



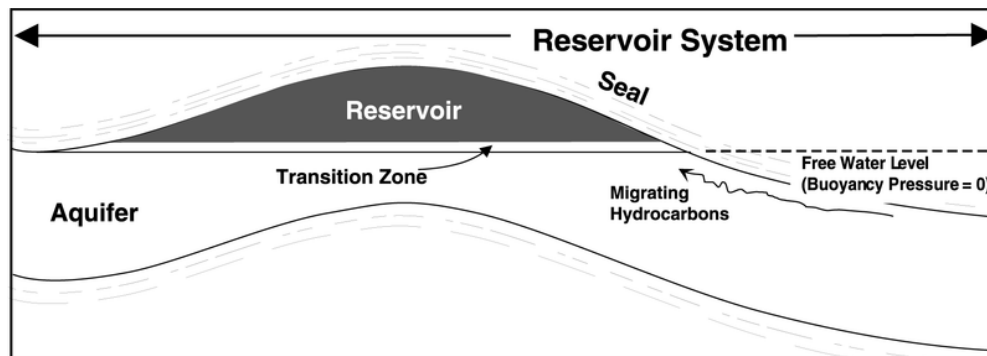
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΑΓΓΕΛΟΣ Π. ΤΑΓΚΑΛΙΔΗΣ

ΠΕΤΡΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ-
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ-ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Επιβλέπων καθηγητής: Α. Γεωργακόπουλος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020





ΑΓΓΕΛΟΣ Π. ΤΑΓΚΑΛΙΔΗΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5287

ΠΕΤΡΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ-ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ-ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Κοιτασματολογίας.

Επιβλέπων

.....

© Αγγελος Π. Ταγκαλιδης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας κοιτασματολογίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΠΕΤΡΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ-ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ- ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ – *Διπλωματική Εργασία*

© Angelos P. Tagalidis, School of Geology, Dept. of economic geology, 2020

All rights reserved.

PETROPHYSICAL PROPERTIES OF CARBONATE ROCKS-RESERVOIRS OF
PETROLEUM-NOBLE GAS– *Bachelor Thesis*



Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου:



Η πετροφυσική είναι η επιστήμη που μελετά τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των πετρωμάτων καθώς και τις αλληλεπιδράσεις αυτών με τα ρευστά. Η βασική μελέτη των πετροφυσικών ιδιοτήτων έχει άμεσες εφαρμογές στην έρευνα και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων καθώς με βάση τις πετροφυσικές παραμέτρους κατανοούνται οι ιδιότητες των ταμειυτήρων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ο προσδιορισμός αυτών των παραμέτρων γίνεται κυρίως κατά το διάστημα των γεωτρήσεων με τις διαγραφίες, τις μετρήσεις σε δείγματα πυρήνων καθώς και τις σεισμικές μετρήσεις.

Οι παράμετροι που εξετάζονται κατά την μελέτη των πετροφυσικών ιδιοτήτων ενός ταμειυτήρα είναι οι εξής

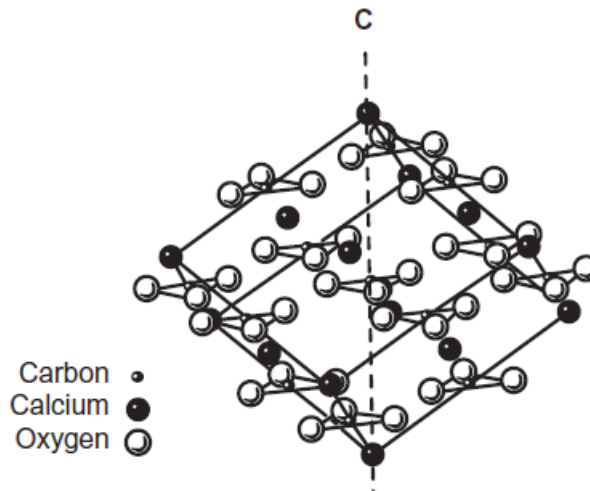
- Λιθολογία και φυσικές ιδιότητες του πετρώματος-ταμειυτήρα
- Κορεσμός
- διαβρεξιμότητα
- τριχοειδής πίεση
- πορώδες
- διαπερατότητα

Στη συγκεκριμένη εργασία θα διερευνήσουμε τα ανθρακικά πετρώματα ταμειυτήρες. Αφού πρώτα περιγραφούν τα ανθρακικά πετρώματα, στη συνέχεια θα διερευνηθεί το δυναμικό τους ως πετρώματα – ταμειυτήρες.

1.1 ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Τα ανθρακικά πετρώματα αποτελούν μονόμεικτα πετρώματα με κοινό χαρακτηριστικό την ύπαρξη σύμπλοκων ενώσεων του $(\text{CO}_3)^{2-}$ με μεταλλικά κατιόντα. Πάνω από το 90% των ανθρακικών πετρωμάτων που έχουν βρεθεί σε σύγχρονο περιβάλλον είναι βιογενούς προέλευσης σε θαλάσσια περιβάλλοντα με επικρατέστερο πέτρωμα τον ασβεστόλιθο. Μπορούν να φιλοξενούν απολιθώματα που μπορεί και να αποτελούν μέρος της σύστασης τους. Μέσω των απολιθωμάτων γίνεται η χρονολόγηση του πετρώματος. Εντοπίζονται κυρίως σε θαλάσσια περιβάλλοντα. Βασικό χαρακτηριστικό των ανθρακικών ορυκτών είναι η ύπαρξη ανθρακικής ρίζας στον ορυκτολογικό τύπο τους. Τα επικρατέστερα κρυσταλλικά συστήματα ανθρακικών ορυκτών είναι: το εξαγωνικό, το ρομβικό και το μονοκλινές σύστημα με βασική πλειονότητα τα ορυκτά του εξαγωνικού συστήματος όπως ο ασβεστίτης (CaCO_3), και ο δολομίτης ($\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$). Ο αραγωνίτης έχει τον ίδιο χημικό τύπο με τον ασβεστίτη

αλλά κρυσταλλώνεται στο ρομβικό σύστημα. Η απουσία του από τα παλιά ανθρακικά πετρώματα οφείλεται στην μετέπειτα αντικατάστασή του από αλλά ορυκτά.



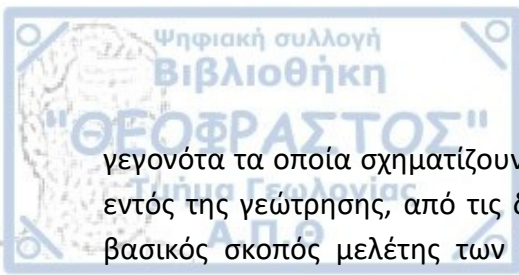
Εικόνα 1 Εσωτερική δομή ασβεσίτη κατά απεικόνιση των Hurlbut και Klein (1977)

1.2 ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΕΣ

Οι ταμιευτήρες είναι πορώδη πετρώματα καλής διαπερατότητας που έχουν τη δυνατότητα 'φιλοξενίας' υδρογονανθράκων κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Οι ταμιευτήρες οφείλουν το πορώδες και τη διαπερατότητα τους στις διαδικασίες της απόθεσης, και διάρρηξης του πετρώματος-ταμιευτήρα. Οι διαδικασίες αυτές μπορούν να δράσουν ξεχωριστά ή και σε συνδυασμό. Οι ανθρακικοί ταμιευτήρες σε μεγάλο ποσοστό φιλοξενούν νερό όμως στην παρούσα εργασία θα αναφερθούμε στους ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Οι ταμιευτήρες είναι τρισδιάστατα σώματα τα οποία άμα γνωρίζουμε τη γεωμετρία τους μπορούμε να: 1) Ορίσουμε τη θέση της γεώτρησης για έρευνα και παραγωγή. 2) Εκτιμήσουμε το μέγεθος του εν δυνάμει προϊόντος ενός ταμιευτήρα. 3) Εφαρμόσουμε τη βέλτιστη δυνατή μέθοδο εξαγωγής των ρευστών. 4) Προσδιορίσουμε τον αριθμό των γεωτρήσεων και την μεταξύ τους απόσταση κατά το στάδιο των ερευνητικών γεωτρήσεων. 5) Προβλέψουμε την πιθανή πορεία που θα πάρουν τα ρευστά κατά την δευτερογενή ανάκτηση.

Στην έρευνα των ταμιευτήρων είναι απαραίτητες οι γνώσεις σε αντικείμενα όπως η γεωλογία των ταμιευτήρων (reservoir geology), η μηχανική των ταμιευτήρων (reservoir engineering) και ο χαρακτηρισμός τους (reservoir characterization) που θα αναφερθούν παρακάτω.

Η γεωλογία των ταμιευτήρων ως κλάδος της έρευνας των ταμιευτήρων ασχολείται με την προέλευση, κατανομή και τα λιθολογικά χαρακτηριστικά ενός ταμιευτήρα. Χρησιμοποιεί επίσης πληροφορίες από κλάδους όπως η ιζηματολογία, η στρωματογραφία, η πετρολογία των ιζηματογενών πετρωμάτων και η πετρογραφία με σκοπό την περιγραφή του ταμιευτήρα. Αυτή η περιγραφή βασίζεται στις ιδιότητες του πετρώματος-ταμιευτήρα και στα γεωλογικά



γεγονότα τα οποία σχηματίζουν τα πορώδη δίκτυα, δεδομένα που συλλέγουμε από πυρήνες εντός της γεώτρησης, από τις διαγραφίες καθώς και από πλήθος γεωφυσικών μεθόδων. Ο βασικός σκοπός μελέτης των παραπάνω παραμέτρων είναι ο συνδυασμός τους για την διατύπωση συμπεράσματος που αφορά το μέγεθος και τα βασικά χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα.

Ο χαρακτηρισμός του ταμιευτήρα μέσω των φυσικών χαρακτηριστικών του πετρώματος μελετά τις πετροφυσικές ιδιότητες του ταμιευτήρα καθώς και τις ιδιότητες των ρευστών που φιλοξενεί ο ταμιευτήρας. Ο Lucia στο βιβλίο *Carbonate Reservoir Characterization, An Integrated Approach* αναφέρει πως ο σκοπός του χαρακτηρισμού ενός ταμιευτήρα είναι η τρισδιάστατη περιγραφή των πετροφυσικών ιδιοτήτων. Μέσω των πυρήνων γεώτρησης και των διαγραφιών μπορούμε να κάνουμε μετρήσεις σε ιδιότητες όπως πορώδες, διαπερατότητα, κορεσμός, τριχοειδής πίεση.

Η μηχανική των ταμιευτήρων, σε αντίθεση με τα παραπάνω, εφαρμόζεται μετά τις αρχικές έρευνες του ταμιευτήρα με σκοπό τη βέλτιστη και οικονομικότερη ανάκτηση και παραγωγή των υδρογονανθράκων. Η μελέτη της εξελίσσεται γύρω από τις πιέσεις που ασκούνται εντός του ταμιευτήρα και στις αναλογίες πετρελαίου-φυσικού αερίου καθώς επίσης και τον κορεσμό τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα επικεντρωθούμε σε θεμελιώδεις ορισμούς και ιδιότητες των ανθρακικών πετρωμάτων και στο πως αυτές σχετίζονται με τις ιδιότητες των ταμιευτήρων.

2.1 ιδιότητες των ανθρακικών πετρωμάτων

Οι ιδιότητες των ανθρακικών πετρωμάτων είναι: **ο ιστός, ο τύπος των κόκκων, η ορυκτολογική σύσταση και η δομή των ιζηματογενών πετρωμάτων και οι στρώσεις των ιζημάτων.** Πρέπει να αναφερθεί ότι ο **ιστός** και η **δομή** δεν είναι συνώνυμες έννοιες καθώς με τον όρο **ιστό** ορίζουμε το μέγεθος, το σχήμα και τη διάρθρωση των κόκκων του ιζηματογενούς πετρώματος. Η **δομή** αναφέρεται στη χωρική διάταξη και τον προσανατολισμό των κόκκων ενός ιζηματογενούς πετρώματος (depositional fabric), η **ορυκτολογική σύσταση** αναφέρεται στην πρωταρχική ορυκτολογία καθώς μας δίνει πληροφορίες για την βιογενετική διαδικασία και μας παρέχει σημαντικές ενδείξεις για την χημική εξέλιξη της γης. Ωστόσο αυτές οι ενδείξεις δεν είναι αξιόπιστες για την αξιολόγηση της κατανομής των ρευστών εντός του ταμιευτήρα, διότι κατά την διαγένεση του ο ασβεστόλιθος μπορεί να αποτελείται από: ασβεσίτη, αραγωνίτη ή δολομίτη μεμονωμένα ή σε συνδυασμό των παραπάνω. Έτσι, οι γεωεπιστήμονες που θέλουν να μελετήσουν έναν ταμιευτήρα, επικεντρώνονται σε παράγοντες όπως το είδος του κόκκου [βιοκλάστες, ορειδή

και πηλοειδή]. Οι **Στρώσεις των ιζημάτων** είναι διατηρημένα στρώματα που δημιουργήθηκαν από ρευστά που δρουν στην επιφάνεια της λεκάνης απόθεσης, μεταβάλλοντας τα με μικρές ή μεγάλες αλλοιώσεις όπως: αποξήρανση, ρήξη πρανούς, θηξοτροπία, συμπίεση, αφαίρεση ρευστών, βιοσυσμάτωση από οργανισμούς.

2.1.1 Ιστός (texture)

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή με τον όρο ιστό ορίζουμε το μέγεθος των κόκκων. Οι περισσότεροι γεωλόγοι και γεωεπιστήμονες χρησιμοποιούν για να περιγράψουν το μέγεθος κλίμακες όπως τη **γεωμετρική** (mm) καθώς και την **αριθμητική** (μετριέται σε Φ) όπου $\Phi = -\log_2 \xi$ το ξ αντιπροσωπεύει το μέγεθος των κόκκων σε χιλιοστά (mm), οι παραπάνω κλίμακες έχουν ως βάση μεγέθους το 1mm. Παρόλα αυτά επικρατέστερη είναι η κλίμακα μεγέθους **Wentworth (1922)** κατά την οποία κάθε μονάδα της κλίμακας που μετριέται σε mm, είναι διπλάσια της επόμενης μικρότερης.

Στη κλίμακα **Wentworth(1922)** οι κόκκοι ταξινομούνται με τη μέση διάμετρο τους. Κόκκοι με μέση διάμετρο μεγαλύτερη των 2mm περιγράφονται ως κροκάλες-χαλίκια (gravel), αυτοί με διάμετρο μεταξύ 2mm και 1/16mm(62μm) ονομάζονται άμμοι (sand), και αυτοί με μέγεθος λεπτότερο από 1/16mm(62μm) αποτελούν την ιλύ (1/16mm-1/256mm) και την άργιλο (<1/256mm).

Λιθολογική τάξη	Wentworth (mm)	Krumbein (Φ)*
κροκάλες ή λατύτερες	256	-8
	128	-7
	64	-6
	32	-5
	16	-4
	8	-3
	4	-2
	2	-1
άμμος	πολύ αδρόκοκκη 1	0
	αδρόκοκκη 0,5	1
	μεσόκοκκη 0,25	2
	λεπτόκοκκη 0,125	3
	πολύ λεπτόκοκκη 0,06	4
	αδρόκοκκη 0,032	5
	μεσόκοκκη 0,016	6
	λεπτόκοκκη 0,008	7
	πολύ λεπτόκοκκη 0,004	8
	0,002	9
	0,001	10
	0,0005	11
0,00025	12	
ιλύς		
άργιλος		

* $\Phi = \log_2 \delta$ (δ σε mm)

Εικόνα 2. Ταξινόμηση κόκκων με βάση την κλίμακα Wentworth(1922)

Παρόλα αυτά η ταξινομική χρήση της κλίμακας Wentworth είναι πολύ γενική για να περιγράψει ένα ανθρακικό πέτρωμα. Σε πολλές σύγχρονες βιβλιογραφίες χρησιμοποιούνται οι ταξινομήσεις **Folk (1959)** και **Dunham (1962)** ενώ στην περιγραφή βιογενών πετρωμάτων γίνεται ευρεία χρήση της κοκκομετρικής κλίμακας **Embry και Klovan (1971)**.

2.1.2 Δομή (fabric)

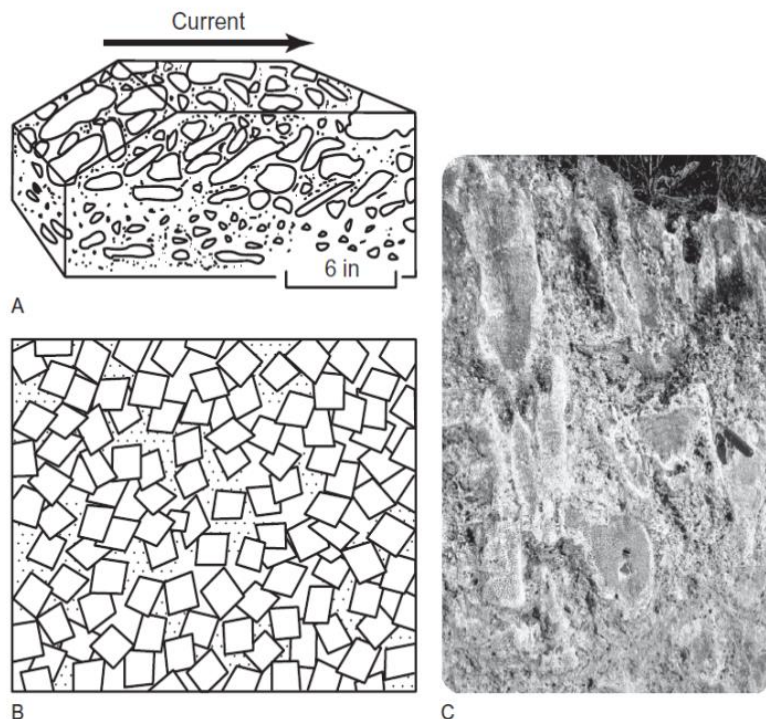
Οι διαδικασίες της απόθεσης, διαγένεσης καθώς και των βιογενετικών διεργασιών, δημιουργούν και καθορίζουν την εσωτερική διάταξη και δομή των ανθρακικών πετρωμάτων. Τεκτονικές διαδικασίες όπως η διάρρηξη και η κατάκλαση δεν συμμετέχουν στην απόθεση και λιθοποίηση των πετρωμάτων, παρόλα αυτά, μετέπειτα, μπορούν να συμβάλουν στον προσανατολισμό της διαπερατότητας του ταμιευτήρα.

Η δομή της απόθεσης (depositional fabric) ενός ιζηματογενούς πετρώματος είναι ο χωρικός προσανατολισμός και η ταξινόμηση των κόκκων σε ένα πέτρωμα λόγω της ετερογένειας των κόκκων που απαρτίζουν μια ιζηματογενή απόθεση. Ο προσανατολισμός των κόκκων μπορεί να οφείλεται σε παλαιορεύματα όπου οι κροκάλες κατά τη μετακίνησή τους σε ροές ρευμάτων θρυμματίζονται ενώ οι επιμήκεις κόκκοι που αποτελούν προϊόν αυτής της διαδικασίας προσδιορίζουν την κατεύθυνση των παλαιορευμάτων. Αυτό το είδος των δομών επηρεάζουν τις ιδιότητες του ταμιευτήρα, όπως για παράδειγμα το πορώδες, ενώ προσδίδουν και την 'κατεύθυνση' [οριζόντια ή κάθετη] στη διαπερατότητα του πετρώματος-ταμιευτήρα. Σκελετικά θραύσματα οργανισμών, όπως αγκάθια εχινόδερμων, μίσχοι κρινοειδών, σπικουλίτες (spicules) καθώς και θραύσματα από κελύφη δίθυρων, εμφανίζονται συχνά σε ανθρακικούς ταμιευτήρες. Η παρουσία ή η απουσία δομής απόθεσης μπορεί να προσδιοριστεί εύκολα με δειγματοληψία πυρήνων γεώτρησης.

Οι δομές διαγένεσης (diagenetic fabrics) αποτελούν δείγμα της κρυσταλλοποίησης που συμβαίνει κατά τη λιθοποίηση και την ανακρυστάλλωση, ή την αντικατάσταση στις ανθρακικές ιζηματογενείς δομές που σχηματίζονται κατά τη διαδικασία της διάλυσης. Αυτές οι δομές διάλυσης περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα με χαρακτηριστικούς σχηματισμούς όπως: εκμαγεία, έγκοιλα, φρεάτια, σπήλαια, ή καρστικές μορφολογίες. Τα χαρακτηριστικά των εκμαγείων και των έγκοιλων εμφανίζονται όταν η διάλυση συμβαίνει σε τοπική κλίμακα ενώ τα σπήλαια, ή το κάρστ, εμφανίζονται σε ευρύτερη κλίμακα καθώς σχετίζονται με την παλαιό-τοπογραφία και παλαιούς υδροφόρους ορίζοντες.

Οι **βιογενείς δομές** περιγράφονται σε σχέση με τις ανθρακικές συσσωρεύσεις και τα υφαλώδη πετρώματα και τις μικροδομές των σκελετικών συστατικών οργανισμών. Οι Embry και Klovan (1971) περιέγραψαν τα 3 μέλη των βιογενών δομών που περιλαμβάνουν (1) σκελετικά μέρη στα οποία τυχόν κενά συμπληρώθηκαν με κλαστικό υλικό, (2) οργανικά στοιχεία όπως κλαδιά και φύλλα δέντρων τα οποία λειτούργησαν ως διαφράγματα και στη

συνεχία θάφτηκαν κάτω από ιζήματα και (3) δομές που δημιουργούνται από παγιδευμένους οργανισμούς, με τα υλικά που συμβάλουν σε αυτήν τη δομή να αποτελούνται από πορώδεις μικροδομές. Οι πόροι των σπόγγων, τα Κοράλια, βρυόζωα ή ακόμα και σκελετικά στοιχεία ρουδιστών είναι κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα. Αυτές οι 3 κατηγορίες δομών είναι στενά συνδεδεμένες με τις ιδιότητες των ταμιευτήρων επειδή οι δομές επηρεάζουν τη γεωμετρία των πόρων και μπορεί να επηρεάσουν και την κατεύθυνση της διαπερατότητας.

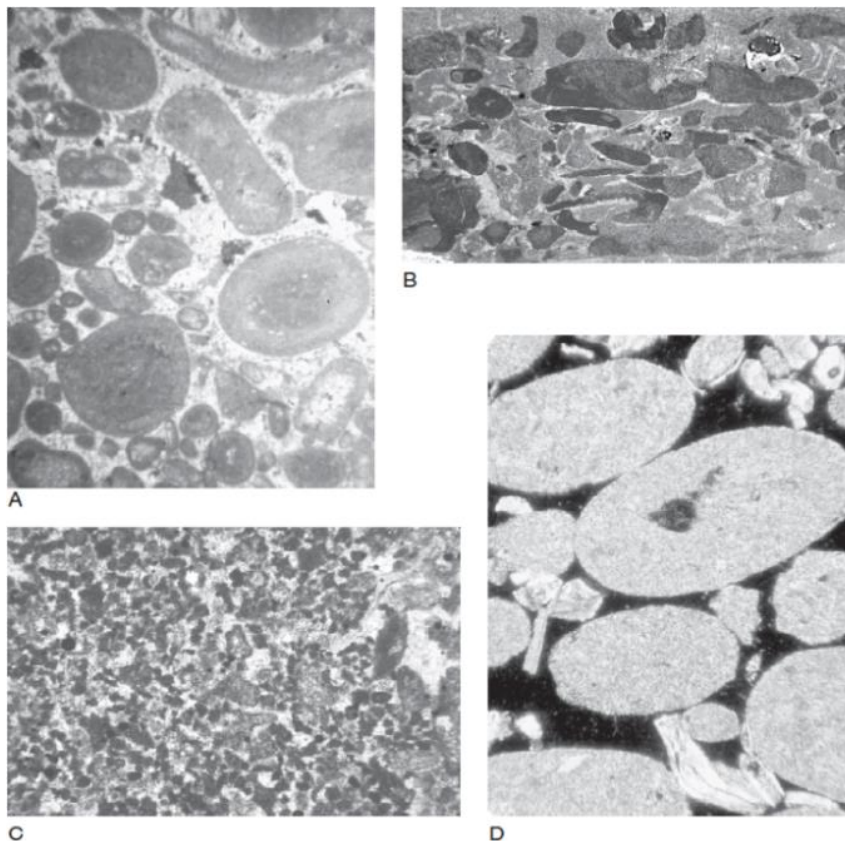


Εικόνα 3 Ιζηματογενείς δομές πετρωμάτων .Δομή απόθεσης κλαστικών στρωμάτων (A), Δομές διαγένεσης δολωμιτώσης ασβεστίτη(B), Βιογενείς δομές από σκελετικά συστατικά(C)

2.1.3 Σύνθεση (composition)

Η σύνθεση των ανθρακικών πετρωμάτων αναφέρεται κυρίως στα συστατικά των κόκκων παρά στο ορυκτολογικό περιεχόμενο. Επειδή το ορυκτολογικό περιεχόμενο των πολύμεικτων ανθρακικών πετρωμάτων δεν είναι ικανό ενδεικτικό για το περιβάλλον απόθεσης. Τα συστατικά των κόκκων ανθρακικής φύσης ταξινομούνται σε σκελετικά και μη-σκελετικά. Τα σκελετικά συστατικά περιλαμβάνουν ολόκληρα ή κατακερματισμένα υπολείμματα από ασβεστοποιημένα μέλη οργανισμών από: φυτά, μαλάκια, κοράλλια, εχινόδερμα, βραγχιονόποδα, αρθρόποδα. Στους πρισόλιθους επικρατούν ωσειδή, πελοειδή και πισοειδή σωματίδια. Τα ωσειδή και πισοειδή είναι σφαιροειδείς κόκκοι από ασβεστίτη ή αραγωνίτη οι οποίοι σχηματίζονται γύρω από ένα πυρήνα και συνήθως δημιουργούνται σε θάλασσες σε βάθος μικρότερο από 2m (Tucker and Wright, 1990). Οι κλάστες χωρίζονται σε 2 κύριες κατηγορίες: τους ενδοκλάστες και τους λιθοκλάστες. Οι ενδοκλάστες, είναι θραύσματα

ημιλιθοποιημένων ανθρακικών ιζημάτων που υφίστανται αναδιοργάνωση μέσα στην ίδια περιοχή απόθεσης των ιζημάτων. Ενδοκλάστες σχηματίζονται επίσης στις κατωφύριες όπου λαμβάνει χώρα ιζηματογένεση, ενώ οι λιθοκλάστες είναι διαφορετικές λιθολογικές φάσεις, που δεν συναντώνται στην περιοχή απόθεσης των ιζημάτων, όπως για παράδειγμα θραύσματα ρουδιστοφόρων ασβεστόλιθων στο Τριτογενές. Τα πελοειδή έχουν μέγεθος άμμου (100-500μm) και αποτελούνται από μικριτικό ανθρακικό υλικό με στρογγυλά ή υποστρογγυλά, ελλειψοειδή ή ακανόνιστα σχήματα και χωρίς κάποια συγκεκριμένη εσωτερική δομή. Αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό συστατικό ρηχών ανθρακικών ιζημάτων και χαρακτηρίζουν περιβάλλον χαμηλής ενέργειας, σε περιορισμένα θαλάσσια περιβάλλοντα. Το κύριο ποσοστό των πελοειδών πιστεύεται ότι συνδέεται με την παρουσία φυκιών ή κυανοβακτηρίων. Συχνά, η προέλευση των πελοειδών είναι καθαρώς χημική. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι κοπρόλιθοι που είναι περιττώματα ζωικών οργανισμών και περιέχουν υψηλό ποσοστό οργανικής ύλης.



Εικόνα 4.Μικροφωτογραφική απεικόνιση από :(Α) Ασβεστόλιθο με ωοειδή, πισοειδή, ενδοκλάστες.(Β)μη-σκλητικές συσσωρεύσεις ενδοκλάστη Κάμβριου.(C) Ασβεστόλιθο με ενδοκλάστες και πισοειδή.(D)ωοειδή κόκκοι ασβεστόλιθου

2.2 Ταξινόμηση ανθρακικών πετρωμάτων

Γενικά, υπάρχουν πολλά συστήματα ταξινόμησης των ανθρακικών πετρωμάτων, όπως οι ταξινομήσεις Folk και Dunham (1962), ή η ταξινόμηση ανθρακικών πετρωμάτων υφάλων κατά Embry και Klovan (1971). Ένα μοντέλο που περιλαμβάνει την απόθεση, διαγένεση και τις βιολογικές διαδικασίες των ανθρακικών πετρωμάτων προτάθηκε από τον Wright (1992). Βασικό σκοπό των ταξινομικών συστημάτων αποτελούν τα εξής: (1) να περιγράψουν τις θεμελιώδεις ιδιότητες των πετρωμάτων, (2) να κάνουν άμεση και εύκολα πρόσβασιμη την πληροφορία.

Σύμφωνα με τον Folk (1959), τα ανθρακικά πετρώματα αποτελούνται από 3 συστατικά:

1. αλλόχθονα υλικά με τεμάχια όπως ωλίθους, σφαιρίδια, ενδοκλάστες, βιοκλάστες,
2. μικροκρυσταλική ύλη/μικρίτη,
3. κρυσταλλικό ασβεστίτη που δρά ως συγκολλητικό υλικό και πληροί τα κενά μεταξύ των κόκκων ενός ανθρακικού πετρώματος.

Percent allochems	Over 2/3 lime mud matrix				Subequal spar and lime mud	Over 2/3 spar cement		
	0 - 1%	1 - 10%	10 - 50%	Over 50%		Sorting poor	Sorting good	Rounded and abraded
Representative rock terms	Micrite and dismicrite	Fossiliferous micrite	Sparse biomicrite	Packed biomicrite	Poorly washed biosparite	Unsorted biosparite	Sorted biosparite	Rounded biosparite

Εικόνα 5 .Ταξινομική απεικόνιση ανθρακικών πετρωμάτων κατά L.R Folk(1962)

- ενδοσπαρίτες/ενδομικρίτες: >25% ενδοκλάστες αποτελούμενο από σπαριτικό συγκολλητικό υλικό και μικριτική μάζα (ενδομικρίτες),
- ωοσπαρίτες /ωομικρίτες: <25% ενδοκλάστες, >25% ωλίθους που αποτελείται από σπαριτικό συγκολλητικό υλικό και μικριτική μάζα,
- Βιοσπαρίτες/βιομικρίτες: <25% ενδοκλάστες, <25% ωλίθους, αναλογία βιοκλάστες/σφαιρίδια > 3/1 και αποτελείται από σπαριτικό συγκολλητικό υλικό και μικριτική μάζα,
- Σφαιριδιοσπαρίτες/σφαιριδιομικρίτες: όμοιοι με Βιοσπαρίτες/βιομικρίτες με μόνη διαφορά την αναλογία βιοκλάστες/σφαιρίδια όπου σε αυτή την περίπτωση είναι <3/1.

Η ταξινόμηση του Dunham στηρίζεται στον προσδιορισμό του ιστού κάνοντας μια σημαντική διάκριση μεταξύ εκείνων των ανθρακικών πετρωμάτων όπου τα τεμάχια ή οι κόκκοι τους εφάπτονται, έτσι ώστε να στηρίζουν το πέτρωμα και εκείνων όπου οι κόκκοι ή

τα τεμάχια πλέουν μέσα σε ένα ανθρακικό υλικό πλήρωσης. Οι βασικές υποδιαίρεσεις κατά Dunham είναι:

- Πηλόλιθοι (mudstones),
- Βακόλιθοι (wackestones),
- Σωρόλιθοι (packstones),
- Κοκκολιθοι (grainstones),
- Στερεόλιθοι (boundstones),
- Ανθρακικά κρυσταλλικά πετρώματα.

Depositional Texture Recognizable					Depositional Texture Not Recognizable (Subdivide according to classifications designed to bear on physical texture or diagenesis.)
Original Components Not Bound Together During Deposition			Original components were bound together during deposition, as shown by intergrown skeletal matter, lamination contrary to gravity, or sediment-floored cavities that are roofed over by organic or questionably organic matter and are too large to be interstices.		
Contains mud (particles of clay and fine silt size, less than 20 microns)		Grain-supported			
Mud-supported		Grain-supported			
Less than 10 percent grains	More than 10 percent grains	More than * 10 percent mud	Less than * 10 percent mud		
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline Carbonate

Εικόνα 6. Ταξινομική απεικόνιση ανθρακικών πετρωμάτων κατά R. J. Dunham (1962)





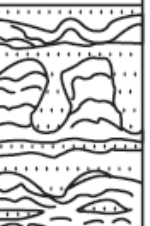
Οι ταξινομήσεις **Folk** και **Dunham** λειτουργούν πολύ καλά σε ανθρακικά κλαστικά πετρώματα, παρόλα αυτά γενικεύονται και οι δύο ταξινομήσεις όταν έχουμε να περιγράψουμε κάποιο ανθρακικό πέτρωμα υφάλου. Ο **Folk** χρησιμοποιεί τον όρο βιολιθίτης και ο **Dunham** τον όρο οργανογενής ασβεστόλιθος για να περιγράψουν όλα τα πετρώματα υφάλων [Υφαλογενής ασβεστόλιθος] θεωρώντας ότι το πέτρωμα είναι ομογενές. Γνωρίζουμε όμως ότι ιδιότητες όπως το πορώδες και η διαπερατότητα ποικίλουν ανάλογα με το είδος των οργανισμών που υπάρχουν σε κάθε τύπο υφάλου, το ποσοστό των σκελετικών θραυσμάτων – κλαστικών κόκκων και των δομών που δημιουργούν οι μικροοργανισμοί που διαβιώνουν σε έναν ύφαλο. Γι' αυτό ταξινομήσεις όπως των **Embry και Klovan (1971)** μπορούν να περιγράψουν σε βάθος τα πετρώματα υφάλων.

2.2.1 Ταξινόμηση ανθρακικών πετρωμάτων υφάλων (reef rocks).

Η ταξινόμηση των **Embry και Klovan (1971)** αποτελεί προσαρμογή της ταξινόμησης του Dunham για τους υφαλογενής ταμιευτήρες, αναπτύσσοντας ένα λεπτομερέστερο μοντέλο το οποίο λαμβάνει υπ' όψη τις διαφορετικές μορφές ανάπτυξης οργανικής φύσεως στα συναφή ανθρακικά κλαστικά πετρώματα που περιλαμβάνονται σε έναν ύφαλο. Οι υποδιαιρέσεις είναι οι εξής :

- **Framestones:** πετρώματα που κατασκευάστηκαν από οργανισμούς με σκληρά σκελετικά στοιχεία και έχουν διάταξη με μορφή δοκών,
- **Bindstones:** πετρώματα τα οποία δημιουργήθηκαν από εγκλωβισμένους οργανισμούς,
- **Bafflestones:** συσσωρεύσεις οργανισμών που δημιουργούν μορφές διαφραγμάτων,
- **Rubstones:** το αντίστοιχο χαλίκι που παράγεται από τους κόκκους των υφάλων,
- **Floatstones:** το ισοδύναμο της ιλύος-άμμου που παράγεται από τους κόκκους των πετρωμάτων ενός υφάλου.

Σύμφωνα με τους παραπάνω ορισμούς συμπεραίνουμε ότι οι οροι: Framestones, Bindstones, Bafflestones αναφέρονται για πετρώματα που δημιουργήθηκαν από οργανική δραστηριότητα ενώ οι όροι: Rubstones, Floatstones είναι πετρώματα που συνδέονται με τα ανθρακικά κλαστικά του υφάλου.

Allochthonous		Autochthonous		
Original components not organically bound during deposition		Original components organically bound during deposition		
> 10% grains > 2 mm				
Matrix supported	Supported by >2 mm component	By organisms that act as baffles	By organisms that encrust and bind	By organisms that build a rigid framework
Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone
				

Εικόνα 7. Σκελετική ταξινόμηση υφάλων κατά Embry και Klovan(1971).



2.3 Πορώδες και Διαπερατότητα

Η μελέτη των πετροφυσικών ιδιοτήτων ενός πετρώματος γίνεται με διερεύνηση του πορώδους, της διαπερατότητας και της φαινόμενης πυκνότητας. Αυτές είναι οι σημαντικότερες μεταβλητές για την έρευνα ενός πετρώματος-ταμιευτήρα και είναι άμεσα συνδεδεμένες με την ορυκτολογική σύσταση, την υφή και τη δομή ενός πετρώματος όπως αναλύθηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Συγκεκριμένα, το πορώδες και η διαπερατότητα είναι ιδιότητες με τις οποίες μπορούμε να εξετάσουμε την ποιότητα των ταμιευτήρων υδρογονανθράκων. Οι ιδιότητες των πετρωμάτων όπως ο ιστός και η δομή βασίζονται κυρίως στο περιβάλλον απόθεσης, ενώ οι πετροφυσικές ιδιότητες μπορεί να μη βασίζονται απαραίτητα στον τρόπο απόθεσης των ιζημάτων αλλά σε φυσικές ιδιότητες.

2.3.1 Πορώδες

Το πορώδες (ϕ) είναι το πηλίκο του συνολικού όγκου των πόρων προς τον συνολικό όγκο του πετρώματος και εκφράζεται σαν ποσοστιαία μονάδα με το γράμμα ϕ .

$$\phi = (V_p/V_t)$$

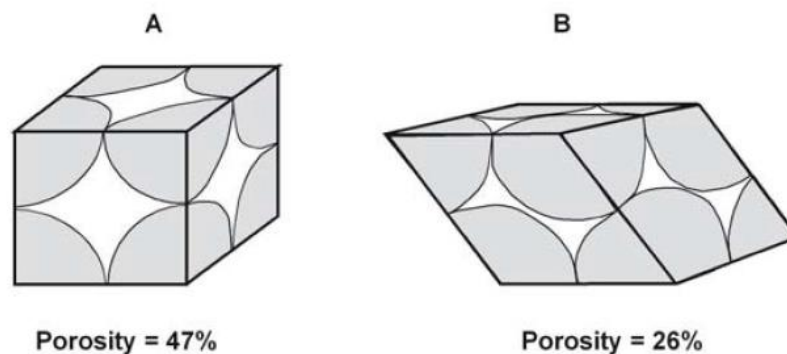
where V_p is the volume of void-space (such as fluids) and V_t is the total or bulk volume of material.

Όπως αναφέρει ο **Jerry Lucia**, το πορώδες είναι μια ιδιότητα με την οποία μπορούμε να υπολογίσουμε την πιθανή χωρητικότητα σε υδρογονάνθρακες ενός πετρώματος-ταμιευτήρα. Με τον όρο ενεργό πορώδες (ϕ_e) εκφράζουμε το ποσοστό των πόρων του πετρώματος που επικοινωνούν μεταξύ τους και επιτρέπουν τη ροή ρευστών. Παρόλα αυτά σε ένα πέτρωμα οι πόροι μπορεί να μην επικοινωνούν απαραίτητα μεταξύ τους, και το ποσοστό αυτών των πόρων αποτελεί το μη-ενεργό πορώδες (ϕ_r). Εύκολα συμπεραίνουμε ότι το συνολικό πορώδες (ϕ_t) ενός πετρώματος θα είναι το άθροισμα του ενεργού πορώδους και του μη-ενεργού πορώδους ($\phi_t = \phi_e + \phi_r$). Το πορώδες διακρίνεται με βάση την προέλευση του σε **πρωτογενές** όταν αυτό σχηματίζεται παράλληλα με τον σχηματισμό του πετρώματος και σε **δευτερογενές** που σχηματίζεται μετά την απόθεση και οφείλεται σε τεκτονικές και φυσικοχημικές διεργασίες με δημιουργία κενών/πόρων/διακένων. Το πρωτογενές πορώδες περιλαμβάνει κενά μεταξύ των κόκκων του πετρώματος (διακοκκικό) και κενά μεταξύ της δομής των κόκκων (ενδοσωματιδιακό) Δευτερογενές πορώδες έχει η πλειονότητα των ανθρακικών σχηματισμών λόγω της συχνά εμφανιζόμενης διαδικασίας της καρστικοποίησης.

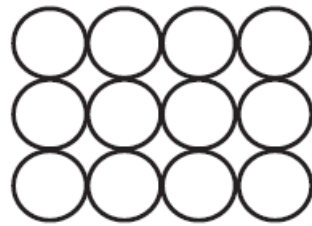
Σε ένα πέτρωμα-ταμιευτήρα, το πορώδες εξαρτάται από ποικίλες ιδιότητες όπως ο ιστός (texture), η δομή (fabric) και η γεωμετρία των διαρρήξεων. Στα κλαστικά πετρώματα οι κυρίες μεταβλητές από τις οποίες εξαρτάται το πορώδες είναι: το σχήμα, η ταξινόμηση των κόκκων και η εσωτερική διάταξη τους. Στα βιογενή πετρώματα μεταβλητές όπως οι δομές ωρίμανσης ή οι σκελετικές μικροδομές επηρεάζουν το ενδοσωματικό πορώδες του πετρώματος. Το πορώδες σε πετρώματα που έχουν ρωγμές (fractures), που προκληθήκαν είτε από τεκτονικές διαδικασίες είτε από διαγενετικές διαδικασίες, καθορίζεται από το πλάτος των ρωγμών (fractured spacing). Η διαδικασία της διαγένεσης στα ανθρακικά πετρώματα μπορεί να κλείσει τους πόρους με λεπτόκοκκο υλικό, μέσω συμπίεσης, καθώς επίσης μπορεί να ανοίξει νέους μέσω διάλυσης και αντικατάστασης. Οι περισσότεροι ανθρακικοί ταμιευτήρες κυμαίνονται σε ποσοστό πορώδους μεταξύ 1-35%. Στους δολομιτικούς ταμιευτήρες των Η.Π.Α., η μέση τιμή πορώδους είναι 12% ενώ των ασβεστολιθικών ταμιευτήρων είναι 10% (Schmoker et al. 1985).

Παράγοντες που καθορίζουν το πορώδες ενός πετρώματος είναι:

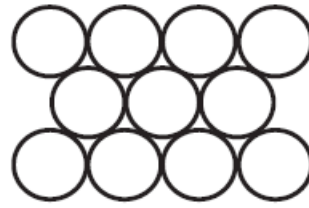
- Κοκκομετρία: παρατηρείται πως φτωχά ταξινομημένα υλικά παρουσιάζουν μικρό πορώδες λόγω της πλήρωσης των κενών από λεπτόκοκκο υλικό ενώ πετρώματα με ομοιόμορφους κόκκους παρουσιάζουν υψηλό πορώδες.
- Διάταξη και σχήμα: παρατηρείται πως σε διατάξεις ίδιας διαμέτρου η κυβική διάταξη παρουσιάζει μεγαλύτερο πορώδες σε σχέση με την ρομβοεδρική.



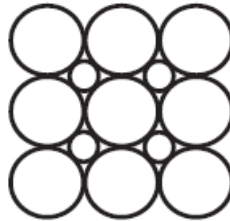
Εικόνα 8.Γραφική απεικόνιση της κυβικής και ρομβοεδρικής διάταξης



Cubic packing
 $\phi = 47.6\%$



Rhombohedral packing
 $\phi = 26\%$



Cubic packing
Two grain sizes $\phi \approx 12.5\%$

Εικόνα 9. Συσχετιση κυβικής και ρομβοεδρικής διάταξης με την ταξινόμηση των κόκκων

2.3.1.1 Ταξινόμηση πορώδους

Παρακάτω θα αναφέρουμε μερικές ταξινομήσεις οι οποίες είναι χρήσιμες στην περιγραφή του πορώδους ενός ταμειυτήρα.

Ταξινόμηση Archie

Μια απ' τις πρώτες, αν όχι η πρώτη, είναι η ταξινόμηση κατά Archie (1952). Η ταξινόμηση αυτή βασίζεται στην περιγραφή της υφής των κόκκων του πετρώματος καθώς και στην μακροσκοπική ανίχνευση και περιγραφή των πόρων, ομαδοποιώντας τα σε 3 τύπους υφής (type-I, type-II, type-III) και 4 κατηγορίες πορώδους (class A-class D).

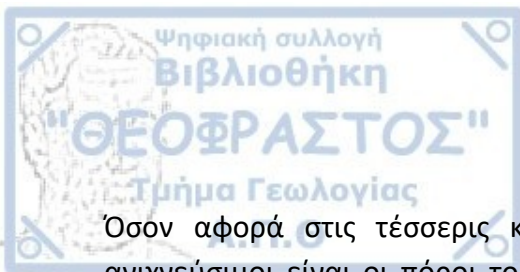
Matrix Texture	Hand Sample Appearance	Microscopic Appearance
Type-I Compact Crystalline	Hard, dense, crystalline, sharp edges and smooth faces	Matrix made up of crystals lightly interlocking allowing no visible pore spaces between crystals, commonly producing "feather edges" on breaking due to fracturing of clusters of crystals in thin flank.
Type-II Chalk	Dull, chalky, crystalline, appearance absent because small crystals are less tightly interlocked, thus reflecting light in different directions, or made up of extremely fine granules	Crystals, less effectively interlocking than the foregoing, joining at different angles. Extremely fine texture may still appear "chalky" under this power, but other may begin to appear crystalline.
Type-III Granular	Sugary appearance (Sucrose). Size of crystals classed as: Very fine = 0.5mm, Fine = 0.1mm, Medium = 0.2mm, Coarse = 0.4mm.	Crystals interlocking at different angles, generally allowing space for considerable porosity between crystals. Oolitic and other textures fall in this class

Εικόνα 10. Ταξινόμηση υφής ανθρακικών πετρωμάτων σε τύπους κατά Archie (1952)

Όπως βλέπουμε στον παραπάνω Πίνακα, ο Archie περιγράφει την υφή του υλικού πλήρωσης του πετρώματος μακροσκοπικά καθώς και μικροσκοπικά. Ο πρώτος τύπος (type I) που τον ονομάζει **crystalline** περιγράφει πετρώματα σκληρά, μεγάλης πυκνότητας, κρυσταλλικά, γωνιώδη με λεία όψη, ενώ μικροσκοπικά το υλικό πλήρωσης καθιστά αδύνατη την εμφάνιση ενδοκρυσταλλικού πορώδους. Ο δεύτερος τύπος (type II) είναι τύπος κρητίδας (chalk) με κόκκους διαμέτρου 50μm και συνίσταται από καλά στρογγυλεμένους κόκκους που μπορεί να έχουν θαλάσσια προέλευση. Ο τρίτος τύπος (type III) έχει **σακχαρώδη** εμφάνιση, ενώ μικροσκοπικά η κατανομή των κόκκων επιτρέπει την εμφάνιση ενδοκρυσταλλικού πορώδους.

Class	Description
Class A	No visible porosity under about 10 ^x resolution microscope or where pore size is less than about 0.01 mm in diameter.
Class B	Visible porosity, greater than 0.01 but less than 0.1 mm.
Class C	Visible porosity, greater than 0.1 mm but less than size of cuttings
Class D	Visible porosity, as evidenced by secondary crystal growth on faces of cuttings or "weathered-appearing" faces showing evidence of fracturing or solution channels; where pore size is greater than size of cutting.

Εικόνα 11. Ταξινόμηση πόρων με βάση το μέγεθος σε κατηγορίες κατά Archie (1952)



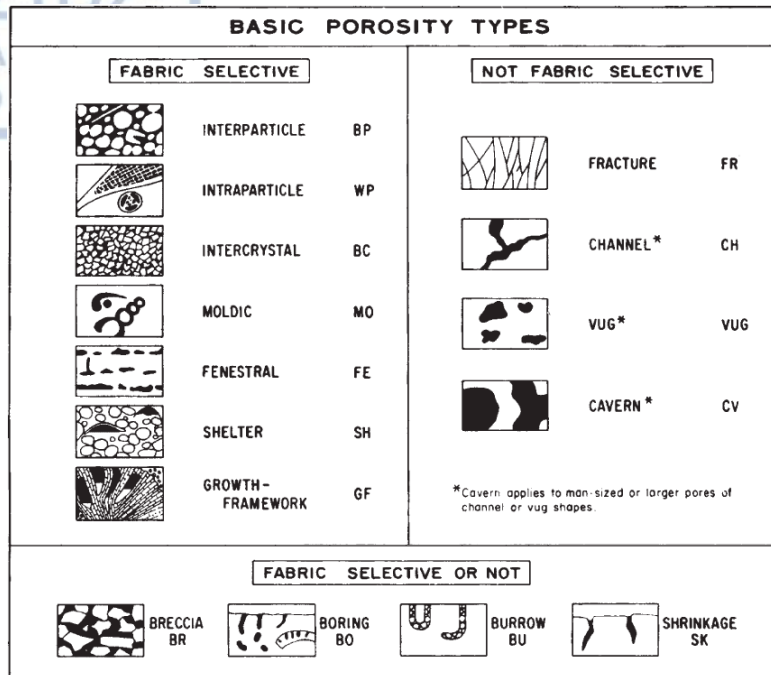
Όσον αφορά στις τέσσερις κατηγορίες πόρων, αυτές χωρίζονται κυρίως με το πόσο ανιχνεύσιμοι είναι οι πόροι του πετρώματος. Συγκεκριμένα, στην κατηγορία A (class A) το πορώδες του πετρώματος είναι αδύνατον να παρατηρηθεί καθώς οι πόροι τέτοιων πετρωμάτων είναι μικρότεροι από 0.01 mm σε διάμετρο. Στην κατηγορία B (class B) ανήκουν πετρώματα με διάμετρο πόρων μεταξύ 0.1mm και 0.01mm. Στην τρίτη κατηγορία (class C) οι πόροι έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από 0.1mm αλλά μικρότερη από 2.0 mm. Τέλος, στην τέταρτη κατηγορία (class D) το πορώδες είναι υπό μορφή εγκοίλων (Vugs) αρκετά εμφανών με γυμνό μάτι.

Ταξινόμηση Choquette –Pray

Η ταξινόμηση Choquette-Pray γίνεται με βάση 15 μορφές πόρων που κατηγοριοποιούνται σε 3 ομάδες.

- Fabric selective,
- No fabric selective,
- Fabric selective or not.

Η προέλευση των Fabric selective πόρων μπορεί να είναι από απόθεση, διαγένεση ή και συνδυασμό των δυο. Παραδείγματα **Fabric selective** πόρων αποτελούν οι ενδοκρυσταλλικοί πόροι των κρυσταλλοποιημένων δολομιτών. Το **Not Fabric selective** περιλαμβάνει ρωγμές και κοιλότητες που δημιουργήθηκαν από διάβρωση του υλικού. Οι **Fabric selective or not** πόροι αφορούν δομές διατηρητικής φύσεως από οργανισμούς και δομές αποξήρανσης.



Εικόνα 12. Πίνακας με την ταξινόμηση των ανθρακικών πετρωμάτων κατά Choquet-Pray (1970)

Οι εφαρμογές αυτής της μεθόδου είναι αρκετά χρήσιμες για την ταξινόμηση του πορώδους των ανθρακικών πετρωμάτων.

Ταξινόμηση Lucia

Η ταξινόμηση Lucia (1983), άμεσα επηρεασμένη από τον Archie, ταξινομεί το πορώδες του πετρώματος σε 2 κατηγορίες:

1. Interparticle ή non-Vuggy
2. Vuggy

Σε αντίθεση από την ταξινόμηση του Archie, η ταξινόμηση Lucia δίνει έμφαση στο πέτρωμα από πλευράς πετροφυσικών ιδιοτήτων.

Με τον όρο Vuggy αναφερόμαστε σε πόρους οι οποίοι είναι μεγαλύτεροι σε μέγεθος από το υλικό πλήρωσης του πετρώματος, οι οποίοι μπορεί να ήταν ενδοκρυσταλλικοί που μεγάλωσαν λόγω διάλυσης. Το αποτέλεσμα είναι μεγεθυμένοι ακανόνιστοι πόροι. Οι interparticle ή non-Vuggy πόροι διακρίνονται σε εμφανείς και μη-εμφανείς. Οι εμφανείς, με βάση το μέγεθος του υλικού, διακρίνονται σε μέτριους (<20μm), καλούς (20-100μm) και μεγάλους (>100μm).

Interparticle (P)				Vuggy (V)	
Particle size				Connection	
				Through interparticle Pores separate (5)	Through other VUG5 touching (T)
				Porosity (%)	
Porosity	No (n)				
	Yes (y)	$P_d > 70 \text{ psia}$	$P_d 70-15 \text{ psia}$	$P_d < 15 \text{ psia}$	
		Fine (F) < 20 μ	Medium (M) 20–100 μ	Large (5) > 100 μ	

Εικόνα 13. Ταξινόμηση ανθρακικών πετρωμάτων κατά Lucia (1983)

2.3.2 Διαπερατότητα

Μια εξίσου σημαντική ιδιότητα για την έρευνα των ταμειυτήρων πετρελαίου-φυσικού αερίου είναι η διαπερατότητα, η οποία εκφράζει τη δυνατότητα ροής ρευστών εντός ενός πορώδους ταμειυτήρα. Ο Lucia αναφέρει πως η διαπερατότητα είναι η ιδιότητα που καθορίζει ποιοί υδρογονάνθρακες είναι απολήψιμοι και εκφράζεται από την εξίσωση Darcy.

$$\text{Darcy's Law: } Q = A \left(\frac{k}{\mu} \right) \left(\frac{\Delta P}{L} \right),$$

Όπου:

- Q: η τιμή της ροής (cm^3/s)
- A: επιφάνεια μέσω της οποίας ρέει το ρευστό (cm^2)
- K: διαπερατότητα (darcies)
- μ : ιξώδες ρευστού (centipoises)
- ΔP : πτώση πίεσης (atm)
- L: Η απόσταση που ρέει το ρευστό (cm)

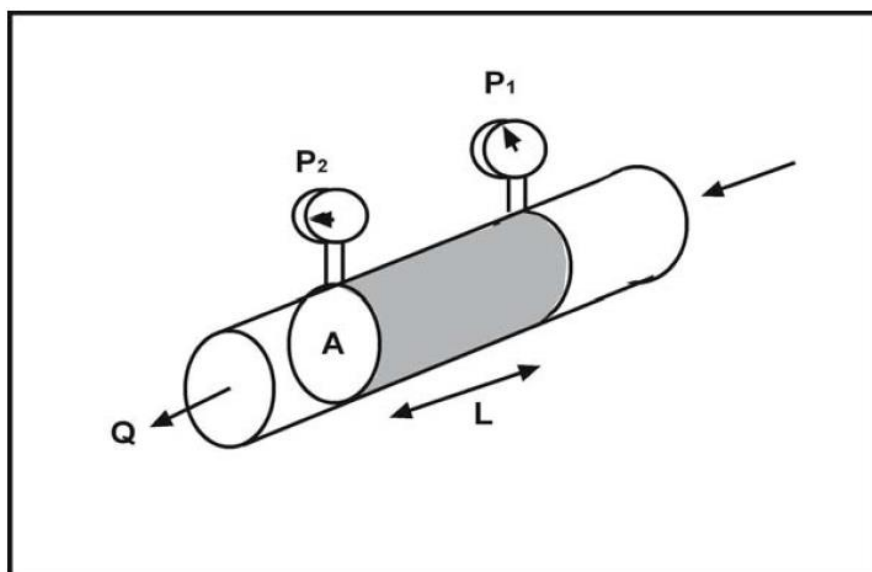
Εναλλακτικά, το ένα Darcy (1 darcy) εκφράζεται ως η ροή ρευστού ιξώδους 1 centipoise μέσα από επιφάνεια 1cm^2 με πτώση πίεσης 1atm/cm . Στη βιομηχανία του πετρελαίου χρησιμοποιούνται συνήθως υπομονάδες για τη διαπερατότητα όπως το milidarcy (md) που ισούται με 0.001 darcy .

Qualitative Description	Permeability (md)
Poor to fair	<1.0–15
Moderate	15–50
Good	50–250
Very good	250–1000
Excellent	>1000

Εικόνα 14. κατηγοριοποίηση διαπερατότητας σε milidarcy. North (1985)

Όπως απεικονίζεται στον παραπάνω Πίνακα, οι ταμιευτήρες με διαπερατότητα μεγαλύτερη από 1000 md είναι εξαιρετικοί αλλά πολύ σπάνιοι, μεταξύ των τιμών 1000-250md είναι πολύ καλοί, 250-50 md καλοί, 50-15md επαρκείς και τέλος τιμές διαπερατότητας μικρότερες από το εύρος 15-1.0 md θεωρούνται χαμηλές.

Η μέτρηση της διαπερατότητας γίνεται σε εργαστηριακές μεθόδους, με δείγμα γνωστού μήκους και διαμέτρου και οριζόντιας θέσης μέσα σε αεροστεγείς συνθήκες. Για τη δοκιμή προστίθεται ρευστό με γνωστό ιξώδες και μετράται η ροή κατά την πτώση της πίεσης με την εξίσωση Darcy.



Εικόνα 15 σχεδιαστική αναπαράσταση μέτρησης διαπερατότητας σύμφωνα με την εξίσωση Darcy. Από το βιβλίο του F.Jerry Lucia Carbonate reservoir characterization , An integrated approach.

Οι ταμειυτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι πολυφασικοί, δηλαδή περιέχουν παραπάνω από ένα ρευστά, και η ροή του κάθε ρευστού επηρεάζει τη ροή των άλλων. Σε τέτοια συστήματα ορίζουμε τις έννοιες "ειδική διαπερατότητα" (specific permeability), "ενεργή διαπερατότητα" (effective permeability), "σχετική διαπερατότητα" (relative permeability). Η ειδική διαπερατότητα είναι η διαπερατότητα ενός από τα ρευστά του πολυφασικού συστήματος μεμονωμένο σε έναν ταμειυτήρα. Η ενεργή διαπερατότητα είναι ένα μέτρο σύγκρισης ενός ρευστού όταν ο ταμειυτήρας είναι κορεσμένος με αυτό το ρευστό. Η σχετική διαπερατότητα είναι ο λόγος της ενεργού διαπερατότητας προς την απόλυτη διαπερατότητα.

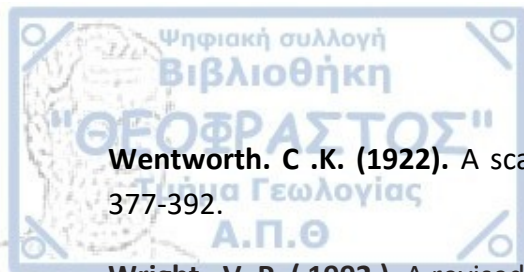
Όπως συμβαίνει και στο πορώδες, η διαπερατότητα εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του ταμειυτήρα (ιστός, σχήμα, διάταξη κόκκων). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η διαπερατότητα 2 ίδιων πετρωμάτων μπορεί να διαφέρει σημαντικά. Ακόμα και σε 2 διαφορετικά σημεία του ίδιου πετρώματος, η διαπερατότητα μπορεί να διαφέρει. Συμπεραίνεται πως η διαφορά αυτή οφείλεται στη διεύθυνση της στρώσης κατά την οποία τη μετράμε. Έτσι, η διαπερατότητα χρησιμοποιείται ως διανυσματικό ποσό σε άξονες (x,y,z). Μετρώντας τη διαπερατότητα ενός πετρώματος μετράμε 3 τιμές κατά 2 διευθύνσεις [οριζόντιες και κάθετη σχηματίζοντας μεταξύ τους ορθές γωνίες].

Η κάθετη τιμή πολλές φορές είναι και η μικρότερη λόγω των στρώσεων του πετρώματος.

Στους ανθρακικούς ταμειυτήρες, λόγω μεγάλης ετερογένειας σε οριζόντια και κάθετη διεύθυνση, η διαπερατότητα του δεν είναι σταθερή, παρουσιάζοντας μέγιστες τιμές στα έγκοιλα και τα κενά.



- Ahr, W. M. (2008).** Geology of carbonate reservoirs: The Identification. *Description, and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks*, DOI, 10, 9780470370650.
- Amyx, J. W., Bass, D. M. Jr., and Whiting, R. L. (1960).** *Petroleum Reservoir Engineering*.
- Archie, G. E (1952).** Classification of carbonate reservoir rocks and petrophysical consideration AAPG Bull 36:278-298.
- Berg, R. R (1970).** Method for determining permeability from reservoir rock properties. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc Trans. 20: 303-317.
- Choquette, P. W. and Pray, L. C. (1970).** Geological nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *AAPG Bull.* 54 : 207 – 250.
- Darcy, H. (1856).** *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*: Dalmont, Paris, 647 pp.
- Dunham, R. J. (1962).** Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: *Classification of carbonate Rocks*, W. E. Ham(Ed.). AAPG Memoir No. 1, Tulsa, OK, pp. 108-121.
- Embry, A. F. and Klovan, J. E. (1971).** A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, NWT. *Bull. Can. Petroleum Geol.* 19: 730-781.
- Folk, R. L (1959).** Practical petrographic classification of limestone. *AAPG. Bull* 43:1-38
- Folk, R. L (1962).** Spectral subdivision of limestone types. In: *Classification of carbonate Rocks*, W. E. Ham(Ed.). AAPG Memoir No. 1, Tulsa. OK, pp 62-84.
- Hurlbut, C. and Klein, C. (1977).** *Manual of Mineralogy*. 21st ed. John Wiley & Sons, New York, 681 pp..
- Lucia, F. J. (1983).** Petrophysical parameters estimated from visual descriptions of carbonate rocks: a field classification of carbonate pore space. *J. Petroleum Technol.* pp. 629 – 637.
- Lucia, F. J. (2007).** *Carbonate reservoir characterization: An integrated approach*. Springer Science & Business Media. 1-26.
- North, F. K. (1985).** *Petroleum Geology*. Allen & Unwin, London, 607 pp.
- Pettijohn, F. J. (1975)** *sedimentary Rocks*, 3rd. Harper & Row. New York 628pp.
- Schmoker, J. W., Krystinik, K. B., & Halley, R. B. (1985).** Selected characteristics of limestone and dolomite reservoirs in the United States. *AAPG bulletin*, 69(5), 733-741.



Wentworth. C .K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.*30: 377-392.

Wright , V. P. (1992). A revised classification of limestones . *Sediment. Geol.* 76 : 177-185 .

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αν, Ψ., & Ψιλοβίκος, Α. (2010). Ιζηματολογία. *Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 358.* 34-60 σελ.

Ανδρέας Ν. Γεωργακόπουλος. (2020). ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ. Διδακτικές Σημειώσεις, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας–Κοιτασματολογίας. 91-103 σελ.

Τσιραμπίδης Α. (2008). Ιζηματογενή πετρώματα. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, 317. 44-47, 153-158 σελ.