

# ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ

Διδάκτορας Νικολίνα Μπουρλή  
Σχολή Θετικών Επιστημών  
Τμήμα Γεωλογίας



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS



ΠΑΤΡΑ, 2022

# ΑΝΑΛΥΣΗ ROCK-EVAL

Η γεωχημική ανάλυση πυρόλυσης της διάταξης Rock-Eval, αναπτύχθηκε από το Γαλλικό Ινστιτούτο Πετρελαίου (IFP, 1977), και κυκλοφόρησε στο εμπόριο το 1996. Χρησιμοποιείται ευρέως για την ανίχνευση της οργανικής ύλης, τον προσδιορισμό του είδους αυτής, της θερμικής της ωριμότητας καθώς και για τη δυνατότητα παραγωγής πετρελαίου από δείγματα πιθανών μητρικών σχηματισμών, μέσω των διαδικασιών πυρόλυσης και καύσης του εκάστοτε δείγματος υπό ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες (Espitalie et al.,1977; Sykes et al.,2002).

Τα δείγματα αρχικά εισέρχονται σε σιαγωνινό σπαστήρα και στη συνέχεια επιλέγοντας ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα 50-100 gr, ακολουθεί κονιοποίηση τους σε μύλο για την περαιτέρω μείωση του μεγέθους τους. Συνεχίζοντας, τα δείγματα κοσκινίστηκαν έως ότου τα κλάσματα φθάσουν στο μέγεθος των 250μm.

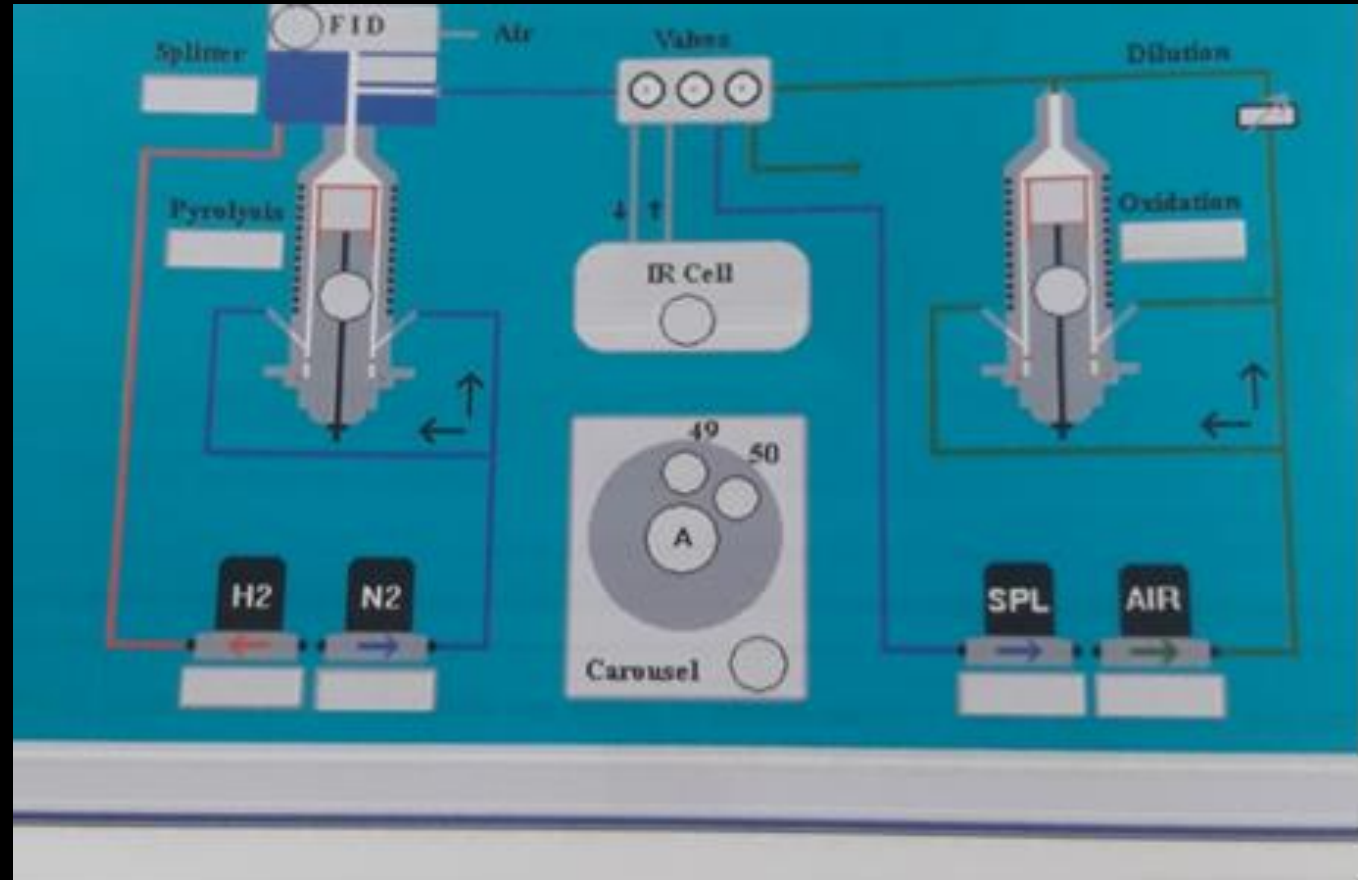
Τέλος, ακολουθεί ξήρανση των δειγμάτων σε φούρνο στους 60°C για 24 ώρες με σκοπό την απομάκρυνση της υγρασίας. Ύστερα, τα δείγματα είναι έτοιμα για την έναρξη των αναλύσεων.

Για την ανάλυση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε το αναλυτικό όργανο Rock-Eval 6 της εταιρίας Vinci, η διάταξη του οποίου περιλαμβάνει έναν κλίβανο πυρόλυσης ο οποίος βρίσκεται συνδεδεμένος με έναν ανιχνευτή ιονισμού φλόγας (FID) για την ανίχνευση των συστατικών που παράχθηκαν από την πυρόλυση και έναν κλίβανο καύσης. Επιπλέον στη διάταξη περιλαμβάνονται και δύο υπέρυθρα κελιά συνδεδεμένα με τους δύο κλιβάνους, για την αυτόματη ανίχνευση και ποσοτικοποίηση του μονοξειδίου CO αλλά και το διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> που παράγεται από πυρόλυση και την καύση.

# ΑΝΑΛΥΣΗ ROCK-EVAL



Εικόνα 1. Συσκευή Rock-Eval 6.



Εικόνα 2. Διάταξη της συσκευής Rock-Eval 6.

# ΑΝΑΛΥΣΗ ROCK-EVAL

Η αρχή λειτουργίας της διαδικασίας της ανάλυσης Rock-Eval 6 είναι η εξής:

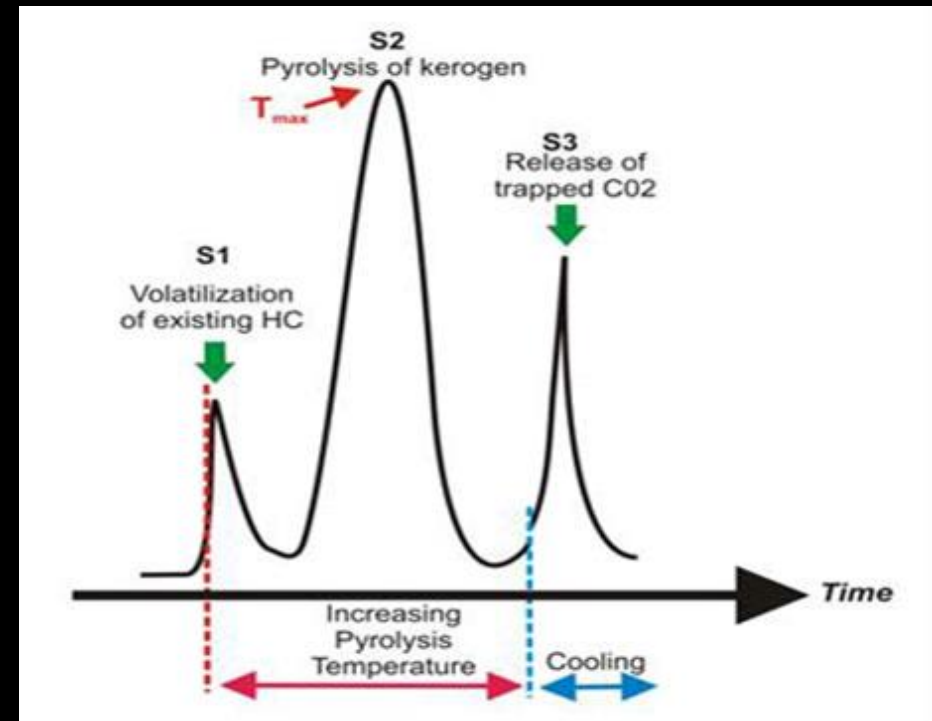
➤ Δείγμα συγκεκριμένης ποσότητας (50 – 70 mg) εισέρχεται στο δειγματοφόρα (crucible), ο οποίος είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα για αντοχή σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και τοποθετείται σε μία από τις 48 θέσεις του δειγματολήπτη. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται διαδοχική πυρόλυση και οξείδωση του δείγματος. Το δείγμα λοιπόν, αρχικά πυρολύεται σε αδρανή ατμόσφαιρα αζώτου ( $N_2$ ). Ο διαχωρισμός της πυρολυόμενης ποσότητας σε δύο μέρη στην έξοδο του φούρνου της πυρόλυσης, επιτρέπει την ταυτόχρονη ανίχνευση και ποσοτικοποίηση των υδρογονανθράκων με ανιχνευτή ιονισμού φλόγας (FID) και την ανίχνευση των CO και CO<sub>2</sub> με υπέρυθρη ακτινοβολία (IR), αντίστοιχα.

➤ Τα σήματα (κορυφές) S1 και S2 προσδιορίζονται διαδοχικά με τον FID και αντιστοιχούν στην ποσότητα των ελεύθερων υδρογονανθράκων (κορυφή S1, αέριοι και υγροί) που εξατμίστηκαν πυρολυόμενα στους 300°C για 3 λεπτά, ενώ η δεύτερη κορυφή S2 αντιπροσωπεύει τους υδρογονάνθρακες που παράγονται από θερμική διάσπαση της πτητικής οργανικής ύλης μεταξύ 300 και 650°C, αυξάνοντας κατά 25 °C ανά λεπτό και αποτελεί ένδειξη της δυνατότητας του μητρικού πετρώματος για γένεση πετρελαίου. Τέλος, οι κορυφές S3 και S3CO αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα την ποσότητα CO<sub>2</sub> και CO που προέκυψε από την πυρόλυση του κηρογόνου και αποτελεί ένδειξη της ποσότητας του οξυγόνου στο κηρογόνο.

# ΑΝΑΛΥΣΗ ROCK-EVAL

➤ Όλες αυτές οι βασικές παράμετροι εκφράζονται σε mg υδρογονανθράκων ανά g πετρώματος ή σε mg CO/CO<sub>2</sub> ανά g πετρώματος. Στο σημείο αυτό, προσδιορίζεται η θερμοκρασία T<sub>max</sub> κατά την οποία εμφανίζεται η μέγιστη απόδοση υδρογονανθράκων από τη θερμική διάσπαση του κηρογόνου (μέγιστη τιμή θερμοκρασίας της κορυφής S2) και χρησιμοποιείται ως ένδειξη του βαθμού ωρίμανσης της οργανικής ύλης.

➤ Στη συνέχεια, η υπολειμματική οργανική και ανόργανη περιεκτικότητα σε άνθρακα (σε wt%) του ήδη πυρολυόμενου δείγματος, λαμβάνεται με καύση (οξείδωση) από 600 – 850°C, με ρυθμό θέρμανσης 20 °C/min. Το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα που προκύπτουν από την οξείδωση ανιχνεύονται με υπέρυθρη ακτινοβολία και αντιστοιχούν στις κορυφές S4 (Πασαδάκης, 2015; Behar et al., 2001).



Εικόνα 3. Σήματα (κορυφές) ανίχνευσης της Rock-Eval 6.

# ΑΝΑΛΥΣΗ ROCK-EVAL

- ✓ η συνολική περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα (TOC , wt%) ως το άθροισμα του πυρολυόμενου και υπολειμματικού οργανικού άνθρακα (Marchand, et al., 2008).
- ✓ ο δείκτης υδρογόνου **HI** (mg υδρογονανθράκων ανά g TOC) που αντιστοιχεί στην ποσότητα των πυρολυμένων οργανικών ενώσεων (κορυφή S2) σε σχέση με τον συνολικό οργανικό άνθρακα και χαρακτηρίζει τον τύπο οργανικής ύλης του πετρώματος.
- ✓ ο δείκτης οξυγόνου **OI** (mg υδρογονανθράκων ανά g TOC) που αντιστοιχεί στην ποσότητα CO<sub>2</sub> (κορυφή S3) σε σχέση με τον TOC και σχετίζεται με την αναλογία οξυγόνου προς άνθρακα.
- ✓ ο δείκτης παραγωγικότητας **PI** για τον χαρακτηρισμό του επιπέδου εξέλιξης της οργανικής ύλης.
- ✓ ο δείκτης πετρελαϊκού δυναμικού ή πυρολυόμενος άνθρακας **PC** που εκφράζει τη δυνατότητα της οργανικής ύλης να παράγει υδρογονάνθρακες εάν βρεθεί υπό κατάλληλες συνθήκες για ικανοποιητικό χρονικό διάστημα.

# ΑΝΑΛΥΣΗ ROCK-EVAL

TOC: συνολικός οργανικός άνθρακας (% κ.β)

S1: ποσότητα ήδη υφιστάμενων υδρ/κων

S2: οργανική ύλη που μπορεί να παραχθεί επιπλέον με πυρόλυση

S3: ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που μπορεί να παραχθεί έως τους 390°.

SP:  $S1 + S2 =$  ο συνολικός οργανικός άνθρακας

Οι τιμές S2 και TOC **μειώνονται** όσο το κηρογόνο καταναλώνεται (όσο δηλαδή το μητρικό πέτρωμα γίνεται πιο ώριμο)

Τα οξειδωμένα κηρογόνα, τα υπερώριμα μητρικά ή/και τα κηρογόνα τύπου IV συνήθως εκφράζονται με ψηλές τιμές T<sub>max</sub> ή χωρίς κορυφή για την τιμή S2.

Τα αποτελέσματα είναι **αλληλοεξαρτώμενα** και πρέπει να εξετάζονται συνολικά.

# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ROCK-EVAL

Έχει δειχθεί ότι η τιμή του TOC πρέπει να είναι  $\geq 0,5\%$  για να αξιολογηθεί καλή η ποιότητα ενός μητρικού πετρώματος. Πάνω από 1% = πολύ καλή, πάνω από 2% εξαιρετική.

Αν και το TOC πρέπει να έχει ψηλή τιμή για ένα καλό μητρικό πέτρωμα, από μόνη της η ψηλή τιμή δεν σημαίνει απαραίτητα καλό μητρικό πέτρωμα! *Αναγκαία αλλά όχι ικανή συνθήκη!*

Για την παραγωγή υδρογονανθράκων χρειάζεται και υδρογόνο!

*Οι υψηλές τιμές S2 αποτυπώνουν καλύτερης ποιότητας μητρικά πετρώματα.*

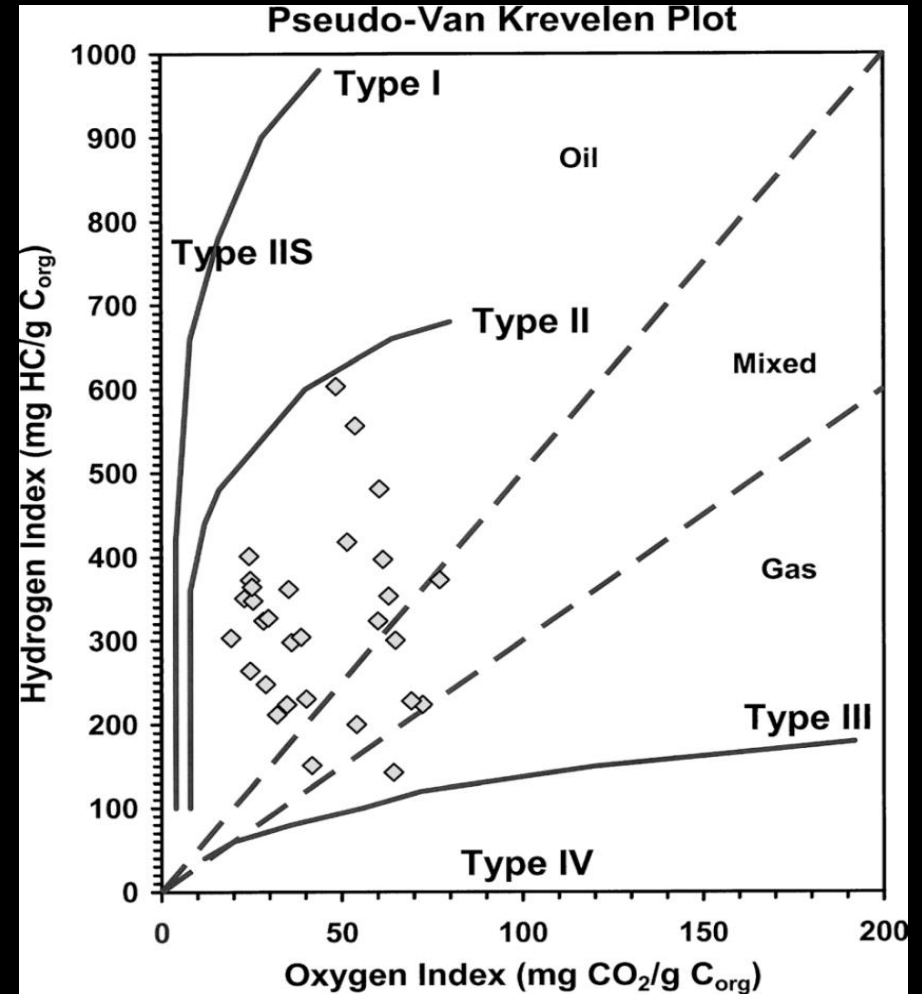
Πρέπει να ελεγχθεί επίσης η θερμική ωριμότητα του μητρικού και ο τύπος του κηρογόνου!



# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ROCK-EVAL

Πολλά δείγματα περιέχουν μίξη περισσότερων του ενός τύπων κηρογόνου.

Χρειάζεται σύνθεση αναλυτικών μεθόδων και μοντελοποίηση της γεωλογικής ιστορίας του μητρικού πετρώματος και της λεκάνης!



Εικόνα 4

# ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΒΙΤΡΙΝΙΤΗ

Ο βιτρινίτης είναι τύπος κηρογόνου που σχετίζεται με τα ανώτερα φυτά (κυτταρικές μεμβράνες και ξυλώδης ιστός).

Χρησιμοποιείται και για την ανάλυση γαινοθράκων.

Η ανακλαστικότητα του βιτρινίτη αυξάνεται με το χρόνο και την θερμοκρασία- δείκτης θερμικής ωριμότητας καθώς εκφράζει την μέγιστη θερμοκρασία στην οποία έχει βρεθεί το δείγμα.

Εκφράζεται ως ποσοστό Ro% του ανακλώμενου φωτός.

Απαντά κυρίως στο κηρογόνο τύπου III.

Τιμές ~0,5% αντιστοιχούν σε θερμοκρασίες **έναρξης** δημιουργίας του πετρελαίου (τέλος της διαγένεσης)

Τιμές ~0,8-1,1% εκφράζουν το παράθυρο του πετρελαίου.

Η ζώνη δημιουργίας αερίου εκφράζεται στο εύρος 1-3%.

Ο υπολογισμός της ανακλαστικότητας σχετίζεται με την μετρούμενη T<sub>max</sub> από την ανάλυση Rock-Eval.

# ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΒΙΤΡΙΝΙΤΗ

$$R = (0,0180 \cdot T_{\max}) - 7,16$$

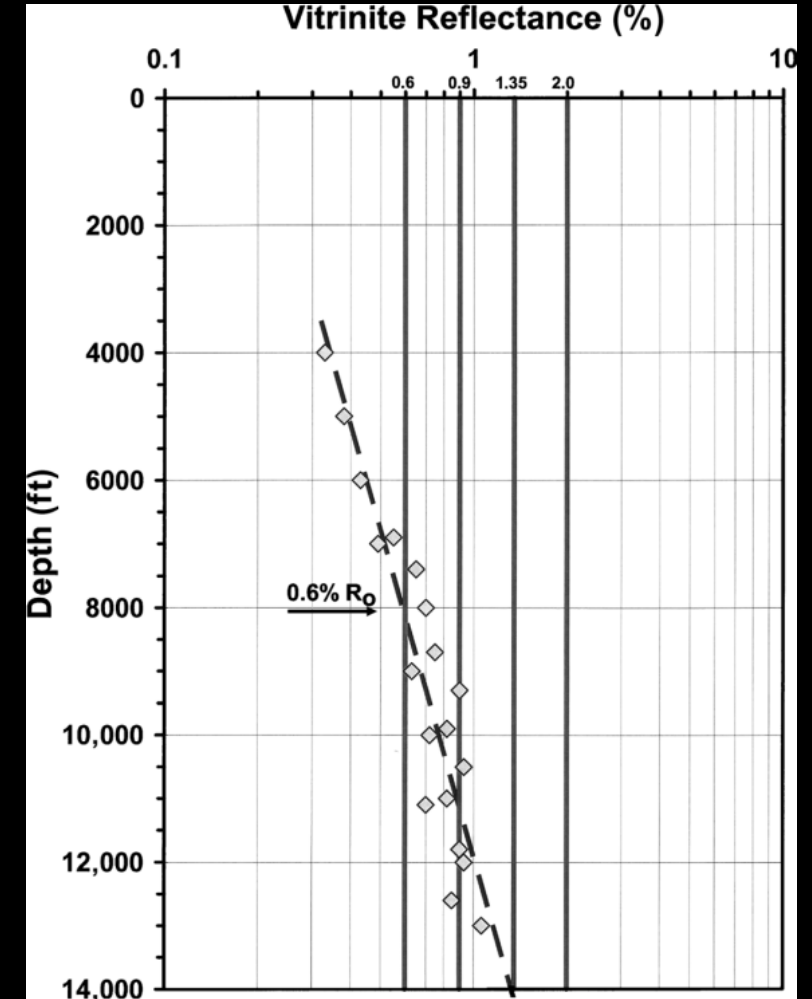
Για τα κηρογόνα τύπου I, II η μέτρηση είναι πιο δύσκολη, ενώ για τιμές >2% το σφάλμα μπορεί να είναι μεγάλο.

Οι τιμές δίνουν μια σχεδόν γραμμική συσχέτιση με το βάθος:

Η ανακλαστικότητα του βιτρινίτη μας δίνει πληροφορίες για την θερμική ιστορία του μητρικού πετρώματος και αν έχουν λάβει χώρα συνθήκες γένεσης.

Ωστόσο δεν προσφέρει αξιόπιστες πληροφορίες για το πότε (και αν) έχει λάβει χώρα μετανάστευση.

Χρειάζεται συνδυαστική σκέψη με την γεωλογική ιστορία της λεκάνης.

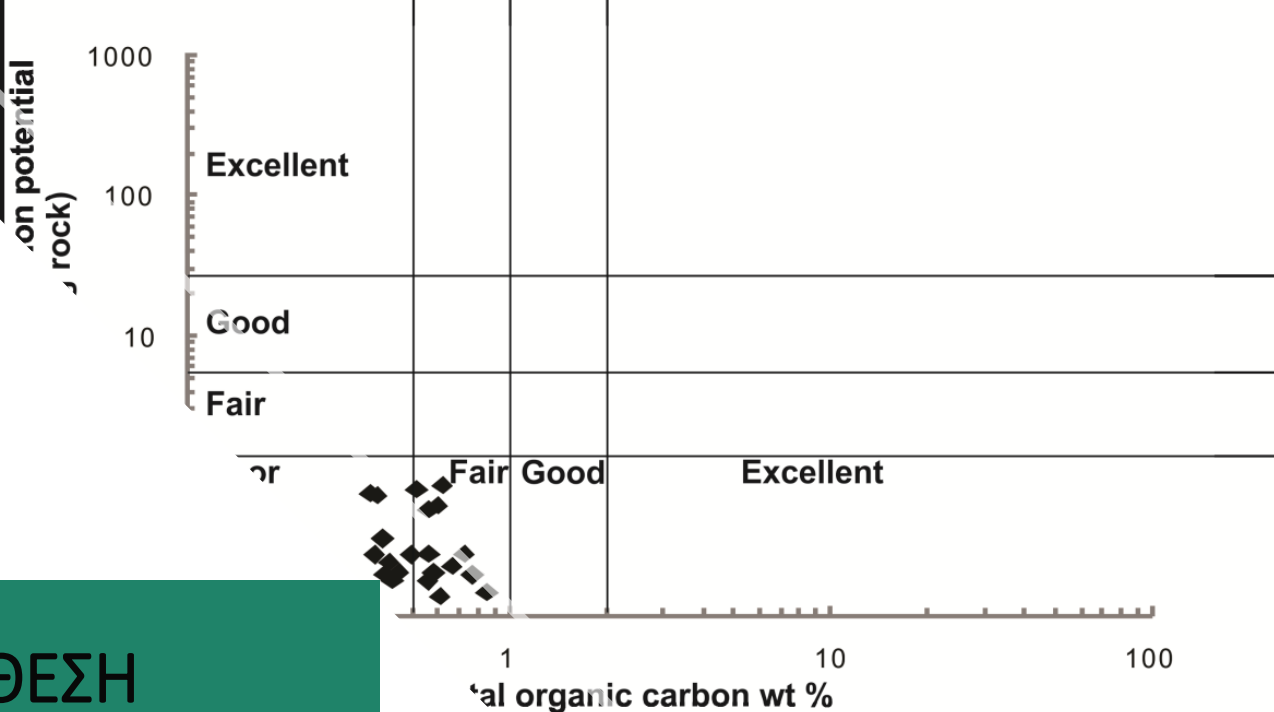
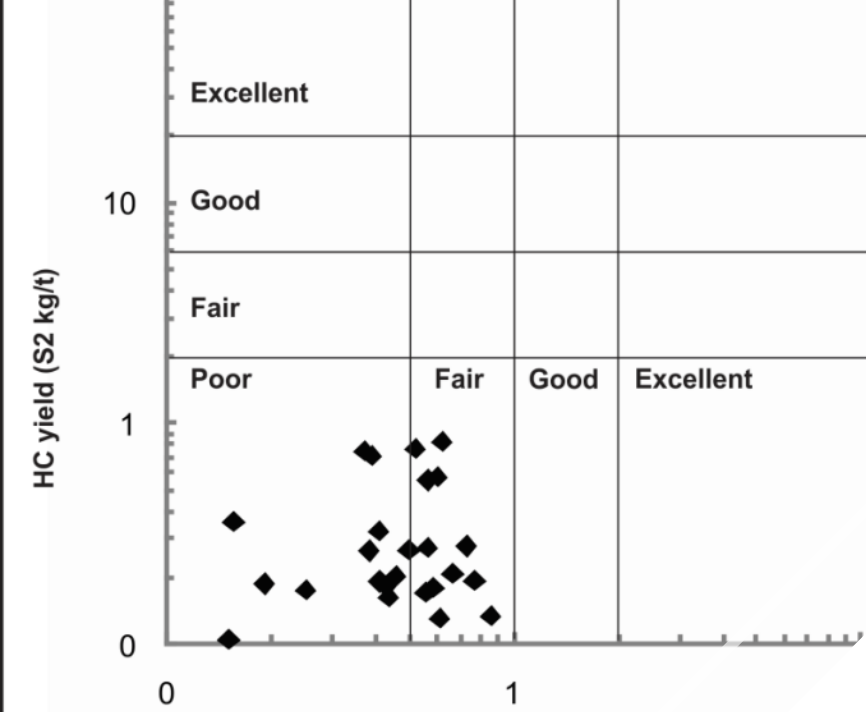


Εικόνα 5. Διάγραμμα ανακλαστικότητας βιτρινίτη

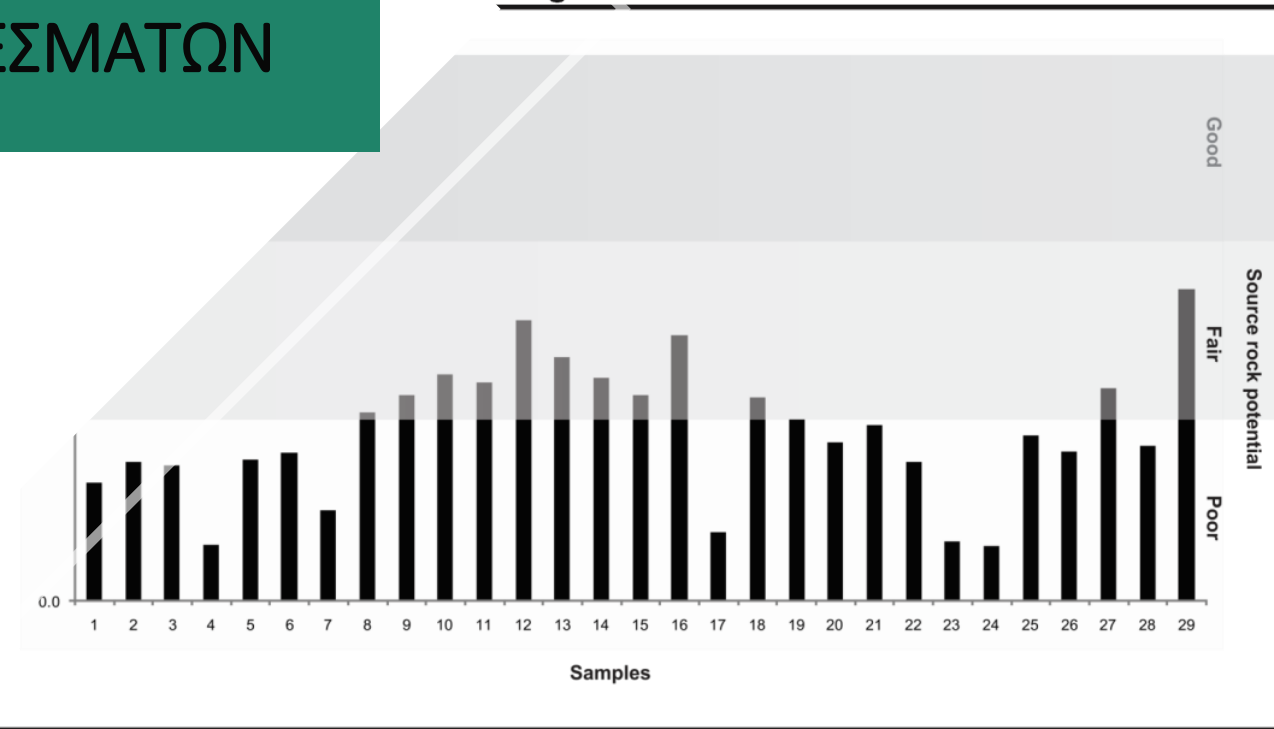
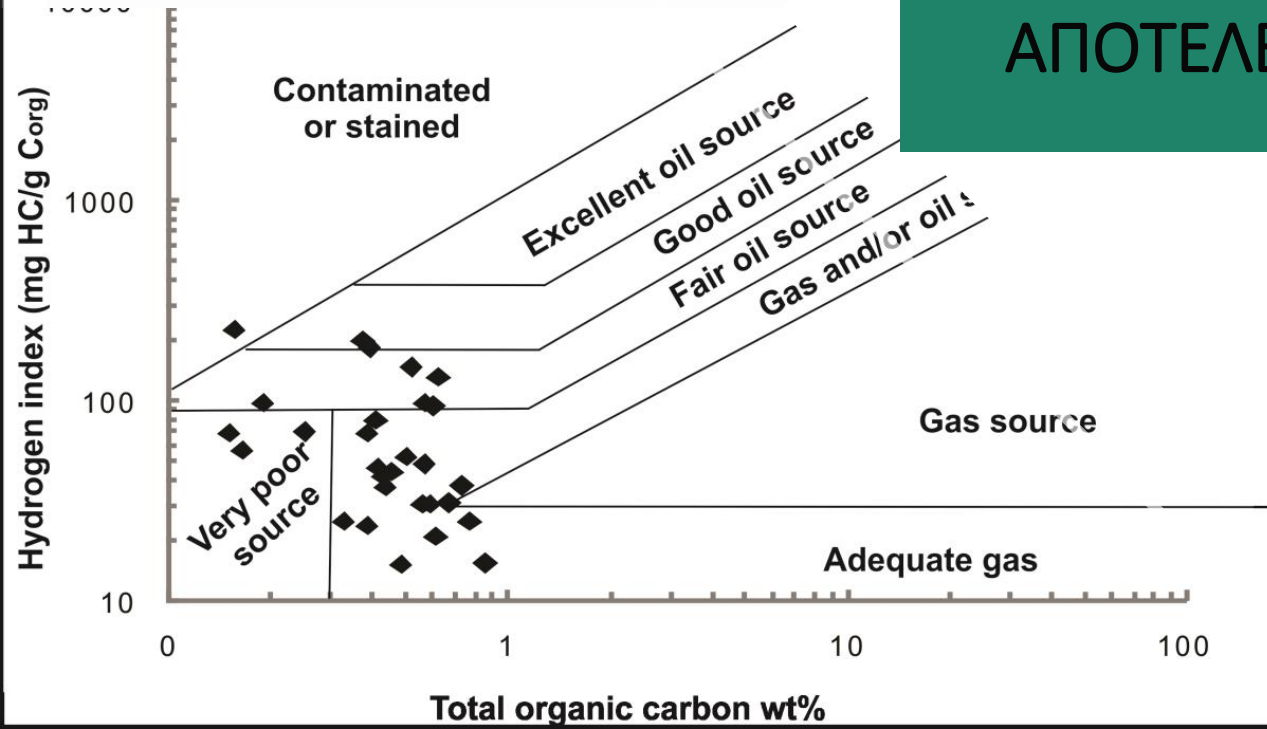
# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ROCK-EVAL

<u>Rock-Eval (mg/g πετρώματος)</u>						
<i>Δυναμικό (ποσότητα)</i>	<i>TOC ( wt. % )</i>	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>Βιτουμένα(ppm)</i>	<i>Υδρογονάνθρακες(ppm)</i>	
Φτωχό	< 0.5	< 0.5	< 2.5	< 500	< 300	
Μέτριο	0.5-1.0	0.5-1.0	2.5-5.0	500-1000	300-600	
Καλό	1.0-2.0	1.0-2.0	5.0-10.0	1000-2000	600-1200	
Πολύ καλό	2.0-4.0	2.0-4.0	10.0-20.0	2000-4000	1200-2400	
Εξαιρετικό	> 4.0	> 4.0	> 20.0	> 4000	> 2400	
<i>Κηρογόνο (ποιότητα)</i>	<i>HI (mg H-C/g TOC)</i>	<i>S2/S3</i>	<i>Αναλογία H/C</i>	<i>Προϊόντα κατά τη μέγιστη ωριμότητα</i>		
I	>600	>15.0	>1.5	Πετρέλαιο		
II	300-600	10.0-15.0	1.2-1.5	Πετρέλαιο		
II/III	200-300	5.0-10.0	1.0-1.2	Πετρέλαιο /Αέριο		
III	50-200	1.0-5.0	0.7-1.0	Αέριο		
IV	<50	<1.0	<0.7	Κανένα		
<u>Ωριμότητα</u>				<u>Δημιουργία</u>		<i>PI</i>
<i>Ωριμότητα</i>	<i>R<sub>o</sub> (%)</i>	<i>T<sub>max</sub> (°C)</i>	<i>TAI</i>	<i>Βιτουμένα / TOC</i>	<i>Βιτουμένα(mg/g πετρ)</i>	<i>(S1/(S1+S2))</i>
Ανώριμο	0.20-0.60	<435	1.5-2.6	<0.05	<50	<0.10
Πριμο						
Πρώιμη διαγένεση	0.60-0.65	435-445	2.6-2.7	0.05-0.10	50-100	0.10-0.15
Μέγιστο παραγωγής πετρελαίου	0.65-0.90	445-450	2.6-2.7	0.15-0.25	150-250	0.25-0.40
Υστερης διαγένεσης	0.90-1.35	450-470	2.9-3.3	-	-	>0.40
Υπερώριμο	>1.35	>470	>3.3	-	-	-

Εικόνα 6. Κατηγοριοποίηση της οργανικής ύλης ως προς την ποσότητα, την ποιότητα και τη θερμική ωριμότητα της (Peters & Cassa, 1994).

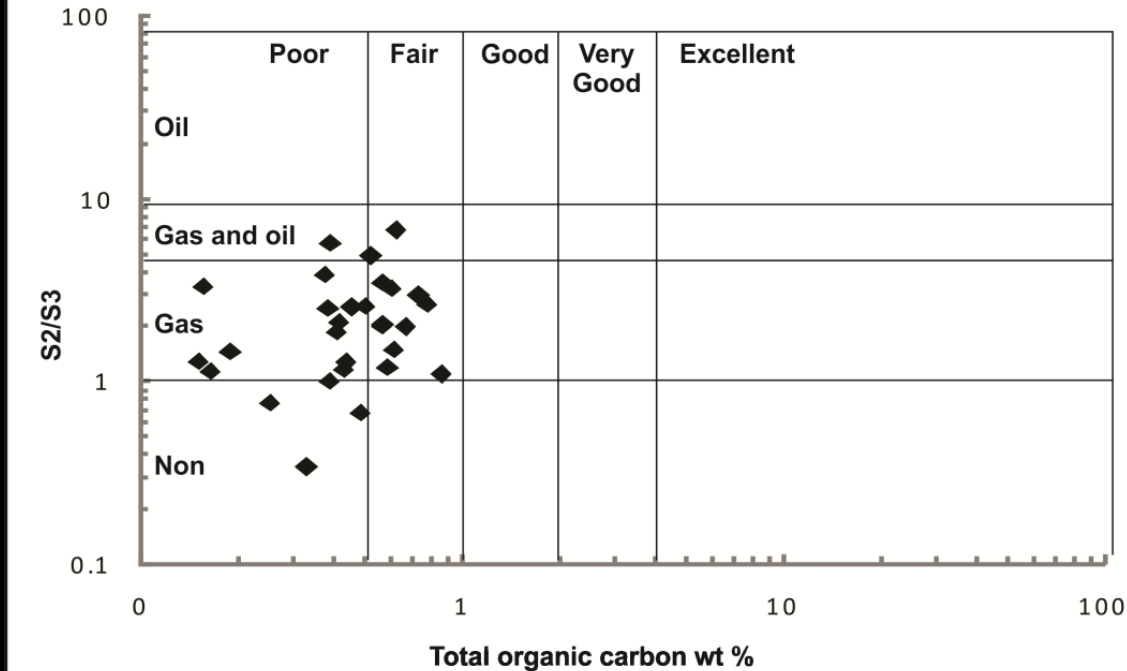
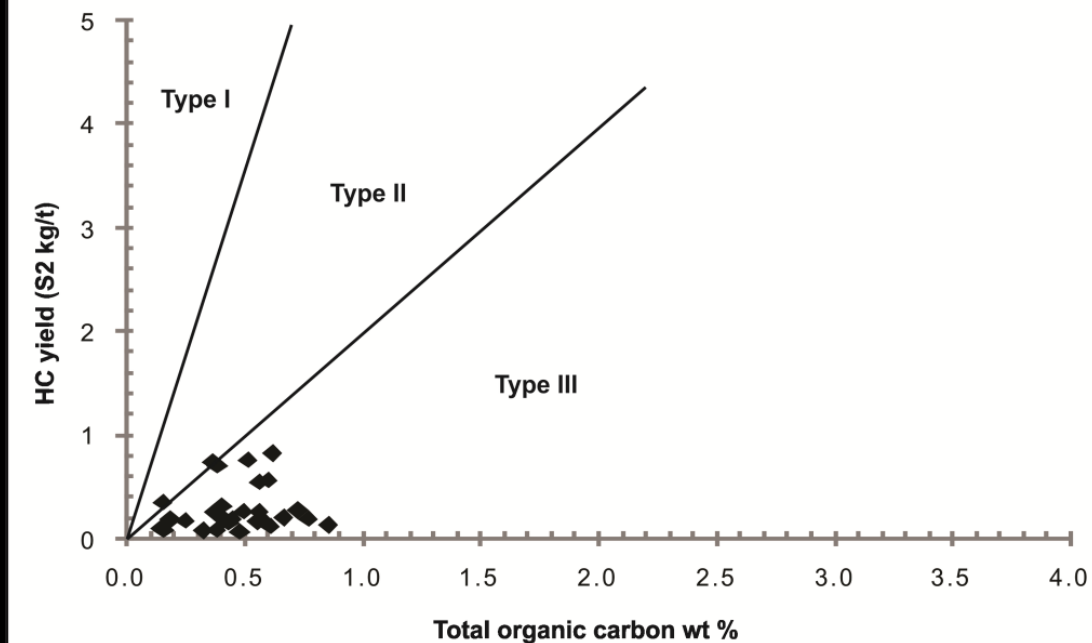
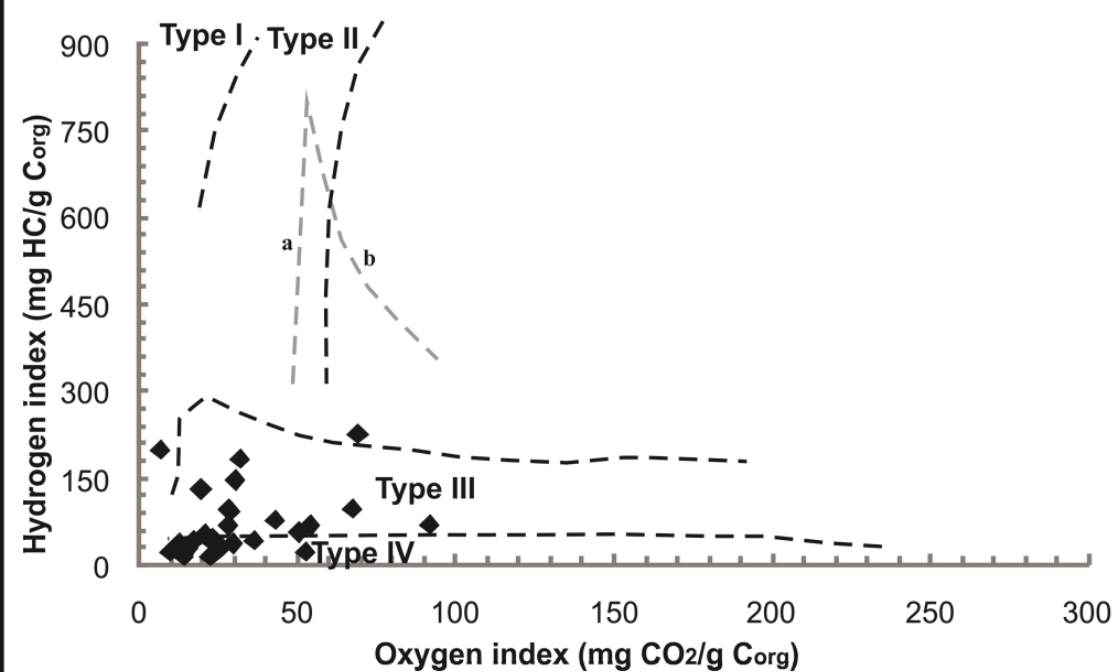


**ΣΥΝΘΕΣΗ  
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**



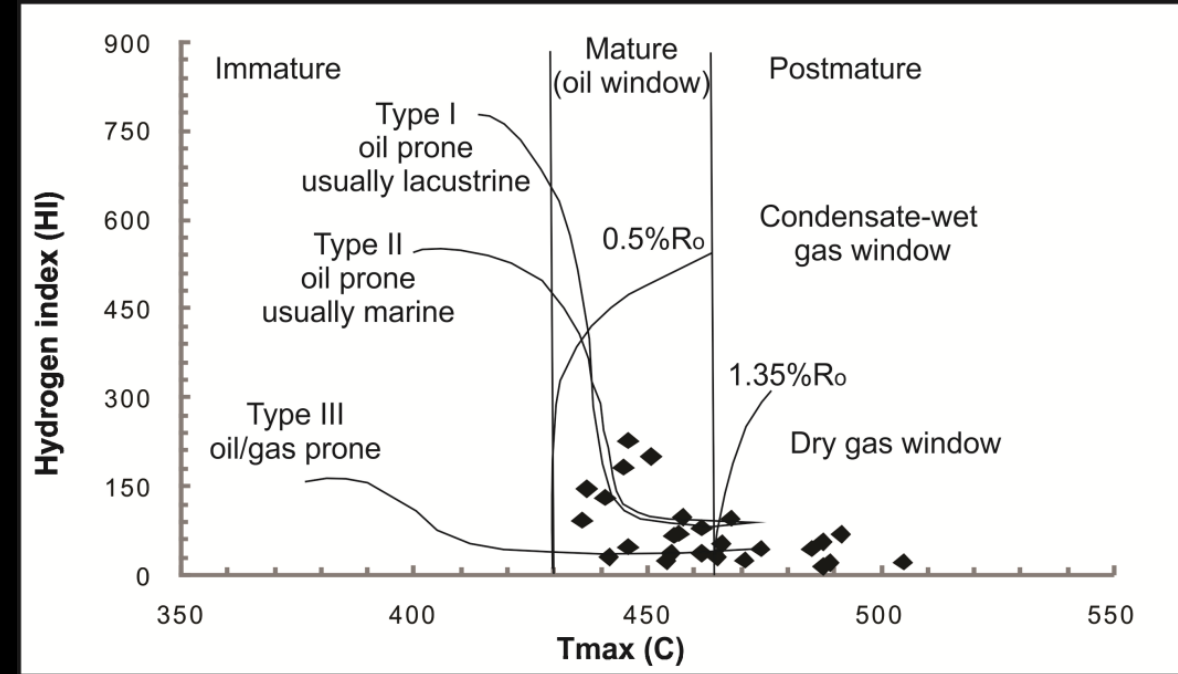
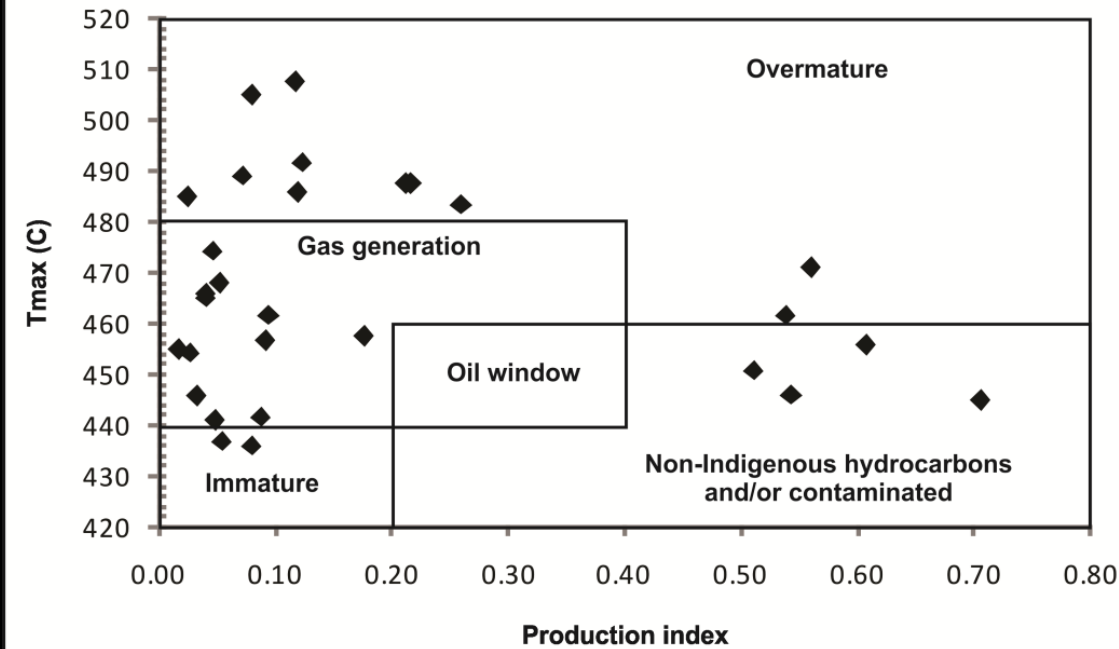
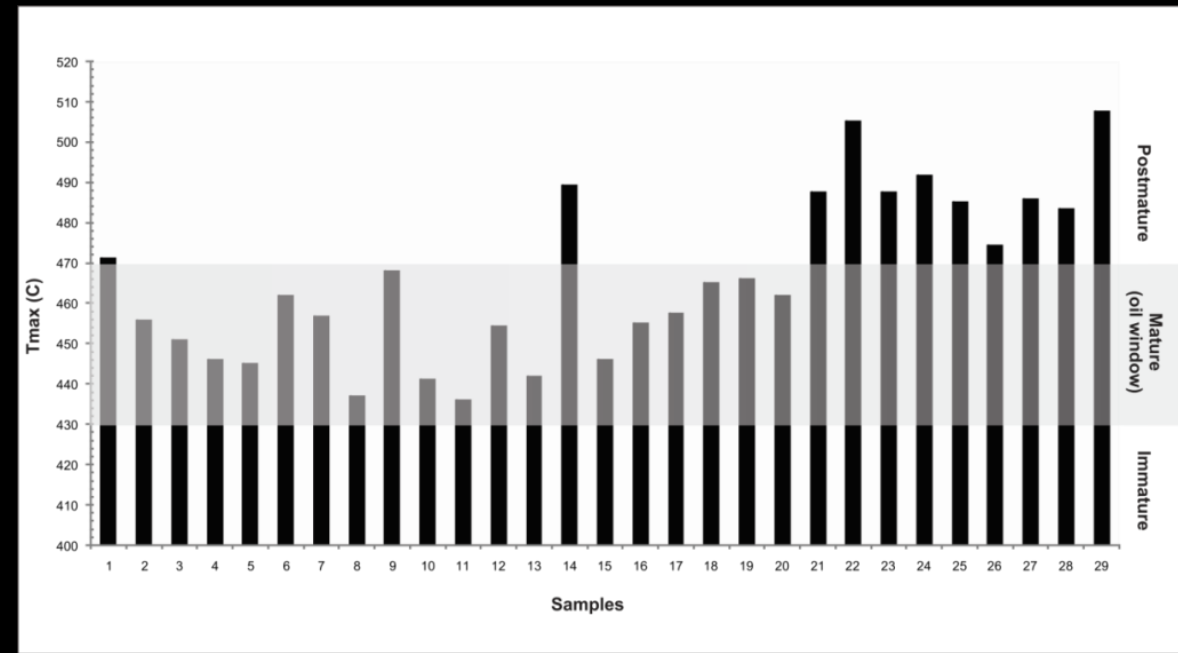
# ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Εικόνα 7.



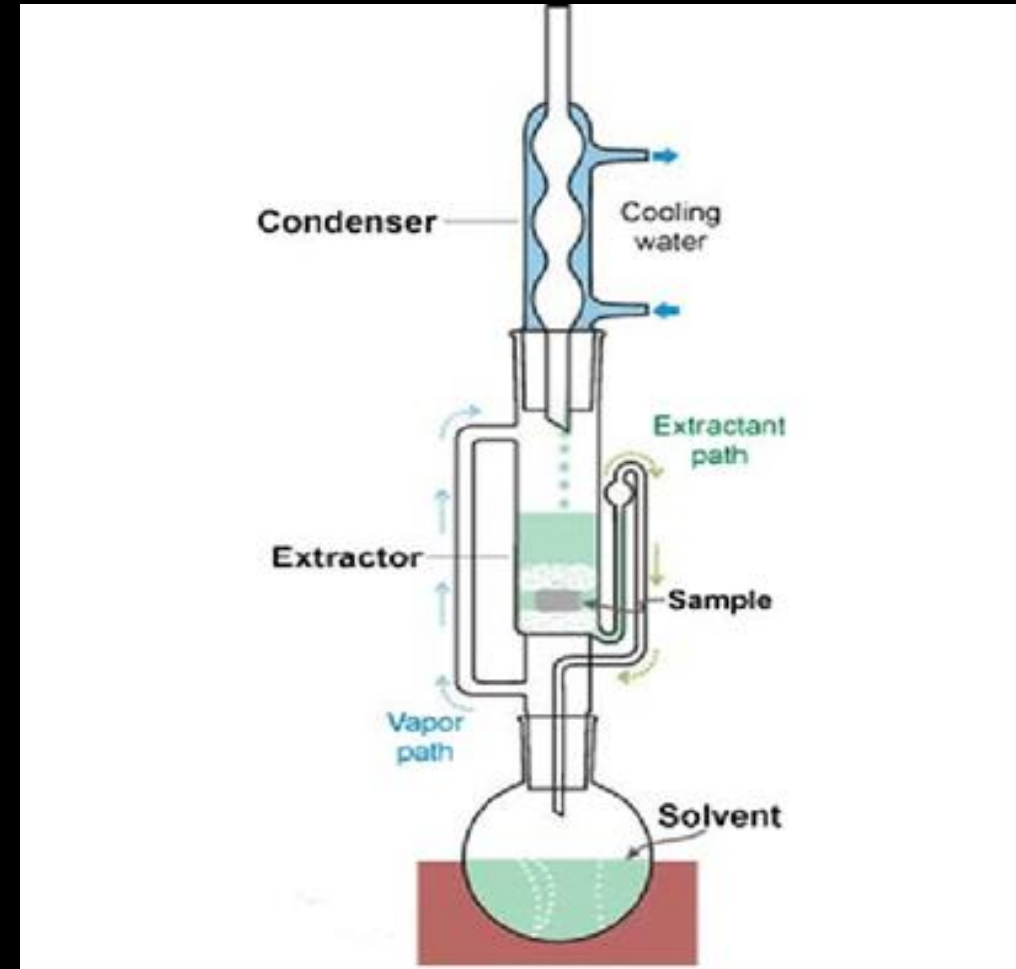
# ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Εικόνα 8.



# ΕΚΧΥΛΙΣΗ SOXHLET

Η τεχνική αυτή, στηρίζεται στην απομόνωση των βιτουμενίων μέσω της έκπλυσης του δείγματος σε ρεύμα θερμού καθαρού διαλύτη, μέσω των διαδοχικών εξατμίσεων και συμπυκνώσεων του.



Εικόνα 9. Διάταξη εκχύλισης Soxhlet



# ΑΠΑΣΦΑΛΤΩΣΗ

Τα βιτουμένια θα πρέπει να διαχωριστούν σε επιμέρους κλάσματα, για την περαιτέρω ανάλυση τους, εξαιτίας της σύνθετης χημικής τους σύστασης. Τα ασφαλτένια, αποτελούν τα βαριά συστατικά του πετρελαίου και είναι αδιάλυτα σε ελαφρά κανονικά αλκάνια (π.χ. πεντάνιο, επτάνιο), ενώ διαλύονται σε αρωματικούς ή και χλωριωμένους υδρογονάνθρακες (π.χ. χλωροφόρμιο). Για την απομάκρυνση των ασφαλτενίων από τα βιτουμένια (εκχύλισμα) πραγματοποιείται η διαδικασία της απασφάλτωσης.

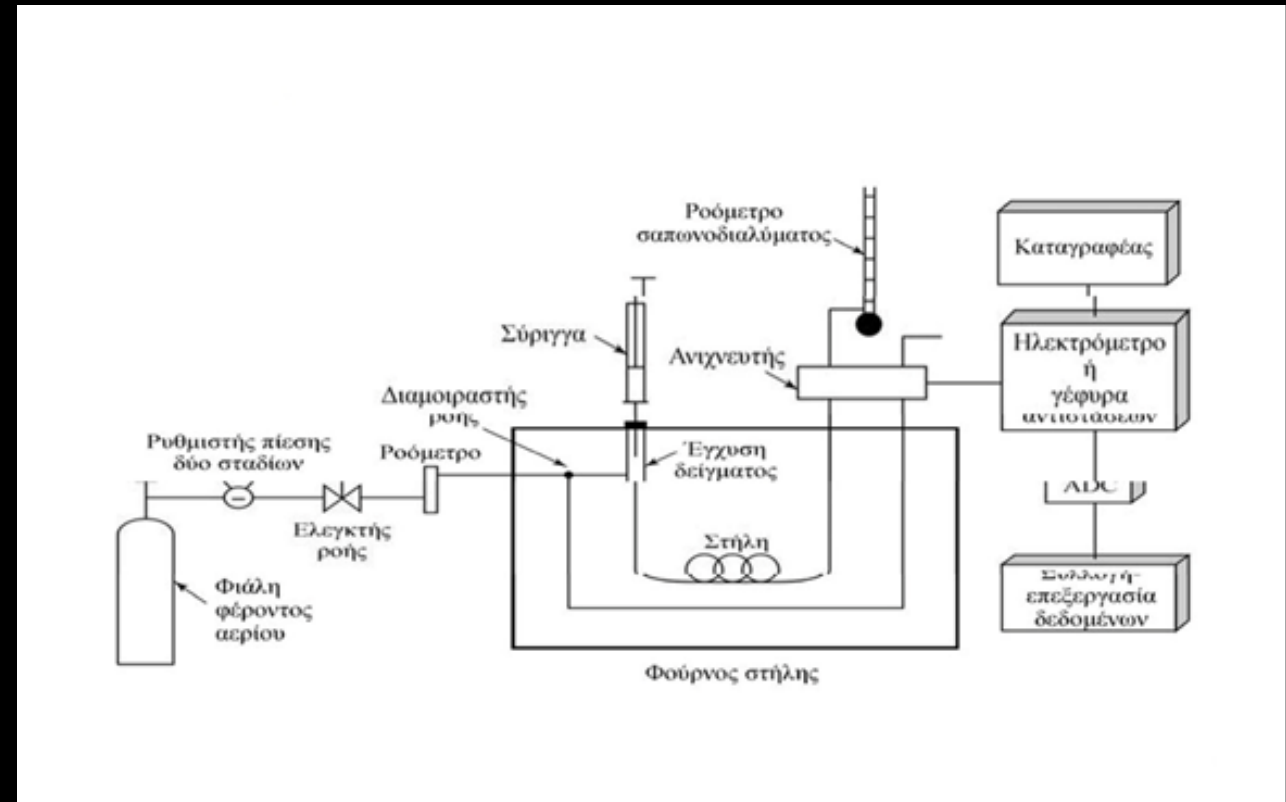
Κατά την απασφάλτωση, τα σαφαλτένια διαχωρίζονται από το εκχύλισμα με κατακρήμνιση τους σε έναν ελαφρύ διαλύτη όπως το πεντάνιο, με αποτέλεσμα να προκύπτουν δύο κλάσματα, αυτό των μαλτενίων τα οποία είναι διαλυτά στο πεντάνιο και αυτό των ασφαλτενίων (Πασαδάκης, 2012).

# ΥΓΡΗ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΣΤΗΛΗΣ

Γενικότερα, η χρωματογραφία είναι η χημική αναλυτική μέθοδος διαχωρισμού ουσιών από το μίγμα τους. Το δείγμα τοποθετείται στην άκρη ενός υλικού προσρόφησης (στατική φάση). Στη συνέχεια, εκλούεται από την κινητή φάση με τη βοήθεια κάποιου διαλύτη ή αερίου, με αποτέλεσμα να κινείται προς την άλλη άκρη της ακίνητης φάσης. Ο διαχωρισμός των ουσιών οφείλεται στο γεγονός πως όσες ουσίες είναι αρκετά διαλυτές στην κινητή φάση και προσροφώνται σε μικρό βαθμό από την ακίνητη φάση «τρέχουν» πρώτες σε αντίθεση με όσες προσροφώνται ισχυρά και άρα κινούνται πιο αργά. Η διαφορά λοιπόν στην ταχύτητα κίνησης των συστατικών οδηγεί στο διαχωρισμό τους, καταλαμβάνοντας το καθένα από αυτά ξεχωριστές ζώνες στην στήλη (ή κάποια στερεά επιφάνεια) στην οποία βρίσκεται η στατική φάση. Η χρωματογραφία διακρίνεται σε αέρια και υγρή ανάλογα με το αν η κινητή φάση είναι υγρή ή αέρια.

# ΑΕΡΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ-ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΜΑΖΑΣ

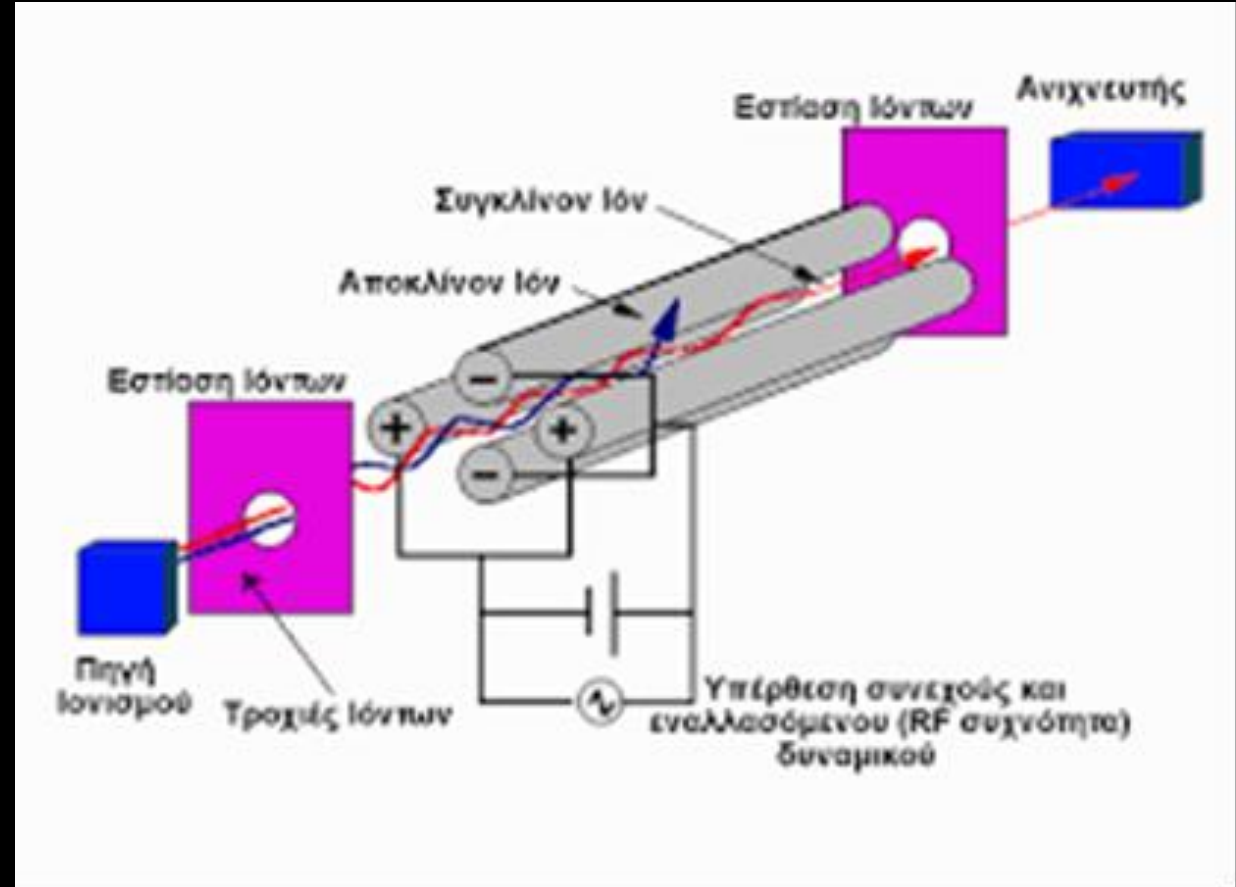
Η χρωματογραφία στην οποία σαν κινητή φάση χρησιμοποιείται αέριο ονομάζεται αέρια χρωματογραφία. Η αεριοχρωματογραφία ανήκει και αυτή στις μεθόδους διαχωρισμού και εφαρμόζεται κυρίως σε αναλυτική κλίμακα (ποσότητες δειγμάτων μικρότερες των  $10^{-6}$  g = 1μg/συστατικό). Η αέρια χρωματογραφία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ταυτότητας (ποιοτική ανάλυση) και της ποσότητας (ποσοτική ανάλυση) των ενώσεων που περιέχει το κορεσμένο κλάσμα του εκάστοτε δείγματος. Οι ενώσεις αυτές θα πρέπει να είναι ή να καθίστανται πτητικές και να μεταβαίνουν στην αέρια φάση χωρίς ταυτόχρονη διάσπαση. Σαν κινητή φάση (φέρον αέριο) δύναται να χρησιμοποιηθεί ένα αδρανές αέριο όπως το ήλιο (He), το υδρογόνο και το άζωτο, ενώ σε στάσιμη φάση επιλέγεται ένα υγρό υψηλού σημείου βρασμού σε μορφή λεπτού υμένα πάνω στην εσωτερική επιφάνεια της χρωματογραφικής στήλης ή ένα στερεό προσροφητικό υλικό.



Εικόνα 10. Οργανολογία αέριας χρωματογραφίας.

# ΑΕΡΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ-ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΜΑΖΑΣ

Η φασματοσκοπία ή φασματομετρία μάζας είναι αναλυτική τεχνική κατά την οποία τα συστατικά ενός δείγματος μετατρέπονται σε ταχύτατα κινούμενα ιόντα και στη συνέχεια διαχωρίζονται σε σχέση με το λόγο της μάζας προς το φορτίο ( $m/z$ ). Έχει πολύ υψηλή ευαισθησία και μεγάλη ακρίβεια μέτρησης. Μέσω αυτής της ανάλυσης, δίνεται η δυνατότητα ποιοτικού και ποσοτικού προσδιορισμού ενώσεων σε πολύπλοκα μείγματα. Επιπλέον, μετριέται και το μοριακό βάρος τους αλλά παρέχονται και δομικές πληροφορίες αυτών.



Εικόνα 11. Διάταξη φασματογράφου μάζας.

# ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ROCK-EVAL

Sample	Tmax (°C)	S1(mg/g)	S2(mg/g)	S3(mg/g)	TOC (wt%)
I1		0,01	0,04	0,90	0,15
AG14		0,05	0,11	0,05	0,02
AG13		0,04	0,09	4,73	0,42
AG12		0,00	0,00	1,11	0,23
AG11		0,01	0,01	0,39	0,04
AG10B		0,03	0,02	0,39	0,04
AG10A		0,05	0,03	0,12	0,07
AG9		0,04	0,02	0,03	0,02
AG8B		0,00	0,00	2,69	0,45
AG8A		0,00	0,00	2,45	0,39
AG7	425	0,04	5,29	2,46	2,50
AG6	426	0,05	5,08	2,19	2,06
AG5	429	0,04	2,99	1,48	1,57
AG4	424	0,01	0,14	0,70	0,32
AG3	414	0,01	0,02	0,58	0,18
AG2	423	0,05	8,97	2,41	3,12
AG1	428	0,08	8,54	3,03	3,45

Πίνακας 1. Πειραματικά αποτελέσματα της ανάλυσης Rock-Eval.

Sample	S1+S2(mg/g)	S2/S3	HI	OI	PI
I1	0,05	0,04	27	600	0,20
AG14	0,16	2,20	550	250	0,31
AG13	0,13	0,02	21	1126	0,31
AG12	0,00	0,00	0	483	0,00
AG11	0,02	0,03	25	975	0,50
AG10B	0,05	0,05	50	975	0,60
AG10A	0,08	0,25	43	171	0,63
AG9	0,06	0,67	100	150	0,67
AG8B	0,00	0,00	0	598	0,00
AG8A	0,00	0,00	0	628	0,00
AG7	5,33	2,15	212	98	0,01
AG6	5,13	2,32	247	106	0,01
AG5	3,03	2,02	190	94	0,01
AG4	0,15	0,20	44	219	0,07
AG3	0,03	0,03	11	322	0,33
AG2	9,02	3,72	288	77	0,01
AG1	8,62	2,82	248	88	0,01

Πίνακας 2. Γεωχημικοί δείκτες βάσει των αποτελεσμάτων της ανάλυσης Rock-Eval.

# ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

**Δείκτης T<sub>max</sub>:** Οι τιμές T<sub>max</sub> που είναι μικρότερες των 400°C δεν αναγράφονται. Όλα τα υπόλοιπα δείγματα της περιοχής, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα, παρουσιάζουν τιμές μικρότερες των 435°C, και άρα υποδεικνύουν θερμικά ανώριμη οργανική ύλη.

**Δείκτης S1:** Τα δείγματα του Καστού, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.25, εμφανίζουν πολύ μικρές τιμές της κορυφής S1, μικρότερες της μονάδας και κατά συνέπεια χαρακτηρίζονται από «φτωχό» δυναμικό παραγωγής πετρελαίου. Το δείγμα AG1 παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή (S1=0,08mg/g) σε σχέση με τα υπόλοιπα αναλυθέντα δείγματα.

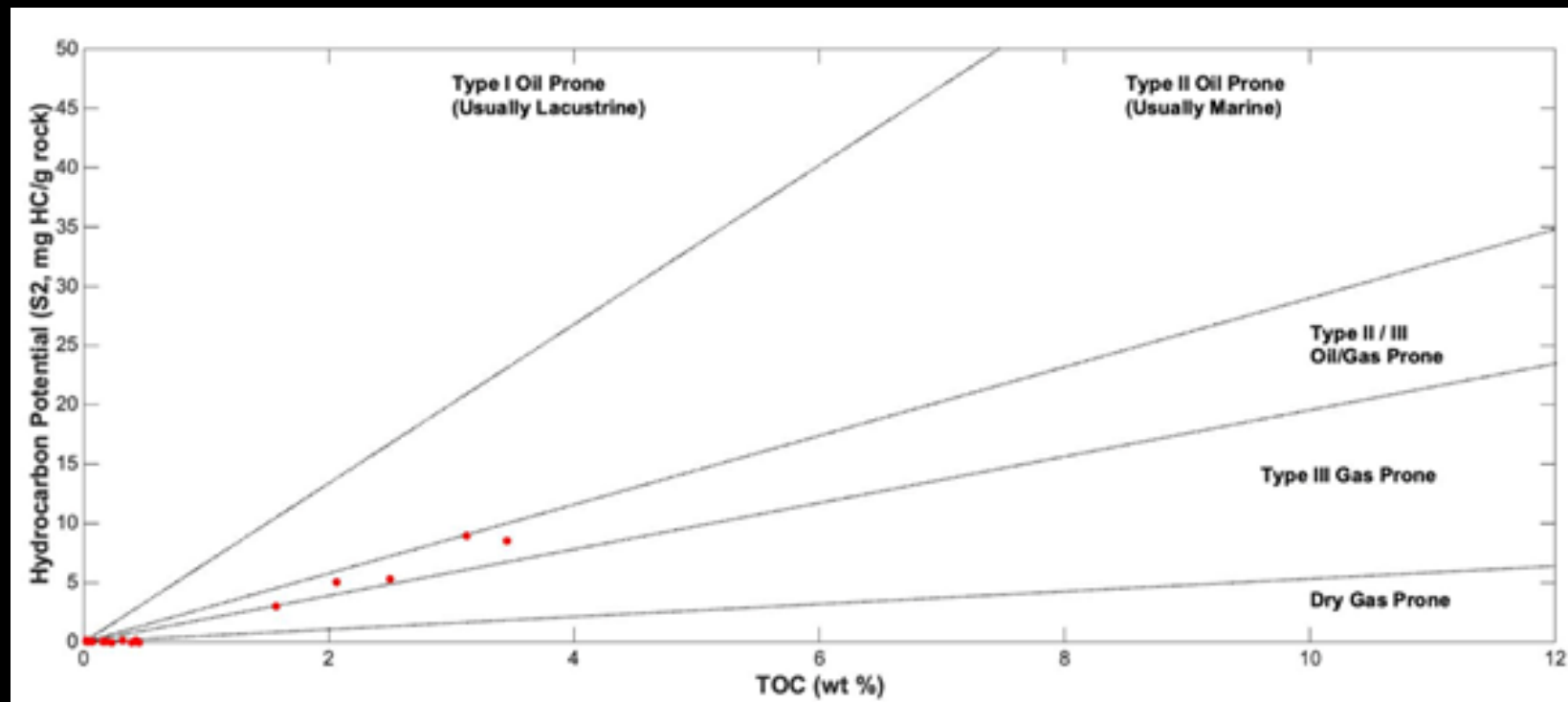
**Δείκτης S2:** Σύμφωνα με τις τιμές της κορυφής S2, φαίνεται πως τα δείγματα AG1 και AG2 παρουσιάζουν ικανοποιητικές τιμές (5-10 mg/g) και υποδεικνύουν «καλό» δυναμικό παραγωγής πετρελαίου. Ακολουθούν τα δείγματα AG5, AG6 και AG7 με «μέτριο» δυναμικό παραγωγής, ενώ τα υπόλοιπα εμφανίζουν σχεδόν μηδενικές τιμές και χαρακτηρίζονται «φτωχά».

**Δείκτης S3:** Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 6.27, τα περισσότερα δείγματα έχουν μέσες τιμές της κορυφής S3, με εξαίρεση το δείγμα AG13 το οποίο εμφανίζει μεγαλύτερη περιεκτικότητα οξυγόνου στο κηρογόνο και υποδεικνύει την ενδεχόμενη συνεισφορά οργανικού υλικού χερσαίας προέλευσης.

**Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC):** Σύμφωνα με τις τιμές του συνολικού οργανικού άνθρακα, παρατηρούνται διακυμάνσεις από σχεδόν μηδενικές τιμές (δείγμα AG9:TOC=0,02) έως και ικανοποιητικά μεγάλες τιμές (δείγμα AG1: TOC=3,45). Τα δείγματα AG1, AG2 και AG7 παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές και σηματοδοτούν «πολύ καλό» πετρελαϊκό δυναμικό. Ακολουθούν τα δείγματα AG5, AG6 με «καλό» πετρελαϊκό δυναμικό, ενώ όλες οι υπόλοιπες τιμές των δειγμάτων αντιστοιχούν σε «φτωχό» δυναμικό παραγωγής πετρελαίου.

# ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

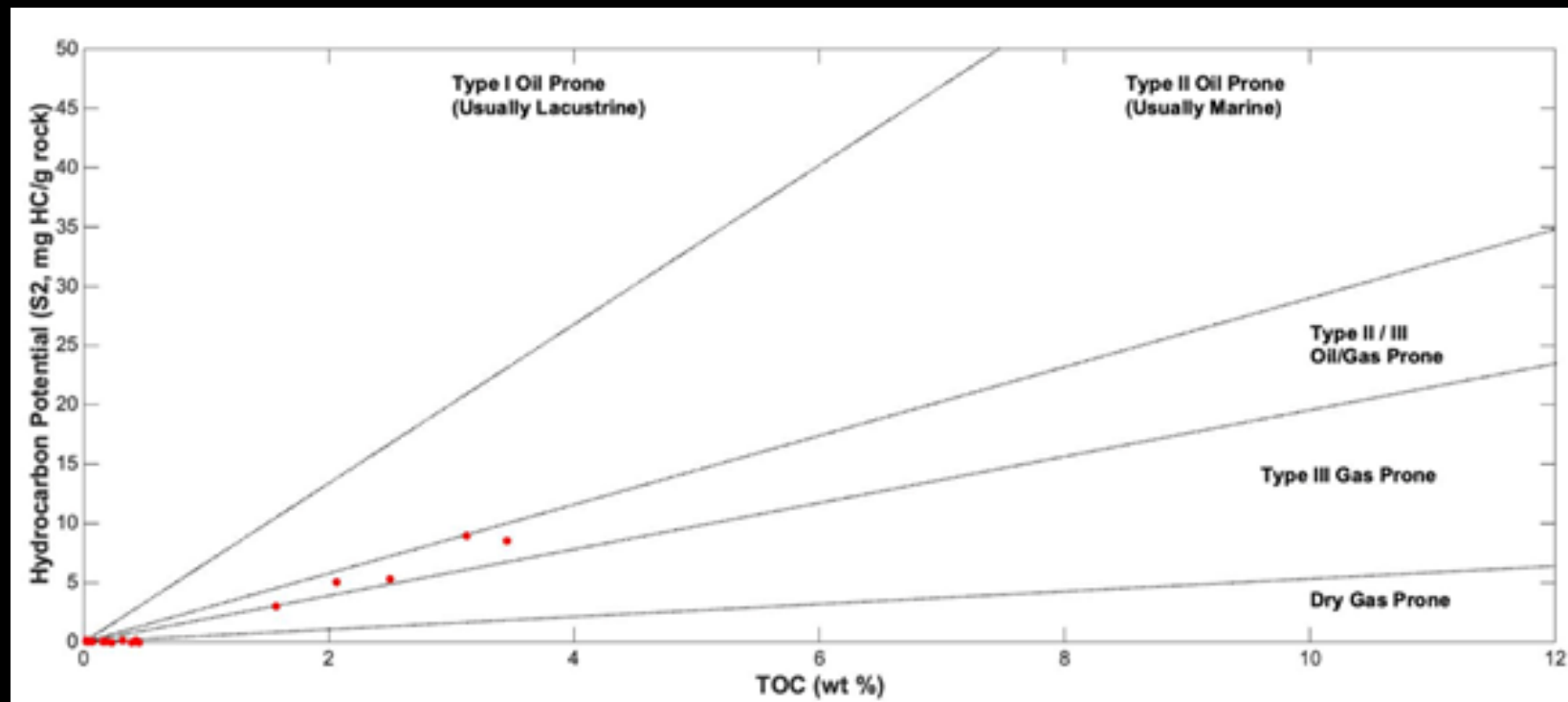
Διάγραμμα S2-TOC: Χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό του τύπου κηρογόνου των μητρικών πετρωμάτων. Σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα, κάποια δείγματα έχουν «μέτριο» έως «καλό» πετρελαϊκό δυναμικό και όπως φαίνεται περιέχουν κηρογόνο τύπου II/III όπου μπορούν να παράγουν υγρούς και αέριους υδρογονάνθρακες, ενώ άλλα παρουσιάζουν πολύ μικρές τιμές και των δύο δεικτών και χαρακτηρίζονται από κηρογόνο για παραγωγή ξηρού αερίου.



Εικόνα 8. Διάγραμμα S2-TOC και χαρακτηρισμός κηρογόνου των δειγμάτων πετρωμάτων

# ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα S2-TOC: Χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό του τύπου κηρογόνου των μητρικών πετρωμάτων. Σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα, κάποια δείγματα έχουν «μέτριο» έως «καλό» πετρελαϊκό δυναμικό και όπως φαίνεται περιέχουν κηρογόνο τύπου II/III όπου μπορούν να παράγουν υγρούς και αέριους υδρογονάνθρακες, ενώ άλλα παρουσιάζουν πολύ μικρές τιμές και των δύο δεικτών και χαρακτηρίζονται από κηρογόνο για παραγωγή ξηρού αερίου.



Εικόνα 8. Διάγραμμα S2-TOC και χαρακτηρισμός κηρογόνου των δειγμάτων πετρωμάτων