

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ

Διδάκτορας Νικολίνα Μπουρλή
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Γεωλογίας



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS



ΠΑΤΡΑ, 2022

ΜΗΤΡΙΚΟ ΠΕΤΡΩΜΑ (SOURCE ROCK)

Το πέτρωμα που γεννά το πετρέλαιο. Κυρίως πρόκειται για λεπτόκοκκα ιζήματα τα οποία δημιουργούνται στο φυσικό τους περιβάλλον από αποσάθρωση (π.χ. ψαμμιτικοί σχηματισμοί σε περιβάλλοντα όπως θάλασσες, ποταμοί κ.λπ.).

ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (RESERVOIR)

- Δυο είναι οι βασικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν ένα πέτρωμα ως **ταμιευτήρα**:
α) πορώδες και β) διαπερατότητα.
- Σημαντικοί παράγοντες:
 - Γεωμετρία πόρων
 - Διαγενέτικες μεταβολές μετά την απόθεση
 - Ταξιθέτηση
 - Μέγεθος κόκκων
 - Διαβάθμιση
- Το πορώδες καθορίζει τα δυνάμει ή πραγματικά αποθέματα ενός ταμιευτήρα. Η διαπερατότητα καθορίζει το ρυθμό της κίνησης των πετρελαϊκών ρευστών.

ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (RESERVOIR)

ΠΟΡΩΔΕΣ

Το πορώδες εκφράζει τον κενό χώρο εντός ενός πετρώματος. Εκφράζεται σε ποσοστό ή λόγο. Μπορεί να φτάσει και 70% σε κάποιες περιπτώσεις ανθρακικών ταμιευτήρων.

Field	Age/Formation	Reservoir	Net to gross (%)	Porosity (%)	Permeability (mD)	Fluid	Petroleum saturation (%)	Expected recovery factor (%)
Alwyn North	Jurassic/Brent	Sandstone	87	17	500–800	Oil	79	45–56
Alwyn North	Jurassic/Statfjord	Sandstone	65	14	330	Oil	80	35
Auk	Permian/Zechstein	Fractured dolomite	100	13	53	Oil	60	Field av. 19
Auk	Permian/Rotliegend	Sandstone	85	19	5	Oil	40	Field av. 19
Brae South	Jurassic/Brae	Sandstone	75	12	130	Oil	80	33
Britannia	Cretaceous/Britannia	Sandstone	30	15	60	Condensate	68	60
Buchan	Devonian/Old Red	Fractured sandstone	82	9	38	Oil	10–68	15–18
Cleeton	Permian/Rotliegend	Sandstone	95	18	95	Gas	83	75
Cyrus	Paleocene/Andrew	Sandstone	90	20	200	Oil	65	16

Τύποι πορώδους:

- Μεταξύ των κόκκων (intergranular)
- Εσωτερικά των κόκκων (intragranular) που είναι συνήθως δευτερογενές
- Μικροπορώδες (αργιλικό ή μικροκρυσταλλικό υλικό)

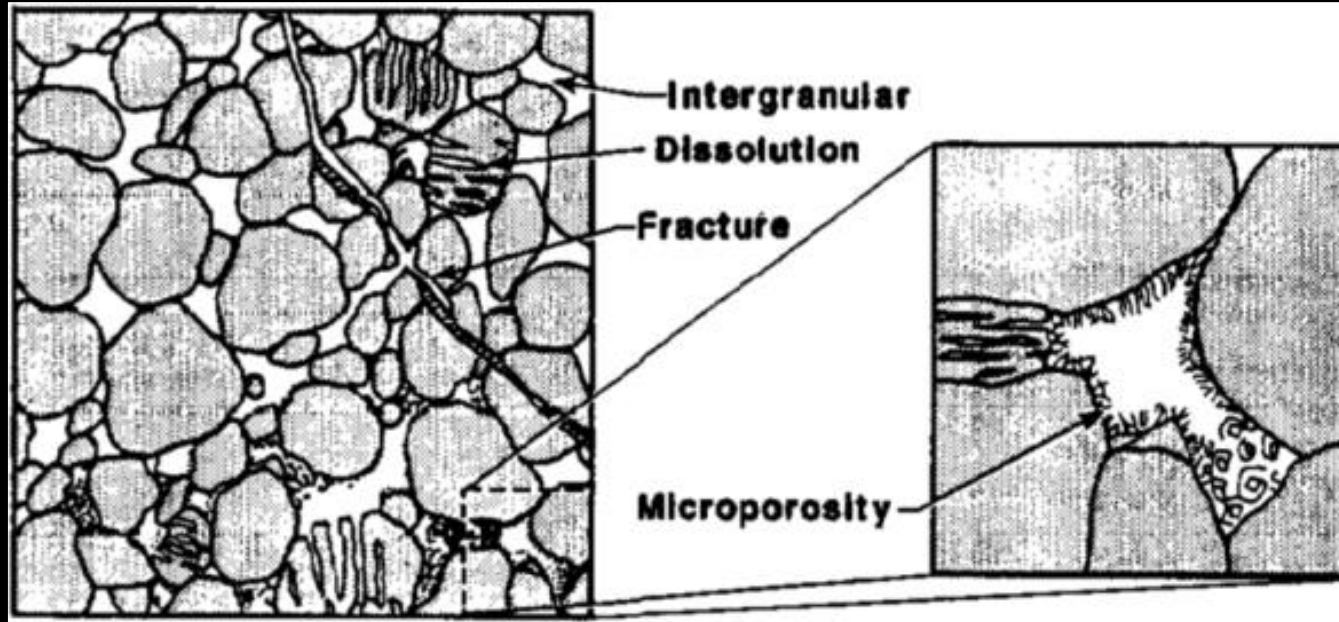
Στα ανθρακικά πετρώματα απαντούν πολλοί τύποι πορώδους: vuggy (πόροι μεγαλύτεροι των κόκκων), chalky, σπηλαιώδες κ.α.

Το **ενεργό** πορώδες που αφορά τις μελέτες των αποταμιευτήρων αφορά τον όγκο των συνδεδεμένων πόρων προς τον συνολικό όγκο.

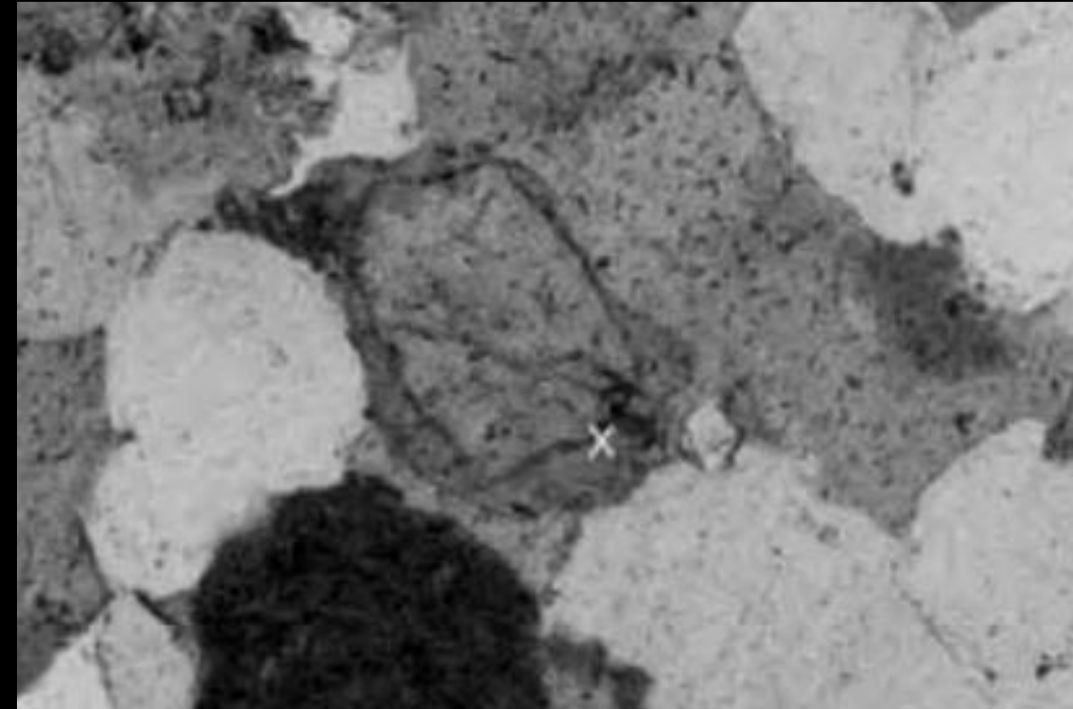
Εικόνα 1. (Gluyas and Swarbrick, 2004).

ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (RESERVOIR)

ΠΟΡΩΔΕΣ



Εικόνα 2. (Pitman, 1979).



Εικόνα 3. (Gluyas and Swarbrick, 2004).

ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (RESERVOIR)

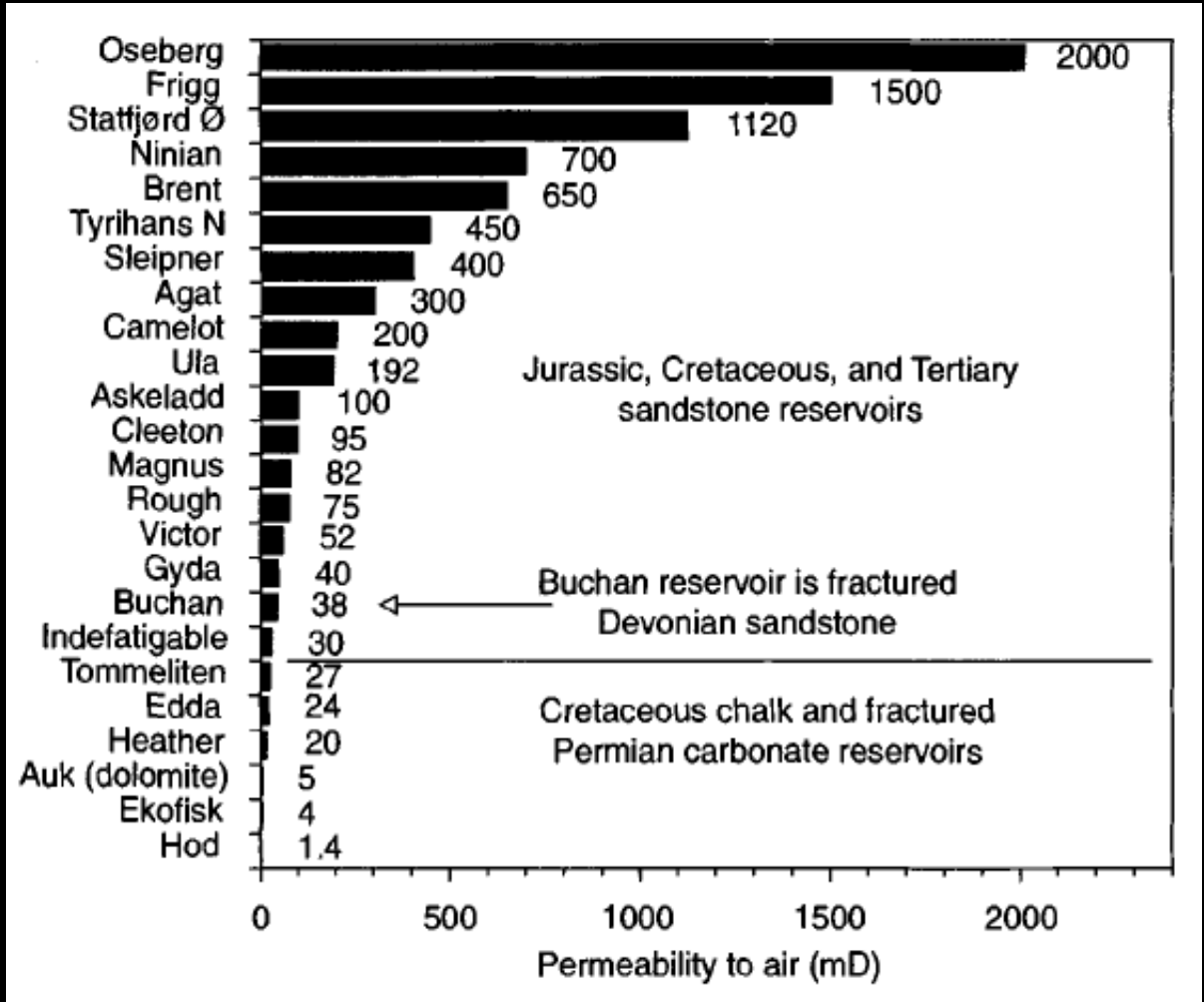
ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

Η διαπερατότητα εκφράζει το πόσο εύκολα μπορεί ένα ρευστό να κινηθεί μέσα σε ένα υλικό.

Η διαπερατότητα ή υδραυλική αγωγιμότητα υπολογίζεται από την εξίσωση του Darcy.

$$Q=kA(dP/dl)$$

Όπου Q είναι ο όγκος του μεταδιδόμενου ρευστού ανά μονάδα χρόνου, A η εγκάρσια παροχή, (dP/dl) η υδραυλική βαθμίδα και K ο δείκτης διαπερατότητας του πετρώματος.



Εικόνα 4. (Gluyas and Swarbrick, 2004).

ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (RESERVOIR)

ΙΣΤΟΣ

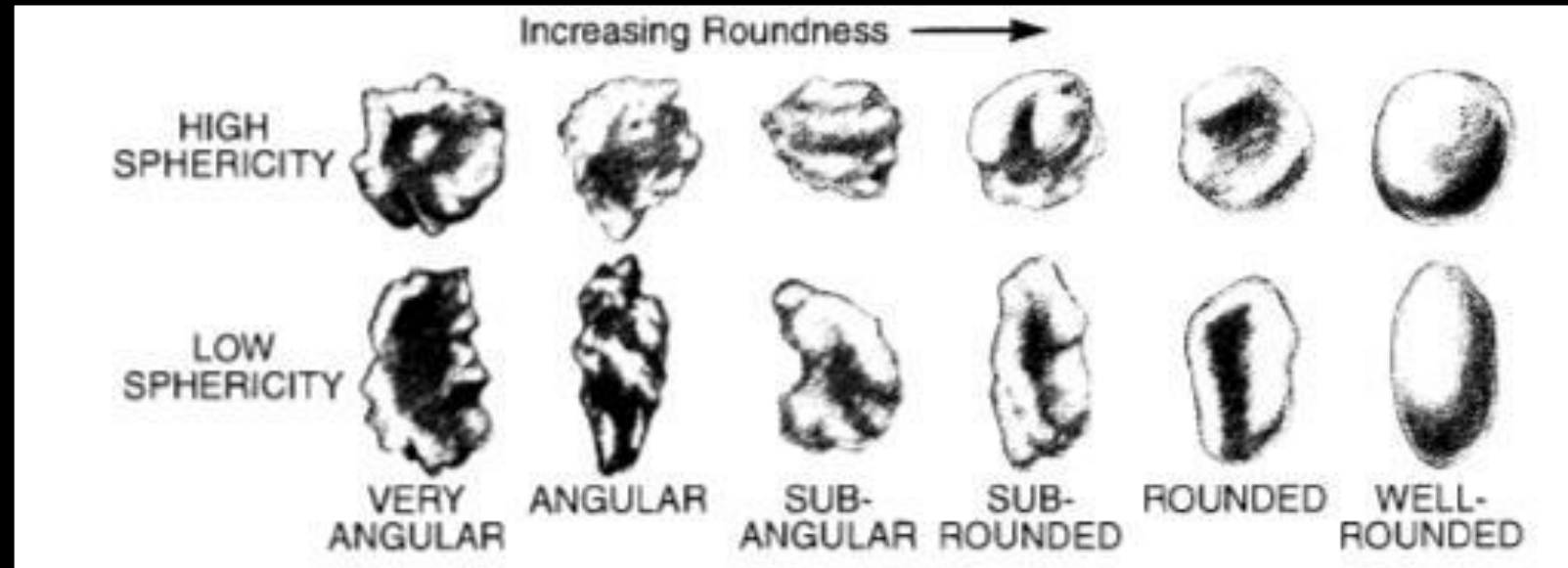
Το πορώδες και η διαπερατότητα εξαρτώνται από τον ιστό του ιζήματος.

Ο ιστός εξαρτάται από τις συνθήκες απόθεσης και τροποποιείται από τις διεργασίες της διαγένεσης.

Η διαγένεση επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τους ανθρακικούς ταμιευτήρες, ενώ δευτερευόντως τους ψαμμίτες.

Η ιζηματολογική έρευνα περιλαμβάνει την μελέτη για το σχήμα και το μέγεθος των κόκκων, την ταξιθέτηση, τον προσανατολισμό κ.α.

Έχειδειχθεί ότι το πορώδες μειώνεται όσο πιο σφαιρικοί είναι οι κόκκοι ενός ιζήματος.



Εικόνα 5. (Selley, 1998).

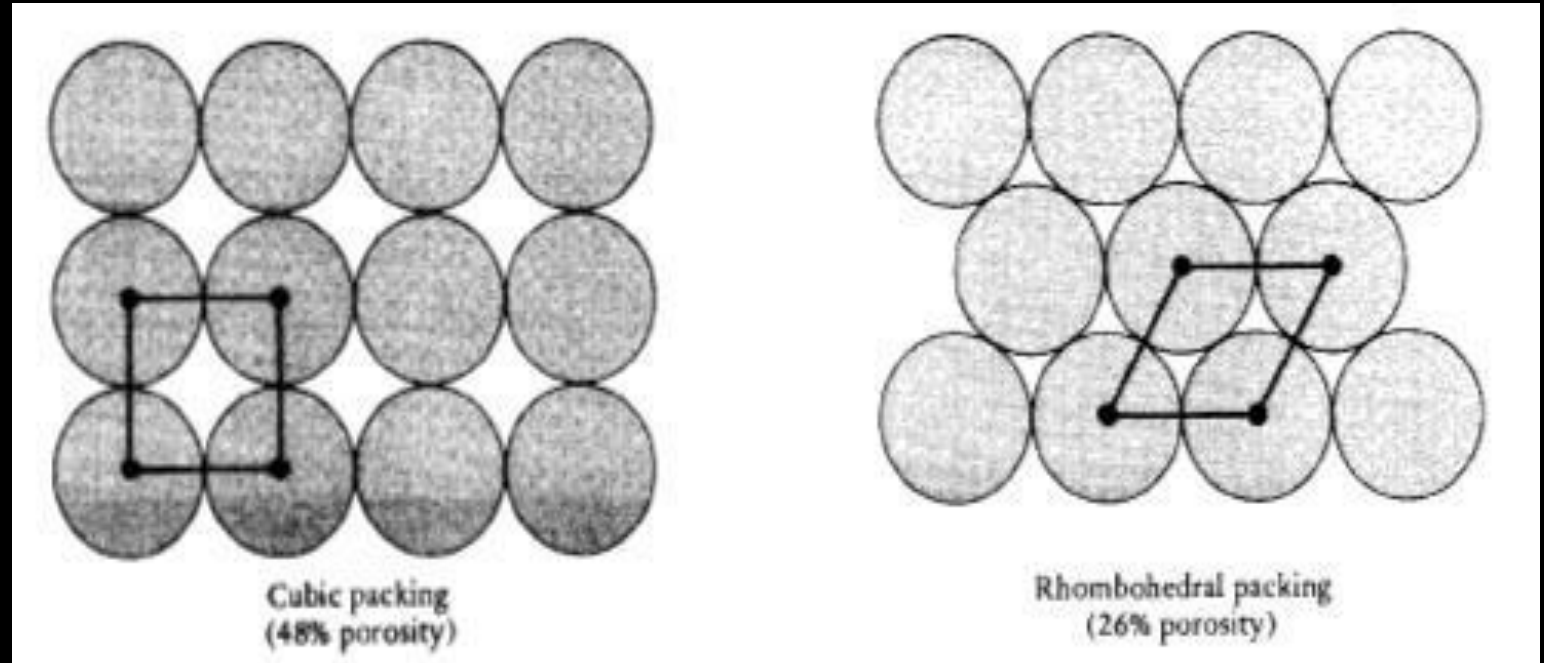
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (RESERVOIR)

ΙΣΤΟΣ

Το πορώδες αυξάνεται με την αύξηση του μεγέθους των κόκκων της άμμου, ενώ η διαπερατότητα μειώνεται με την μείωση του μεγέθους των κόκκων.

Τόσο το πορώδες όσο και η διαπερατότητα αυξάνονται με καλύτερη ταξιθέτηση των κόκκων.

Η συνεκτικότητα είναι σημαντικός ρυθμιστής- υψηλή συνεκτικότητα των κόκκων μειώνει το πορώδες και την διαπερατότητα (εικ.6). Η συνεκτικότητα εξαρτάται από τις συνθήκες απόθεσης.



Εικόνα 6. (Selley, 1998).

ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (RESERVOIR)

ΙΣΤΟΣ

Η οριζόντια διαπερατότητα είναι συνήθως μεγαλύτερη της κάθετης, λόγω της στρώσης.

Η διαπερατότητα εξαρτάται πολύ περισσότερο από τις μεταβολές στο μέγεθος των κόκκων παρά από τον προσανατολισμό τους.

Το πορώδες εξαρτάται τόσο από την γεωθερμική βαθμίδα όσο και από την πίεση.

Οι διαγενετικές μεταβολές του ιστού, μπορεί να είναι η διάλυση, οι ρωγματώσεις, η επανακρυστάλλωση, η τσιμεντοποίηση κ.α.. Περιλαμβάνουν και την πλήρωση των αρχικών κενών με αυθιγενή αργιλικά ορυκτά που παίζουν σπουδαίο ρόλο.

Καολινίτης, ιλλίτης και μοντμοριλλονίτης είναι τα κύρια αργιλικά ορυκτά. Η παρουσία τους μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το πορώδες και την διαπερατότητα.

π.χ. Τα φύλλα του καολινίτη μειώνουν σημαντικά το πορώδες.

Η τσιμεντοποίηση με ιλλίτη περιορίζει πολύ την διαπερατότητα κ.α.

ΤΥΠΟΙ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ

Οι ταμιευτήρες μπορεί να είναι ανθρακικοί ή αμμούχοι.

Οι ανθρακικοί ταμιευτήρες χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιογένεια σε ότι αφορά στο πορώδες και στην διαπερατότητα.

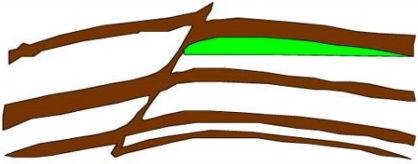
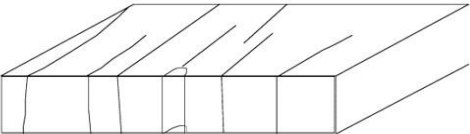
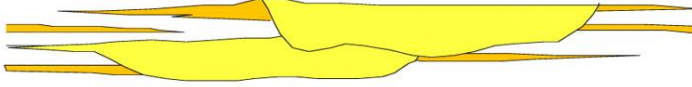
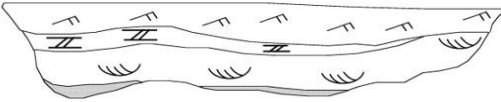

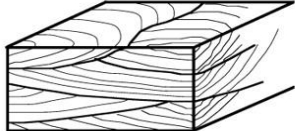

Η δολομιτοποίηση είναι μια σημαντική μετα-αποθετική διαδικασία που επηρεάζει τον τύπο του πορώδους.

Η ετερογένεια εντός ενός ταμιευτήρα εξαρτάται από την αρχιτεκτονική του και την κατανομή των χαρακτηριστικών του στο χώρο και το χρόνο.

Είναι πολύ σημαντική η γεωλογική μελέτη και ταξινόμηση της ετερογένειας, με άμεση εφαρμογή στην οικονομική αξιοποίηση ενός ταμιευτήρα.

Η ετερογένεια μελετάται κυρίως με βάση την κλίμακα- μεταβολές σε κλίμακα χιλιομέτρων (1ης τάξης), μέτρων (2ης τάξης), χιλιοστών (3ης τάξης), μικρών (4ης τάξης). (Weber 1986)

ΤΥΠΟΙ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ

Scale	Reservoir heterogeneity types	
Giga (>300 m)	Sealing to nonsealing faults	 A 3D block diagram showing several brown, tilted fault planes. One fault plane is highlighted in green, representing a sealing fault, while others are brown, representing nonsealing faults.
	Fracturing	 A 3D block diagram showing a rectangular reservoir with several vertical, parallel fractures cutting through it.
Mega (10–100 m)	Genetic unit boundaries	 A 2D cross-section showing two distinct yellow-colored layers representing different genetic units, separated by an irregular boundary.
	Permeability zonation within genetic units	 A 2D cross-section showing a wavy, irregular boundary between two units, with small arrows indicating permeability variations within the units.
Macro (in meters)	Baffles within genetic units	 A 2D cross-section showing a wavy, irregular boundary between two units, with small arrows indicating permeability variations within the units.
	Sedimentary structures	 A 3D block diagram showing a rectangular reservoir with internal sedimentary layering and structures.
Micro (μm)	Microscopic heterogeneity	 A microscopic view showing a complex, interconnected network of dark and light spots, representing pore-scale heterogeneity.

Εικόνα 7. (πηγή:
<http://aapgbull.geoscienceworld.org/content/94/8/1267/F1.large.jpg>).

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΡΟΦΥΛΑΞΗΣ-ΚΑΛΥΜΜΑ (CAP ROCK)

Ο σχηματισμός χαμηλής διαπερατότητας που αποτελεί κάλυμμα για την αναστολή της διαφυγής των υδρογονανθράκων από τους πόρους προς την επιφάνεια. Λειτουργεί δηλαδή σαν μονωτήρας ώστε να μονώσει το πετρέλαιο στη μονάδα αποθήκευσης του. Το ιδανικό πέτρωμα κάλυψης είναι από λεπτόκοκκη λιθολογία, και είναι εύπλαστο και πλευρικά συνεχές (π.χ. φλύσχης, εβαπορίτες, σχιστόλιθοι κ.λπ.).

ΜΟΝΩΤΗΡΕΣ

Η ύπαρξη ενός πετρελαϊκού πεδίου εξαρτάται από την παρουσία ενός αποτελεσματικού μονωτήρα.

Ο μονωτήρας απαγορεύει την ανοδική κίνηση των πετρελαϊκών ρευστών, σαν καπάκι. Οφείλει να έχει τις αντίθετες ιδιότητες από τον ταμιευτήρα.

Κρίσιμα χαρακτηριστικά: Ελάχιστο πορώδες, μεγάλο πάχος, ικανοποιητική πλευρική εξάπλωση

Η πιο κοινή λιθολογία για ένα μονωτήρα είναι ιλυόλιθοι (mudrocks, shales), που αποτελούν το ~60% των ιζηματογενών πετρωμάτων.

Τα ρήγματα μπορούν να αποτελέσουν διαύλους μετανάστευσης αλλά και μονωτήρες.

Σημαντικές διεργασίες που πλήττουν τους ταμιευτήρες είναι καθοριστικές για τους μονωτήρες (αργιλικά ορκυκτά, τσιμεντοποίηση κ.α.)

Σημαντικό χαρακτηριστικό, ιδίως σε περιοχές έντονης τεκτονικής, είναι η **πλαστικότητα**. Οι εβαπορίτες αποτελούν σημαντικούς μονωτήρες παγκοσμίως, όπως και στον Ελληνικό χώρο.

ΠΑΓΙΔΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (TRAPS)

ΔΟΜΙΚΕΣ	<i>ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ</i>	Διαστολής Πίεσης
	<i>Διαπυρρικές</i>	Εβαπορίτες Ιλύς
	<i>Βαρυτικές</i>	Λιστρικά ρήγματα
	<i>Συμπύκνωσης</i>	
ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ		
ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΕΣ	<i>Αποθετικές</i>	Ασυνέχειες Pinchouts
	<i>Διαγενετικές</i>	Διάλυση Πίσσα Κρυστάλλωση υδρίτη Εγκατακρήμνιση ορυκτών

ΠΑΓΙΔΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (TRAPS)

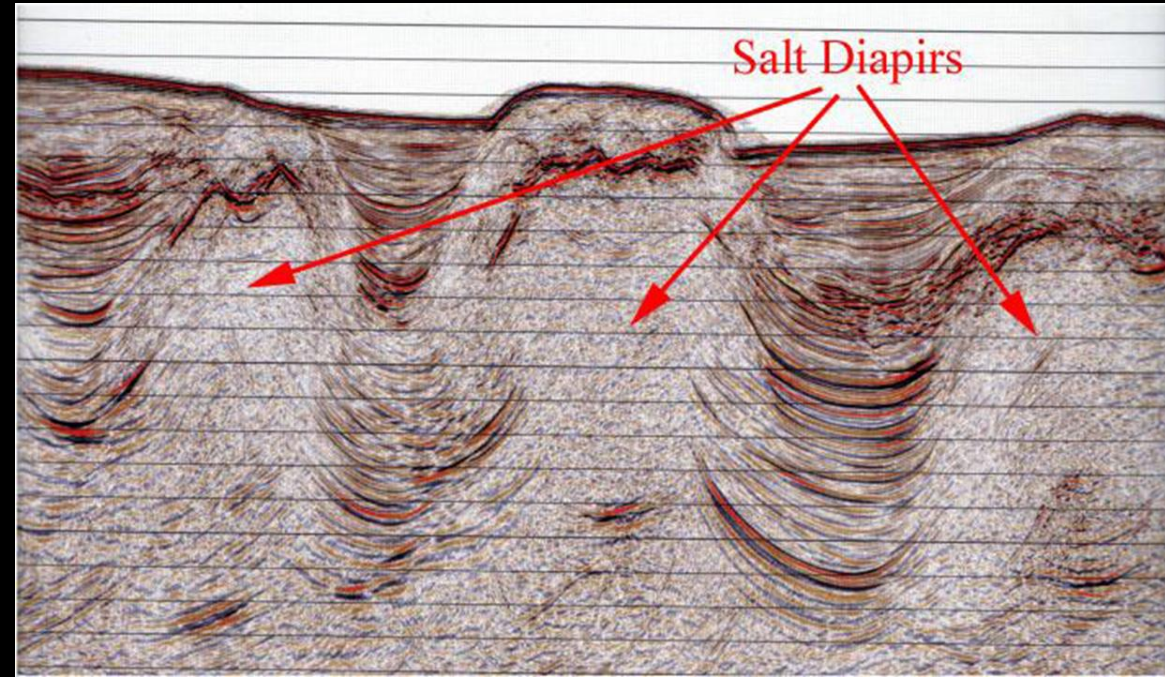
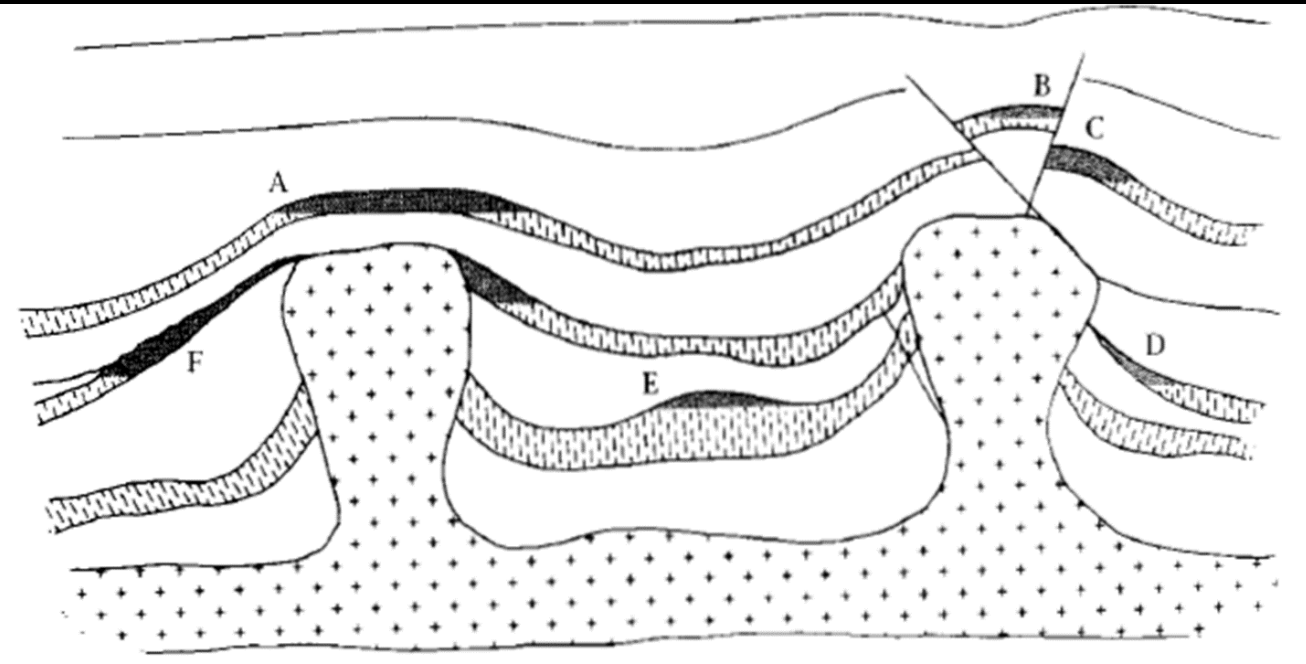
Οι **δομικές παγίδες** οφείλονται σε διαδικασίες τεκτονικές, διαπυρικές, βαρυτικές και συμπύκνωσης, που σχετίζονται με την ιστορία της λεκάνης.

Τεκτονικά καθεστώτα πίεσης τείνουν να δημιουργούν μεγάλης κλίμακας δομές, όπως επωθήσεις και πτυχώσεις.

Οι δομικές παγίδες σχετίζονται με τα μεγαλύτερα παγκόσμια κοιτάσματα, όπως στη Μέση Ανατολή.

Διαπυρικές κινήσεις αλάτων ή και ιλύος δύναται να δημιουργήσουν αντικλινικές δομές που μπορούν να οδηγήσουν σε παγίδες.

ΠΑΓΙΔΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (TRAPS)

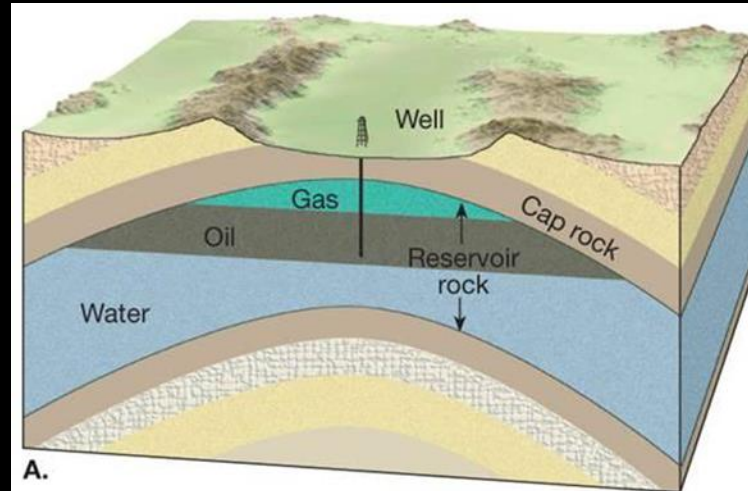


ΠΑΓΙΔΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (TRAPS)

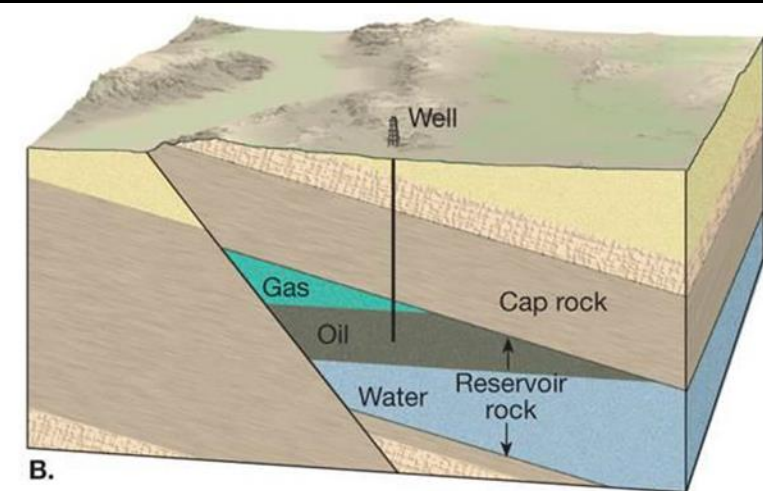
Οι **στρωματογραφικές παγίδες** οφείλονται σε διαδικασίες που αφορούν στο καθεστώς απόθεσης, στις μετέπειτα διαγενετικές μεταβολές και τυχόν ασυμφωνίες στη λεκάνη πλήρωσης.

Τέτοιες παγίδες μπορούν να παγιδεύσουν μεγάλες ποσότητες πετρελαίου. Αποτελούν ένα σύγχρονο και δυναμικό πεδίο έρευνας.

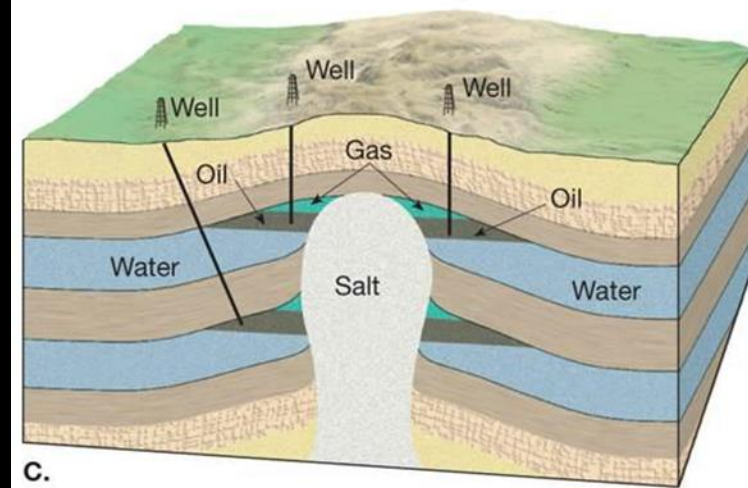
Παραδείγματα τέτοιων παγίδων είναι τα ποτάμια κανάλια, τα αναχώματα-φραγμοί, οι ασυμφωνίες αλλά και η εγκατακρήμιση ορυκτών και η αλλαγή φάσεων συστατικών του ταμιευτήρα (νερό και μεθάνιο σε υδρίτες, πετρέλαιο σε πίσσα)



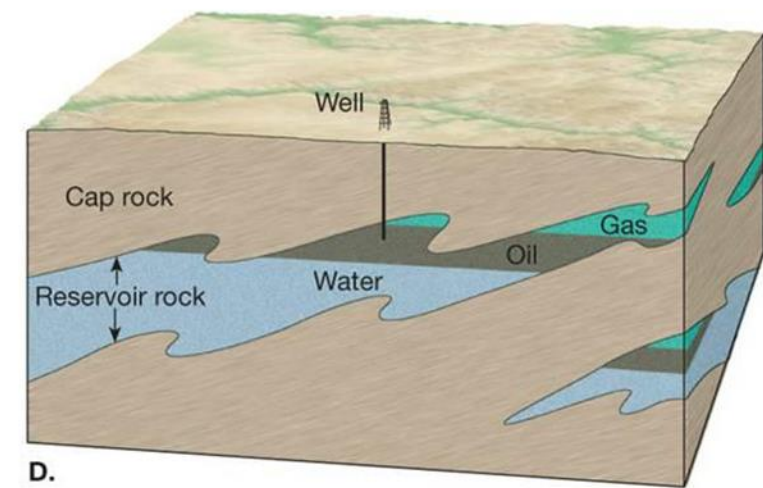
A.



B.



C.



D.

ΠΑΓΙΔΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ (TRAPS)

Οι **υδροδυναμικές παγίδες** αφορούν στην κίνηση ρευστών διαμέσου μιας λεκάνης. Η κίνηση των ρευστών αυτών δύναται να ελέγξει την κίνηση των πετρελαϊκών ρευστών.

Είναι γενικά ασυνήθιστες παγκοσμίως, και αφορούν κυρίως λεκάνες προχώρας, όπου η επίδρασή τους είναι πιο σημαντική.

Στις λεκάνες προχώρας, οι ταμιευτήρες ανανεώνονται με μετεωρικό νερό και το υδραυλικό φορτίο στους υδροφόρους επηρεάζει την κίνηση των πετρελαϊκών ρευστών.

Σχεδόν όλα τα παγκόσμια πεδία υδρογονανθράκων αναφέρονται σε **δομικές** παγίδες. Οι πλέον ασυνήθιστες είναι οι υδροδυναμικές.

Ο μηχανισμός παγίδευσης σε πολλά πεδία είναι συνδυασμός δομικών και στρωματογραφικών παγίδων.

Ο χρόνος της ανάπτυξης της παγίδας πρέπει να είναι σύγχρονος της γένεσης του κοιτάσματος.

Η ιστορία ανάπτυξης των παγίδων πρέπει να μελετάται συγκριτικά με την ιστορία ταφής και θέρμανσης της λεκάνης.

Η γεωμετρία της παγίδας καθορίζει την γεωμετρία του ταμιευτήρα.