσσωματώματα	0,8 συσσωματώματα	0,3 συσσωματώματα	0,4	0,4	0,9	2,4	12,31	17,14	15,36	31,32	19,74	19,64	9,62	28,23
FAN 9	282,5	✓	—	—	—	250,14	5	7,8	16,1	22,5	18,7	25,5	21	23,9	26,2	21,99	23,4	12,79	9,34	5,51	5,97	2,46	29,1
FAN 10	297,4	✓	—	—	—	251,32	—	—	—	—	21,2	16	12,4	14,7	22,4	29,84	43,03	34,63	25,74	10,61	10,27	4,65	29,53
FAN 11	296,8	✓	—	—	—	209,47	—	0,6 συσσωματώματα	1 συσσωματώματα	0,3 κόκκοι + 1,2 συσσωματώματα	0,4 κόκκοι + 0,7 συσσωματώματα	0,5 κόκκοι + 0,7 συσσωματώματα	0,5 κόκκοι + 0,6 συσσωματώματα	0,6 κόκκοι + 0,3 συσσωματώματα	0,9 κόκκοι + 0,3 συσσωματώματα	7,34	21,75	37,65	55,45	34,34	31,17	10,95	80,84
FAN 11B	299,8	✓	—	—	—	214,39	—	1,4	2,2	2,8	1,7	1,8	1,7	1,7	1,8	6,68	20,08	36,48	55,85	31,76	33,16	14,5	74,91
FAN 11C	285,6	✓	—	—	—	214,85	—	0,5 συσσωματώματα	0,1 κόκκοι + 0,6 συσσωματώματα	0,8 κόκκοι + 0,6 συσσωματώματα	0,7 κόκκοι + 0,6 συσσωματώματα	1,2 κόκκοι + 0,5 συσσωματώματα	1,1 κόκκοι + 0,2 συσσωματώματα	0,9 κόκκοι + 0,2 συσσωματώματα	1,4 κόκκοι + 0,2 συσσωματώματα	6,51	21,73	40,04	63,64	31,15	27,19	12,19	5,9
FAN 12	288	✓	—	—	—	180,32	24,6 συσσωματώματα	3,9 συσσωματώματα	2 συσσωματώματα	1,5 συσσωματώματα	0,6 συσσωματώματα	0,5 συσσωματώματα	0,5 συσσωματώματα	0,4 συσσωματώματα	1,2 συσσωματώματα	7,18	7,98	10,56	24,19	23,4	33,56	46,79	98,11
FAN 13	293,6	✓	—	—	—	275,51	137,9 συσσωματώματα	14 κόκκοι + 1,3 συσσωματώματα	9 κόκκοι + 1,3 συσσωματώματα	11,4	8,9	5,9	3	2,1	2	7,19	10,5	10,63	22,13	15,54	8,4	2,94	10,3
FAN 14	299,1	✓	—	—	—	205,39	—	2,5 συσσωματώματα	1,5 συσσωματώματα	2 συσσωματώματα	2 συσσωματώματα	2,4 συσσωματώματα	0,7 κόκκοι + 1,5 συσσωματώματα	0,7 κόκκοι + 1,7 συσσωματώματα	0,7 κόκκοι + 2,8 συσσωματώματα	14,65	24,48	38,28	58,06	28,1	16,32	6,06	46,6
FAN 15	279,6	✓	—	—	—	220,84	—	—	—	2,4 συσσωματώματα	2,6 συσσωματώματα	2,2 συσσωματώματα	1,5 συσσωματώματα	1,8 συσσωματώματα	2,5 συσσωματώματα	3,64	7,24	10,16	46,59	89,04	40,12	9,63	52,58
FAN 16	290,2	✓	—	—	—	245,68	156,8 συσσωματώματα	7,8 συσσωματώματα	4,2 συσσωματώματα	1 συσσωματώματα	0,9	1,1	1,2	1,2	1,3	3,5	5,82	5,81	12,36	11,69	19,29	11,26	37,89
FAN 17	262	✓	—	—	—	228,65	12,9 συσσωματώματα	2,4	2,3	3	4,8	6	6,2	7	7,9	10,01	11,47	5,85	6,69	7,25	9,91	4,53	30,39
FAN 18A	297,3	✓	—	—	—	254,15	24,2 συσσωματώματα	10,9 συσσωματώματα	7,1 συσσωματώματα	5,3 συσσωματώματα	0,8 κόκκοι + 2,4 συσσωματώματα	1,1 κόκκοι + 2 συσσωματώματα	2,7 κόκκοι + 0,3 συσσωματώματα	6,7	13,3	27,13	41,35	36,29	30,38	12,28	12,75	14,98	34,91
FAN 18B	276,2	✓	—	—	—	252,42	—	—	—	—	—	0,6	1,4	6,5	22,2	40,19	76,69	47,69	31,3	11,15	9,78	3,59	20,46
FAN 18C	290,2	✓	—	—	—	253,24	18,9 συσσωματώματα	2,8 συσσωματώματα	1,7 συσσωματώματα	1,5 συσσωματώματα	0,9 συσσωματώματα	0,7 κόκκοι + 1 συσσωματώματα	2 κόκκοι + 0,3 συσσωματώματα	5 κόκκοι + 0,3 συσσωματώματα	14,7	31,4	62,12	38,49	28,28	19,44	17,2	5,4	30,15
FAN 19	278,8	✓	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FAN 20	272,9	✓	—	—	—	237,22	164,2 συσσωματώματα	8,5 συσσωματώματα	6,4 συσσωματώματα	3,8 συσσωματώματα	1,5 συσσωματώματα	0,9 συσσωματώματα	1 συσσωματώματα	6,32 συσσωματώματα	4,7 συσσωματώματα	4,39	6,45	6,01	9	5,18	4,57	2,97	23,93
FAN21	287,5	✓	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FAN21B	298,8	✓	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FAN21C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FAN 22	281,6	✓	—	—	—	257,49	205 συσσωματώματα	10,4 συσσωματώματα	5,6 συσσωματώματα	3,2 συσσωματώματα	2,6 συσσωματώματα	1,8 συσσωματώματα	0,7 συσσωματώματα	0,4 συσσωματώματα	0,6 συσσωματώματα	6,04	6,03	4,04	4,5	2,4	2,89	1,84	15,72
FAN 23	291,5	✓	—	—	—	257,15	196,3 συσσωματώματα	2,2 συσσωματώματα	0,9 συσσωματώματα	0,3 συσσωματώματα	0,1 συσσωματώματα	0,01 συσσωματώματα	0,02 συσσωματώματα	0,001 συσσωματώματα	0,4 συσσωματώματα	6	7,65	6,39	4	3,66	3,82	3,72	17,79
FAN 24	273,8	✓	—	—	—	242,32	170,9 συσσωματώματα	4,1 συσσωματώματα	2,3 συσσωματώματα	1,1 συσσωματώματα	0,4 συσσωματώματα	0,2 συσσωματώματα	0,05 συσσωματώματα	0,03 συσσωματώματα	0,4 συσσωματώματα	6,67	8,92	6,56	7,63	3,7	3,8	3,11	22,29
FAN 25	268,4	✓	—	—	—	251,77 (200,92 συσσωματώματα)	—	—	—	—	—	—	—	—	2,95	2,24	5,45	8,29	15,9	7,84	5,55	2,09	21,63
FAN 26	299,7	✓	—	—	—	279,36	190,8 συσσωματώματα	14,3 συσσωματώματα	10,8 συσσωματώματα	8,7 συσσωματώματα	2,4 κόκκοι + 5 συσσωματώματα	4 κόκκοι + 4,8 συσσωματώματα	5,9	4,9	3,7	5,41	5,14	2,48	3,13	1,8	3,01	1,69	19,32
FAN 27	285,4	✓	—	—	—	271	207,1 συσσωματώματα	8,9 συσσωματώματα	7,8 συσσωματώματα	5,8 συσσωματώματα	4,6 συσσωματώματα	1,1 κόκκοι + 4 συσσωματώματα	3,1 κόκκοι + 4 συσσωματώματα	2,8 κόκκοι + 2 συσσωματώματα	1,5 κόκκοι + 2 συσσωματώματα	2,39	2,45	1,76	2,17	1,43	2,21	2,75	10,92
FAN 28	260,5	✓	—	—	—	214,07	76,2 συσσωματώματα	15,4 συσσωματώματα	10,1 συσσωματώματα	7,7 συσσωματώματα	5,7 συσσωματώματα	5,3 συσσωματώματα	5 συσσωματώματα	5,2 συσσωματώματα	6,8 συσσωματώματα	8,01	11,29	10,97	20,02	10,55	10,72	4,78	33,47
FAN 29	270,5	✓	—	—	—	210,88	24,5 συσσωματώματα	10,6 συσσωματώματα	4,8 συσσωματώματα	4,6 συσσωματώματα	2 συσσωματώματα	0,7 συσσωματώματα	0,05 συσσωματώματα	0,02 συσσωματώματα	0,04 συσσωματώματα	11,71	14,68	15,27	40,2	40,4	32,19	10,5	39,86
FAN 30	267,3	✓	—	—	—	244,28	190,4 συσσωματώματα	10,6 συσσωματώματα	4,2 συσσωματώματα	4,7 συσσωματώματα	3,6 συσσωματώματα	4,3	3,2	3,4	3,2	3,87	3,03	2,09	2,24	1,38	1,94	0,88	11,21
FAN 31	285,4	✓	—	—	—	244,83	123,5 συσσωματώματα	18,9 συσσωματώματα	15,8 συσσωματώματα	14,7 συσσωματώματα	11,4 συσσωματώματα	9,2 συσσωματώματα	5,5 συσσωματώματα	4,4 συσσωματώματα	4,3 συσσωματώματα	5,31	4,8	3,13	5,82	3,12	3,04	0,75	45,39
FAN 32	269,3	✓	—	—	—	238,2	—	—	—	—	—	—	—	—	208,01 (συσσωματώματα)	3,53	4,46	4	5,43	3,85	4,6	3,07	36,35
FAN 33A	279,6	✓	—	—	—	240,95	165,5 συσσωματώματα	15,6 συσσωματώματα	4,2 συσσωματώματα	7,5 συσσωματώματα	0,7 συσσωματώματα	0,05 συσσωματώματα	0,02 συσσωματώματα	0,1 συσσωματώματα	0,4 συσσωματώματα	10,88	12,79	9,48	10,59	4,29	5,12	4,29	21,46
FAN 33B	383	✓	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—