



# Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



## “Energy resources: Technologies & Management”

“Τεχνολογίες αναζήτησης κοιτασμάτων  
άνθρακα”

**Δρ. Γεώργιος Σκόδρας**  
**Αν. Καθηγητής**



# Τεχνολογίες αναζήτησης κοιτασμάτων άνθρακα



- **Γεωτρήσεις έρευνας ανθράκων**
- **Γεωφυσικές μέθοδοι έρευνας ανθράκων**
- **Κοιτασματολογία ανθράκων**



## ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΑΝΘΡΑΚΩΝ

Οι κύριοι στόχοι του εντοπισμού κοιτασμάτων ανθράκων είναι

- Ο προσδιορισμός της θέσης των κοιτασμάτων
- Η έκταση των κοιτασμάτων
- Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των κοιτασμάτων
- Η εξακρίβωση των γεωλογικών παραγόντων που επηρεάζουν την ανάπτυξη του ορυχείου



## ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΑΝΘΡΑΚΩΝ

Η ανάλυση προγενέστερων δεδομένων (από παλιότερες έρευνες) και η διεξαγωγή χαρτογραφήσεων, δειγματοληψιών, γεωτρητικών και γεωφυσικών ερευνών κρίνονται απαραίτητες.

Εφόσον εντοπιστούν επαρκείς ποσότητες άνθρακα της επιθυμητής ποιότητας, η γεωλογική έρευνα επικεντρώνεται **στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη του ορυχείου**. Για το σκοπό αυτό διεξάγονται επιπλέον δειγματοληψίες και γεωτρήσεις. Δηλαδή, η γεωλογική έρευνα εξελίσσεται σταδιακά και χωρίς διακοπή από την ανίχνευση και τον εντοπισμό των κοιτασμάτων μέχρι την ανάπτυξη των ορυχείων.





## Έρευνα πεδίου

Η έρευνα πεδίου παίζει σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό επιφανειακών εμφανίσεων των κοιτασμάτων ανθράκων και στη σχεδίαση του προγράμματος γεωτρητικής έρευνας.

Το πρώτο στάδιο της διεξαγωγής μιας γεωλογικής έρευνας είναι **η συλλογή όλων των υπαρχόντων στοιχείων** (παλαιούς χάρτες, δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά, τελικές αναφορές, αεροφωτογραφίες, δορυφορικές απεικονίσεις, κλπ). Η ύπαρξη των στοιχείων αυτών διευκολύνει την αποτύπωση της τοπογραφίας, και της στρωματογραφίας των πετρωμάτων της περιοχής, τον εντοπισμό θέσεων υδροληψίας και των οδών πρόσβασης στους χώρους όπου θα διεξαχθεί η περαιτέρω έρευνα.



## Έρευνα πεδίου

Εκτός της συλλογής στοιχείων θα πρέπει να συλλεχθούν και να αξιολογηθούν **στοιχεία προγενέστερων ερευνών** αναζήτησης και εκμετάλλευσης κοιτασμάτων της υπό εξέταση περιοχής, ειδικά σε ότι αφορά στην ποιότητα του άνθρακα και το μέγεθος των αποθεμάτων.

Ο τρόπος διεξαγωγής της έρευνας πεδίου προσαρμόζεται πάντα στις **συνθήκες της υπό εξέταση περιοχής**. Για παράδειγμα, στα τροπικά δάση οι έρευνες πεδίου διεξάγονται κατά μήκος ποταμών είτε με πεζοπόρες ομάδες εργασίας είτε εν πλω. Σε περιοχές με μορφολογία ελληνικών τοπίων, η έρευνα πεδίου επικεντρώνεται σε εμφανίσεις ανθράκων σε τομές πετρωμάτων που διανοίχτηκαν κατά την κατασκευή δρόμων και αγροτικών έργων. Σε ορεινές περιοχές με περιορισμένη προσπελασιμότητα τέτοιου τύπου έρευνες γίνονται από ελικόπτερο.



## Χαρτογράφηση

Η χαρτογράφηση επιφανειακών εμφανίσεων ανθράκων θεωρείται επιβεβλημένη σε περιοχές όπου, λόγω διαβρώσεων, πτυχώσεων ή ρηγματώσεων, οι στρώσεις άνθρακα έχουν φτάσει μέχρι την επιφάνεια του εδάφους. Οποσδήποτε, η χαρτογράφηση είναι γενικότερα χρήσιμη σε κάθε ανθρακοφόρο περιοχή αφού δίνει ένα αξιόπιστο τοπογραφικό υπόβαθρο.

Η **επιλογή της κλίμακας των χαρτών** που θα σχεδιαστούν είναι σημαντικός παράγοντας. Βασικοί χάρτες κλίμακας 1:20.000 και 1:50.000 επαρκούν μόνο για τις βασικές διαπιστώσεις. Για τον προσδιορισμό των θέσεων δειγματοληψίας καθώς και των θέσεων όρυξης των ερευνητικών γεωτρήσεων είναι αναγκαία η σχεδίαση χαρτών κλίμακας 1:10.000. Για τη λειτουργία των ορυχείων χρησιμοποιούνται ακόμη πιο λεπτομερείς χάρτες κλίμακας 1:5.000 και 1:2.000. Η επαλήθευση όλων των παραπάνω χαρτών γίνεται συνήθως με αεροφωτογραφίες.



## Χαρτογράφηση

Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την χαρτογράφηση περιλαμβάνει:

- ✓ παλαιότερους γεωλογικούς και τοπογραφικούς χάρτες,
- ✓ τοπογραφικά σχέδια,
- ✓ αεροφωτογραφίες,
- ✓ στερεοσκόπιο, πυξίδα, κλισίμετρο, GPS κλπ
- ✓ δελτία καταγραφής στοιχείων ή φορητό H/Y για την απευθείας εισαγωγή στοιχείων σε ηλεκτρονική μορφή,
- ✓ γεωλογικό σφυρί, φτυάρια, σουγιάδες, μεγεθυντικό φακό
- ✓ σακούλες φύλαξης δειγμάτων,
- ✓ φωτογραφικές μηχανές, βιντεοκάμερες, κλπ.



## Χαρτογράφηση

Ο γεωλογικός χάρτης που θα σχεδιαστεί, μετά το τέλος της έρευνας πεδίου, πρέπει να περιέχει τα παρακάτω στοιχεία:

- ❑ θέση και όρια των εμφανίσεων άνθρακα και της ανθρακοφόρου ιζηματογενούς στοιβάδας
- ❑ μακροσκοπικός χαρακτηρισμός των εμφανίσεων άνθρακα (γυαλιστερός ή θαμπός – η φωτεινότητα του άνθρακα είναι ένας πρώτος δείκτης της περιεκτικότητάς του σε ανόργανη ύλη)
- ❑ θέση και εξάπλωση λοιπών ιζηματογενών πετρωμάτων
- ❑ θέση και εξάπλωση διεισδύσεων εκρηξιγενών πετρωμάτων του υποβάθρου





## Χαρτογράφηση

Ο γεωλογικός χάρτης που θα σχεδιαστεί, μετά το τέλος της έρευνας πεδίου, πρέπει να περιέχει τα παρακάτω στοιχεία:

- τύπος, θέση, διεύθυνση και κλίση ρηγμάτων και πτυχώσεων
- θέσεις γεωτρήσεων
- θέσεις δειγματοληψίας
- θέσεις εύρεσης απολιθωμάτων
- τοπογραφικά στοιχεία: βουνά, λόφοι, λίμνες ποτάμια, κλπ.
- ανθρωπογενείς δραστηριότητες: ορυχεία και στοές, κτίσματα, δρόμοι, γέφυρες, κλπ.



## Χαρτογράφηση

Εκτός από την περιγραφή των κοιτασμάτων άνθρακα, πολλές φορές και η περιγραφή των σχηματισμών που βρίσκονται σε επαφή με τα κοιτάσματα, τόσο στο πάνω και κάτω άκρο της κάθε στρώσης άνθρακα είναι χρήσιμη για γεωτεχνικούς αλλά και μεταλλευτικούς λόγους. Γενικά, η περιγραφή μιας αλληλουχίας ιζημάτων που περικλείει ανθρακικά στρώματα πρέπει να περιέχει:

- τον τύπο των στρωμάτων που εφάπτονται κάθε στρώσης άνθρακα (π.χ. πυλοί, ψαμμίτες, μάργες, κλπ)
- τη μορφή της επιφάνειας επαφής των ιζημάτων (π.χ. επίπεδη, συνεχής)
- το βαθμό αποσάθρωσης των ελεύθερων επιφανειών των πετρωμάτων
- την θέση και διάταξη ρηγμάτων, πτυχώσεων και στρωματογραφικών ανωμαλιών, κλπ





## Όρυξη γεωτρήσεων

Εφόσον η έρευνα πεδίου έχει ολοκληρωθεί και τα πρώτα ευρήματα οδηγούν στην ύπαρξη ενός οικονομικά εκμεταλλεύσιμου κοιτάσματος γαιάνθρακα, το επόμενο στάδιο αφορά την **όρυξη γεωτρήσεων**.

Η **επιλογή των θέσεων που θα ορυχτούν οι γεωτρήσεις** γίνεται με στόχο τη συμπλήρωση στοιχείων σε περιοχές μεταξύ των σημείων που έγιναν οι επιφανειακές παρατηρήσεις, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η εκτίμηση της εξάπλωσης του κοιτάσματος στο σύνολο της υπό εξέταση περιοχής.



## Όρυξη γεωτρήσεων

Κατά τη διάρκεια της όρυξης θα πρέπει να καταγράφονται όλα τα στοιχεία και οι παρατηρήσεις (από το υπεύθυνο τεχνικό προσωπικό) για την παροχή πλήρους πληροφόρησης στο επιστημονικό προσωπικό που θα εκτιμήσει το κοίτασμα. Μεταξύ των στοιχείων αυτών, βασικότερα θεωρούνται τα ακόλουθα

- ✓ συντεταγμένες γεώτρησης
- ✓ περιγραφή του χώρου
- ✓ μέθοδος / εξοπλισμός όρυξης
- ✓ διάμετρος γεώτρησης και μεγέθη σωληνώσεων σε συνάρτηση με το βάθος
- ✓ απώλειες ρευστού γεώτρησης σε συνάρτηση με το βάθος
- ✓ μήκος πυρήνα που ανακτήθηκε σε συνάρτηση με το βάθος
- ✓ ποσότητα υπογείων νερών, κλπ



## Όρυξη γεωτρήσεων

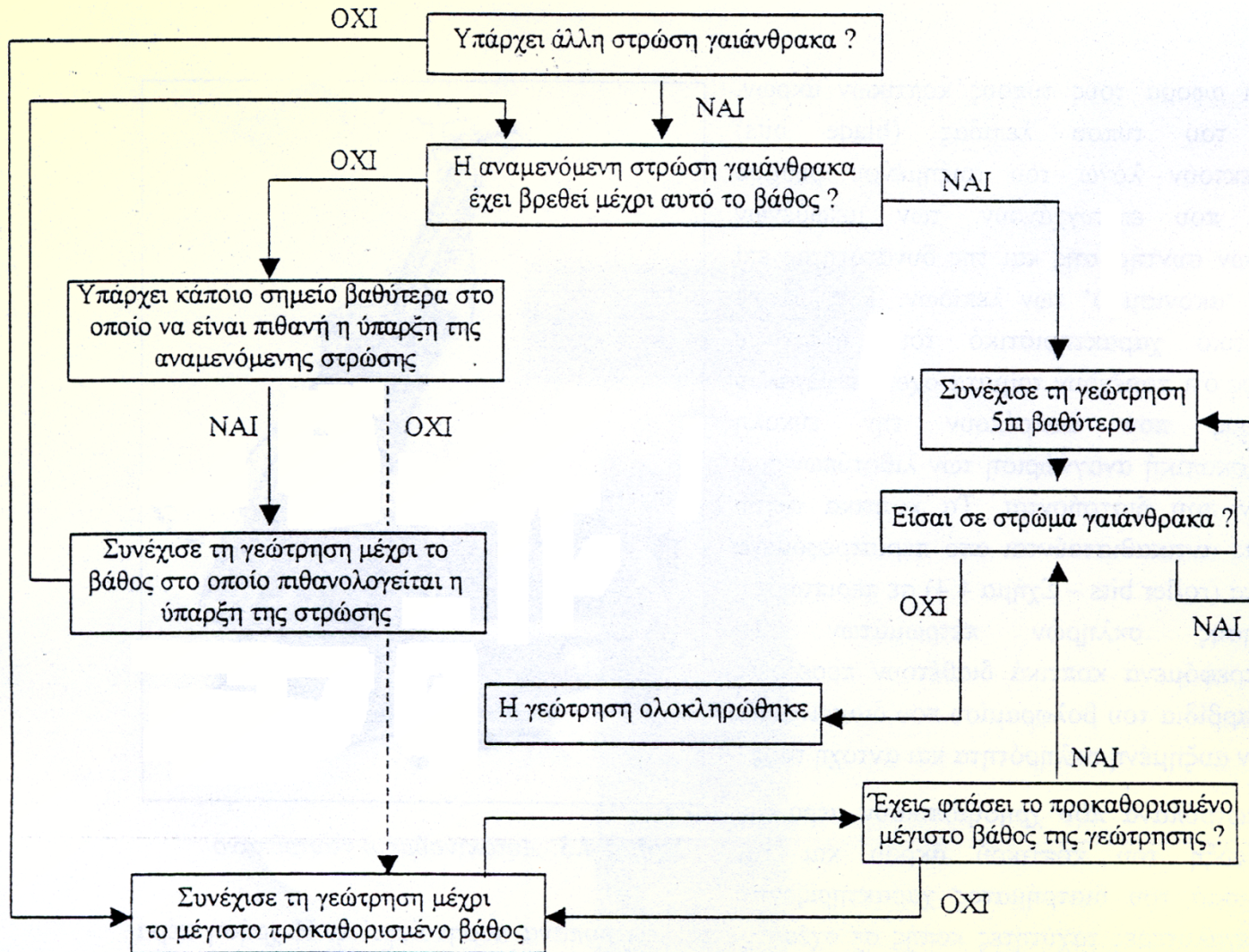
Οι γεωτρήσεις έρευνας γίνονται για τον προσδιορισμό του βάθους, του πάχους και της ποιότητας κάθε στρώσης άνθρακα σε συγκεκριμένο σημείο του κοιτάσματος κατά την οριζόντια εξάπλωση, καθώς και για να συλλεγούν πληροφορίες για τη στρωματογραφία ολόκληρης της σειράς ιζημάτων που φιλοξενούν τον άνθρακα.

Είναι συνήθως κατακόρυφες (εκτός από κάποιες περιπτώσεις υπόγειων ορυχείων) και γίνονται με περιστροφικά γεωτρύπανα (rotary rigs), αδαμαντοτρύπανα (diamond drill rigs) ή φορητά διατρητικά συστήματα (μπορούν να διαλυθούν σχετικά γρήγορα και να μεταφερθούν εύκολα σε δύσβατες περιοχές).





## Έλεγχος βάθους γεώτρησης



Για να είναι βέβαιο ότι η γεώτρηση έχει φτάσει σε βάθος κάτω από το οποίο δεν αναμένεται άλλη στρώση άνθρακα, πρέπει να εφαρμόζεται η διαδικασία που περιγράφεται στο λογικό διάγραμμα.



## Μακροσκοπική αναγνώριση πυρήνων

Η λεπτομερής **αξιολόγηση των πυρήνων** είναι το τμήμα της έρευνας που δίνει την πολυτιμότερη πληροφόρηση για την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης.

Η αξιολόγηση των πυρήνων επικεντρώνεται κυρίως στη στιβάδα των ιζημάτων που περικλείουν τα ανθρακικά στρώματα καθώς και στα ιζήματα που εφάπτονται στο πάνω και κάτω μέρος της στιβάδας αυτής.

Η διαδικασία αξιολόγησης εκτελείται συνήθως σε στεγασμένους χώρους που διαθέτουν πάγκους για την τοποθέτηση των κιβωτίων πυρηνοληψίας. Στους ίδιους χώρους πραγματοποιείται και η αποθήκευση των πυρήνων που έχουν ήδη ή αναμένεται να αξιολογηθούν, έτσι ώστε να προφυλάσσονται από τις καιρικές συνθήκες και από κάθε άλλο παράγοντα αλλοίωσης.



## Προσδιορισμός γεωτεχνικών χαρακτηριστικών

Ο καθορισμός των γεωτεχνικών ιδιοτήτων των ιζημάτων που πρόκειται να εκσκαφτούν κατά τη διάνοιξη ενός ορυχείου **διεξάγεται σε δείγματα** που προέρχονται από επιφανειακές εμφανίσεις των πετρωμάτων, από δοκιμαστικές εκσκαφές ή συνηθέστερα από πυρήνες γεωτρήσεων.

Η διαδικασία αυτή αποτελεί σημαντικό μέρος μιας κοιτασματολογικής έρευνας, προκειμένου να επιλεγεί η ασφαλέστερη μέθοδος διάνοιξης του ορυχείου και να προσδιοριστούν κάποιες ποιοτικές παράμετροι του παραγόμενου άνθρακα που επηρεάζουν την εμπορευσιμότητά του.





## Προσδιορισμός γεωτεχνικών χαρακτηριστικών

Η περιγραφή των δειγμάτων περιλαμβάνει τα εξής:

- Λιθότυπος
- Αντοχή (strength)
- Βαθμός διάβρωσης (weathering)
- Υφή (texture) και δομή (structure)
- Χρώμα
- Κοκκομετρία
- Άλλες ιδιότητες





## ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ ΑΝΘΡΑΚΩΝ

Σε έρευνες μεγάλης κλίμακας εφαρμόζονται συνήθως **μέθοδοι βαρυτομετρίας, βαθέων σεισμικών κυμάτων και αερομαγνητομετρίας** για τον προσδιορισμό των βασικών δομικών χαρακτηριστικών των υπό διερεύνηση ιζηματογενών λεκανών. Σε έρευνες μικρότερης κλίμακας και για τη λεπτομερέστερη περιγραφή των κοιτασμάτων εφαρμόζονται **μέθοδοι μετάδοσης αβαθών σεισμικών κυμάτων, βαρυτομετρίας, μαγνητομετρίας εδάφους και μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης.**

Γενικά, η χρήση γεωφυσικών μεθόδων αυξάνει τον προϋπολογισμό της κοιτασματολογικής έρευνας. Γι' αυτό, κάθε απόφαση που αφορά την εκτέλεση τέτοιων μετρήσεων πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα πλεονεκτήματα που απορρέουν σε αντιδιαστολή με την πιθανή μείωση του συνολικού αριθμού γεωτρήσεων που θα ορυχτούν προκειμένου να ισοσκελιστεί η αύξηση του κόστους.



## Φυσικές ιδιότητες των ανθρακοφόρων στρωμάτων

Ο άνθρακας ανταποκρίνεται καλά στις περισσότερες γεωφυσικές μεθόδους αφού οι φυσικές του ιδιότητες (πυκνότητα, ταχύτητα σεισμικών κυμάτων, συντελεστής ανάκλασης σεισμικών κυμάτων, μαγνητική επιδεκτικότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα και ραδιομετρικές ιδιότητες) διαφέρουν από εκείνες των υπόλοιπων πετρωμάτων εντός των ιζημάτων της ανθρακοφόρου στιβάδας.

Γενικά, ο άνθρακας σε σύγκριση με τα μη ανθρακικά στρώματα που τον περιβάλλουν διακρίνεται

- για τη χαμηλότερη πυκνότητά του,
- τη χαμηλότερη ταχύτητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων,
- τη χαμηλότερη μαγνητική επιδεκτικότητα,
- την υψηλότερη ηλεκτρική αντίσταση και
- τη χαμηλή εκπομπή φυσικής ραδιενέργειας.



## Πυκνότητα

Οι **μετρήσεις πυκνότητας** των πετρωμάτων συνήθως γίνονται στο εργαστήριο, πάνω σε δείγματα που έχουν συλλεγεί είτε από επιφανειακές εμφανίσεις των πετρωμάτων είτε από γεωτρήσεις με πυρηνοληψία. Δείγματα αυτού του τύπου σπάνια δίνουν την πραγματική πυκνότητα του πετρώματος αφού είναι σε μεγάλο ή μικρό βαθμό αποσαθρωμένα ή ξηραμένα.

## Μαγνητική επιδεκτικότητα

Η **μαγνητική επιδεκτικότητα** των πετρωμάτων εξαρτάται κύρια από την περιεκτικότητά τους σε μαγνητίτη και από το βαθμό αποσάθρωσής τους αφού η τελευταία συντελεί στην οξείδωση του μαγνητίτη προς αιματίτη.

## Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Οι έρευνες κοιτασμάτων ανθράκων με την εφαρμογή ηλεκτρικών μεθόδων έχουν στόχο τον εντοπισμό φαινομένων επιφάνειας κατά τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος εντός του υπεδάφους. Η σημαντικότερη φυσική ιδιότητα για τον εντοπισμό των στρώσεων άνθρακα είναι η **ηλεκτρική αγωγιμότητα** ή, διαφορετικά, το αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης, εκφρασμένο σε  $\Omega\text{m}$ .





# Τεχνολογίες αναζήτησης κοιτασμάτων άνθρακα



## Σημαντικότερες ιδιότητες πετρωμάτων που εξετάζονται στις γεωφυσικές έρευνες

Λιθολογία	Πυκνότητα (μη ξηραμένο)  (g/cm <sup>3</sup> )		Ταχύτητα σεισμικών κυμάτων (km/s)	Μαγνητική επιδεκτικότητα  (x10 μονάδες SI)		Ηλεκτρική αντίσταση  (Ωm)
	Εύρος	Μέση τιμή		Εύρος	Μέση τιμή	
Ψαμμίτης	1,61-2,76	2,35	3,6	0-20	0,4	1-6,4x10 <sup>8</sup>
Σχιστόλιθος	1,77-3,20	2,40	2,8	0,01-15	0,6	20-2x10 <sup>3</sup>
Ασβεστόλιθος	1,93-2,90	2,55	5,5	0-3	0,3	50-1x10 <sup>7</sup>
Λιγνίτης	1,10-1,25	1,19				9-200
Βιτουμενιούχος γαιάνθρακας	1,20-1,80	1,32	1,8-2,8		0,02	0,6-1x10 <sup>5</sup>
Ανθρακίτης	1,34-1,80	1,50				1x10 <sup>3</sup> -2x10 <sup>5</sup>
Όξινα πυριγενή πετρώματα	2,30-3,11	2,61	4,0-5,5	0-80	8,0	4,5x10 <sup>3</sup> (υγρός γρανίτης) 1,3x10 <sup>6</sup> (ξηρός γρανίτης)
Βασικά πυριγενή πετρώματα	2,09-3,17	2,79	4,0-7,0	0,5-100	25,0	20-5x10 <sup>7</sup> (δολερίτης)
Μεταμορφωμένα πετρώματα	2,40-3,10	2,74	5,0-7,0	0-70	4,2	20-1x10 <sup>4</sup> (σχιστόλιθος)



## Σημαντικότερες ιδιότητες πετρωμάτων που εξετάζονται στις γεωφυσικές έρευνες

Τόσο οι άνθρακες με χαμηλό βαθμό ενανθράκωσης, όσο και αυτοί με υψηλό βαθμό ενανθράκωσης έχουν **χαμηλότερη πυκνότητα σε σχέση με τα ιζήματα που τους περιβάλλουν**. Οι πυκνότητες αυτές για μεν τους άνθρακες κυμαίνονται από 1,1 ως 1,8 g/cm<sup>3</sup>, για δε τα περιβάλλοντα πετρώματα από 1,6 ως 2,9 g/cm<sup>3</sup> τα οποία με τη σειρά τους έχουν χαμηλότερη πυκνότητα από τα μεταμορφωμένα και τα πυριγενή πετρώματα .



# Τεχνολογίες αναζήτησης κοιτασμάτων άνθρακα



## Σημαντικότερες ιδιότητες πετρωμάτων που εξετάζονται στις γεωφυσικές έρευνες

Η **ταχύτητα μετάδοσης των σεισμικών κυμάτων** εντός της μάζας ενός στρώματος γαιάνθρακα είναι της τάξης των 1,8-2,8 km/s. Στο ίδιο περίπου εύρος κυμαίνονται και οι ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων που μεταδίδονται μέσα σε σχιστολιθικά πετρώματα, ενώ στους ψαμμίτες οι ταχύτητες είναι γενικά μεγαλύτερες και αυξάνονται περαιτέρω καθώς η περιεκτικότητα σε χαλαζία αυξάνει.

Τα βασικά πυριγενή πετρώματα παρουσιάζουν υψηλές τιμές **μαγνητικής επιδεκτικότητας** ενώ τα ιζηματογενή πετρώματα παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές. Τα στρώματα άνθρακα είναι αυτά που παρουσιάζουν συνήθως τις χαμηλότερες τιμές.



## Σημαντικότερες ιδιότητες πετρωμάτων που εξετάζονται στις γεωφυσικές έρευνες

Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις των περισσότερων πετρωμάτων (κακοί αγωγοί) αναμένεται να είναι πολύ μεγάλες, παρά το ότι εντός του πορώδους τους περιέχουν μικρότερες ή μεγαλύτερες ποσότητες ρευστών, κυρίως νερού (καλός αγωγός).

**Η αγωγιμότητα** ενός πορώδους πετρώματος μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τον όγκο που καταλαμβάνουν οι πόροι, την διάταξη των πόρων και την περιεκτικότητα νερού εντός των πόρων, ενώ επηρεάζεται σημαντικά από την περιεκτικότητα του ρευστού των πόρων σε διαλυμένα χλωριούχα και θειικά.





## Γεωφυσικές μέθοδοι επιφάνειας

Κατά την ανίχνευση ανθρακικών σχηματισμών, ο εντοπισμός των ορίων ιζηματογενών λεκανών μπορεί να γίνει με διαφορετικές μεθόδους

- Σεισμικές μέθοδοι
- Μέθοδοι βαρύτητας
- Μαγνητικές μέθοδοι
- Ηλεκτρικές μέθοδοι

Η εφαρμογή αυτών των μεθόδων αποτελεί ουσιαστικά μια επιχείρηση μεγάλης κλίμακας που απαιτεί τη χρήση σύνθετου εξοπλισμού και υψηλού κόστους.



## Σεισμικές μέθοδοι

Η έρευνα αυτή περιορίζονται συνήθως στο ανώτερο 1,5 km της επιφάνειας της γης. Το περιορισμένο βάθος σε συνδυασμό με την ανάγκη εντοπισμού στρώσεων άνθρακα πολύ μικρού πάχους καθιστά αναγκαία τη δημιουργία σεισμικών προφίλ υψηλής ακρίβειας.

Κοινό χαρακτηριστικό των σεισμικών μεθόδων αποτελεί η ικανότητα των συστημάτων καταγραφής των σεισμικών σημάτων να λαμβάνουν ανακλάσεις πολύ υψηλής συχνότητας.

- Μέθοδος ανάκλασης σεισμικών κυμάτων
- Μέθοδος διάθλασης σεισμικών κυμάτων



## Μέθοδοι ανάκλασης σεισμικών κυμάτων

Η μέθοδος της ανάκλασης σεισμικών κυμάτων βασίζεται στην **εκπομπή ενός ακουστικού σήματος ή ενός σεισμικού κύματος που παράγεται από μια έκρηξη ή άλλη πηγή παλμών** που έχει τοποθετηθεί σε ορισμένο σημείο εντός του εδάφους και εν συνεχεία στη διάδοση του σήματος αυτού διαμέσου της μάζας του υπεδάφους. Η ταχύτητα με την οποία αυτό το σήμα ταξιδεύει εξαρτάται από τον τύπο του πετρώματος.

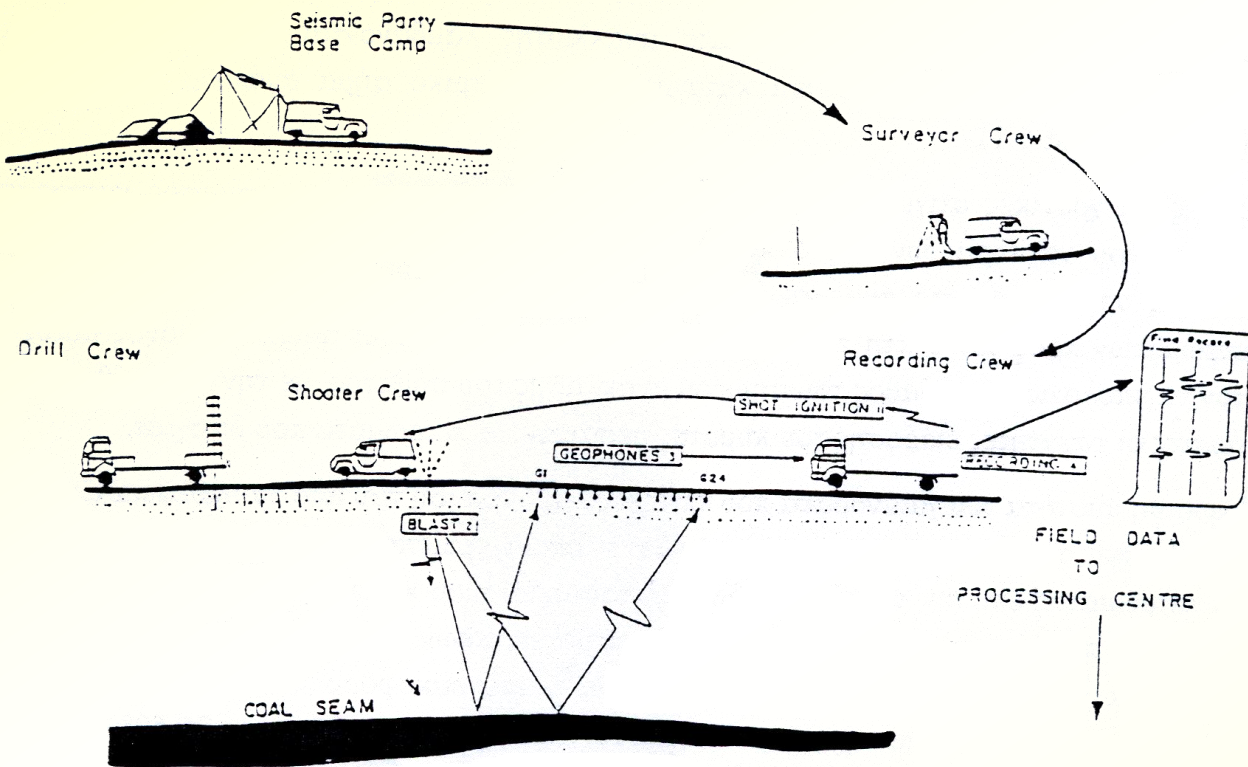
Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες πηγές σεισμικών κυμάτων είναι:

**Οι εκρήξεις:** με την εκτόνωση κάποιας εκρηκτικής ύλης (δυναμίτιδα) παράγεται σεισμικό σήμα υψηλής ενέργειας.

**Η επαναλαμβανόμενη πτώση βαρέως αντικειμένου:** το αντικείμενο που πέφτει από ορισμένο ύψος μεταφέρεται από αυτοκινούμενο όχημα που μοιάζει με συμπιεστή γαιών. Ο παραγόμενος παλμός είναι χαμηλής ενέργειας πλεονεκτεί όμως σε σχέση με τις περιορισμένες περιβαλλοντικές οχλήσεις που προκαλεί, ειδικά αν το πεδίο έρευνας είναι κοντά σε κατοικημένες περιοχές.



## Μέθοδος ανάκλασης σεισμικών κυμάτων



Όταν τα σεισμικά κύματα φτάνουν σε μια επιφάνεια αλλαγής του τύπου του πετρώματος, λόγω της ανάκλασης και της διάθλασης που συμβαίνει παράγονται δύο νέες κυματοσειρές. Αν οι διαφορές στην ταχύτητα διάδοσης και την πυκνότητα των δύο πετρωμάτων που βρίσκονται εκατέρωθεν της επιφάνειας επαφής είναι μεγάλες τότε παράγονται ισχυρά κύματα ανάκλασης.

Τα κύματα ανάκλασης λαμβάνονται από ειδικούς δέκτες, **τα γεώφωνα**, που παράγουν και καταγράφουν ηλεκτρικό σήμα ανάλογο της έντασης του κύματος.





## Μέθοδος ανάκλασης σεισμικών κυμάτων

**Οι χρονικές στιγμές παραγωγής και λήψης (επιστροφής) του σήματος καταγράφονται ώστε να είναι δυνατός ο προσδιορισμός του χρόνου που διάρκεσε η μετάδοση του σήματος από τον πομπό προς τη διεπιφάνεια των πετρωμάτων και από τη διεπιφάνεια των πετρωμάτων προς τον δέκτη του σήματος (TWT two-way travel time). Ο χρόνος αυτός βοηθά στον να υπολογιστεί το βάθος του σημείου ανάκλασης του σήματος με την προϋπόθεση ότι είναι γνωστές οι ταχύτητες διάδοσης του κύματος μέσα από τα πετρώματα που διέσχισε.**

**Σε σεισμικές έρευνες ανθρακικών κοιτασμάτων, τα ανακλώμενα κύματα επιστρέφουν στην επιφάνεια εντός του πρώτου δευτερόλεπτου μετά την παραγωγή του σήματος. Αυτό σημαίνει ότι το μέγιστο βάθος ανάκλασης φτάνει το 1,5 km, αν θεωρηθεί ότι η μέση ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων είναι 3 km/s.**



## Μέθοδος διάθλασης σεισμικών κυμάτων

Σε μετρήσεις της διάθλασης των σεισμικών κυμάτων η ενέργεια που μεταβιβάζεται από την πηγή προς το έδαφος πρέπει να είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τις μετρήσεις της ανάκλασης. Η χρήση εκρηκτικών παραμένει η κύρια τεχνική παραγωγής παλμών παρά το ότι η μέθοδος της ρήψης βάρους εφαρμόζεται σε έρευνες χαμηλού βάθους.

Η διαφορά μεταξύ διαθλώμενων και ανακλώμενων κυμάτων έγκειται στο ότι η κύρια συνιστώσα των πρώτων μεταδίδεται κατά μήκος μιας περίπου οριζόντιας διεπιφάνειας πετρωμάτων πριν διαθλαστεί προς την επιφάνεια του εδάφους και προς τους δέκτες του σήματος που είναι τοποθετημένοι σε αυτή.



## Μέθοδοι βαρύτητας

Η ακανόνιστη κατανομή πετρωμάτων με διαφορετικές πυκνότητες στο φλοιό της γης έχει ως αποτέλεσμα τοπικές διακυμάνσεις του πεδίου βαρύτητας της Γης.

**Οι μετρήσεις βαρύτητας** γίνονται με τη χρήση ενός βαρυτόμετρου και με διαδοχικές αναγνώσεις της ένδειξής του ανά διαστήματα που μπορεί να απέχουν μεταξύ τους από 1 ως 20 km. Το μήκος αυτού του διαστήματος επιλέγεται ανάλογα με το βάθος στον οποίο αναμένεται να βρίσκεται ο γεωλογικός σχηματισμός που παρουσιάζει τη **βαρυτομετρική ανωμαλία**.

Θετική βαρυτομετρική ανωμαλία υπονοεί την ύπαρξη πετρωμάτων με υψηλή πυκνότητα ενώ αρνητική ανωμαλία υπονοεί την παρουσία μιας μεγάλου πάχους στιβάδας ιζηματογενών πετρωμάτων. Η ένταση και η μορφή αυτών των ανωμαλιών έχουν σχέση με το σχήμα, τον προσανατολισμό και το βάθος του πετρώματος που τις προκαλεί.





## Μαγνητικές μέθοδοι

Οι ανθρακοφόρες στιβάδες έχουν συγκριτικά χαμηλότερες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας σε σχέση με τα πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα. Γι' αυτό οι μαγνητικές μέθοδοι εφαρμόζονται συνήθως για να **καθορίσουν το ευρύτερο γεωλογικό υπόβαθρο** μιας ανθρακοφόρου σειράς ιζημάτων.

Δηλαδή, οι μέθοδοι αυτές δεν εντοπίζουν τα διακριτά στρώματα του άνθρακα αλλά βοηθούν στο να εντοπιστούν στιβάδες ιζημάτων που ενδέχεται να περιλαμβάνουν και στρώματα άνθρακα.



## Ηλεκτρικές μέθοδοι

**Μέθοδος της ειδικής αντίστασης του ηλεκτρισμού.** Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό τοπικών, σχετικά αβαθών ανομοιογενειών του υπεδάφους και εφαρμόζεται για τον καθορισμό των ορίων των πετρωμάτων και της θέσης ασυνεχειών και σπηλαιώσεων.

**Μέθοδος των παλμών ραντάρ.** Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό και τον υπολογισμό στύλων άνθρακα που έχουν παραμείνει σε εγκαταλειμμένα υπόγεια ορυχεία που εφάρμοζαν τη μέθοδο εξόρυξης θαλάμων και στύλων. Η ικανότητα εντοπισμού με τη μέθοδο αυτή περιορίζεται σε βάθη μικρότερα των 20 μέτρων.



## Γεωφυσικές διαγραφίες

Οι **γεωφυσικές διαγραφίες** (geophysical logging) είναι οι μετρήσεις των μεταβολών των φυσικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων με το βάθος. Πραγματοποιούνται με ειδικές γεωφυσικές συσκευές που τοποθετούνται εντός των διατρημάτων γεωτρήσεων.

Οι μετρήσεις λαμβάνονται με τη βύθιση μιας τέτοιας συσκευής, η οποία αναρτάται από ένα καλώδιο μέσα στη γεώτρηση και την σταθερή επαναφορά της προς την επιφάνεια. Οι μετρήσεις λαμβάνονται κατά την επαναφορά προς την επιφάνεια γιατί είναι ευκολότερο να κρατηθεί σταθερός ο ρυθμός κίνησης της συσκευής, γεγονός που ευνοεί την ποιότητα των συλλεγομένων στοιχείων.



## Γεωφυσικές διαγραφίες

Ο σκοπός των γεωφυσικών διαγραφιών είναι ο προσδιορισμός της λιθολογίας και των υπολοίπων ιδιοτήτων των πετρωμάτων που διαπερνά μια γεώτρηση, όπως το πορώδες, η περιεκτικότητα σε ρευστές φάσεις και η περιεκτικότητα σε τέφρα (για τα στρώματα ανθράκων).

**Τα στοιχεία των διαγραφιών θα πρέπει να συγκρίνονται με στοιχεία από την αξιολόγηση πυρήνων ή την έρευνα πεδίου** ώστε να εκτιμούνται με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια τα δεδομένα που καθορίζουν την εκμεταλλευσιμότητα ενός κοιτάσματος. Για παράδειγμα, τα στοιχεία των διαγραφιών μπορεί να φανούν χρήσιμα για τον προσδιορισμό του πάχους μιας στρώσης η οποία εντοπίστηκε κατά την αξιολόγηση των πυρήνων (το βάθος της είναι περίπου γνωστό) αλλά ο υπολογισμός του πάχους της ήταν αδύνατος λόγω σημαντικής απώλειας πυρήνα.



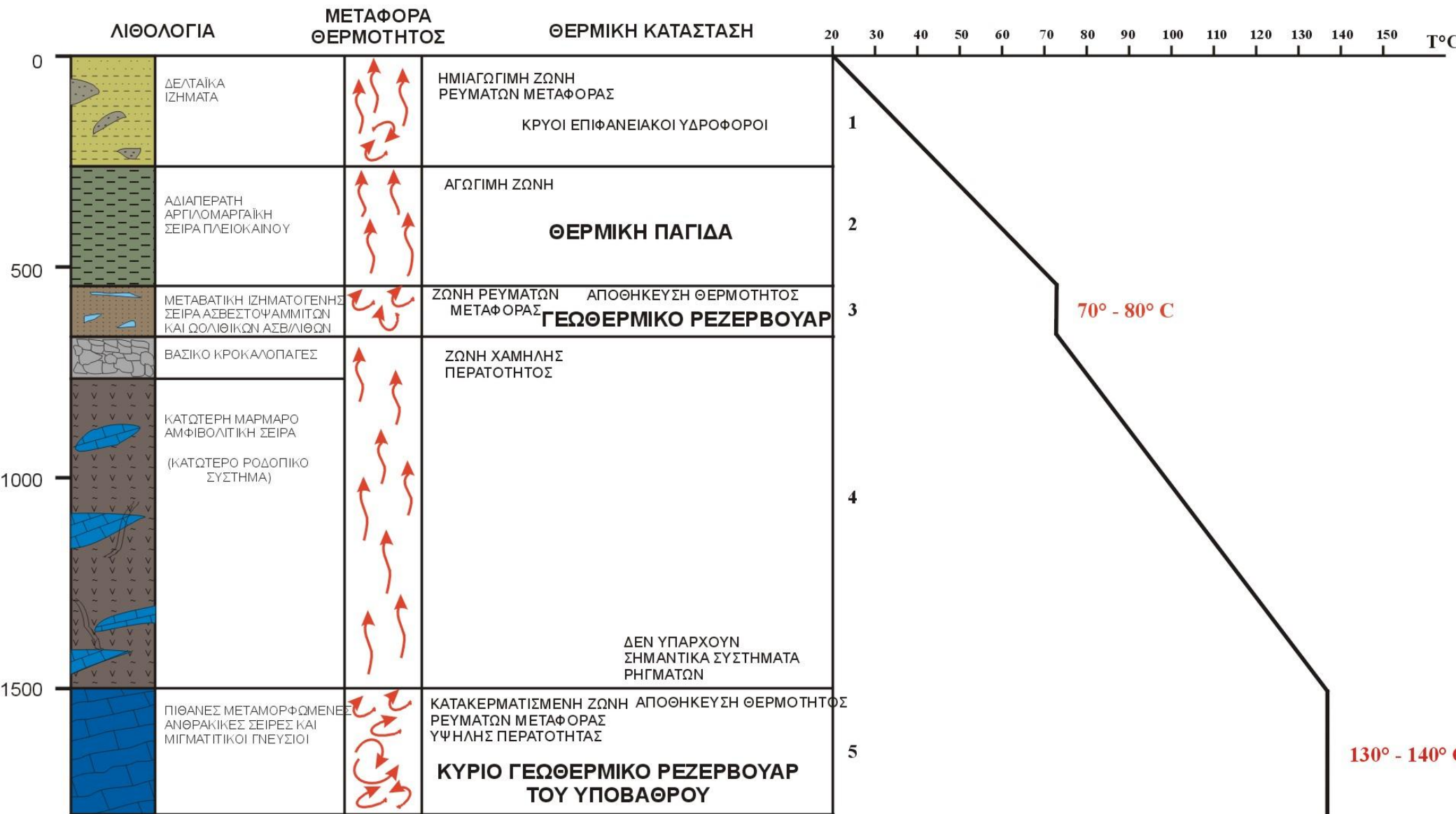
## Γεωφυσικές διαγραφίες

Οι μέθοδοι γεωφυσικών διαγραφιών που χρησιμοποιούνται συχνότερα για τον προσδιορισμό στρώσεων και στιβάδων γαιανθράκων είναι οι ακόλουθες

- Μέθοδος ακτινοβολίας  $\gamma$  (gamma ray)
- Μέθοδος πυκνότητας
- Μέθοδος νετρονίων
- Μέθοδος αντίστασης
- Ηχητική μέθοδος (sonic)



# ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΔΕΛΤΑ ΝΕΣΤΟΥ





## ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΑΝΘΡΑΚΩΝ

Η εκτίμηση της οικονομικότητας της εκμετάλλευσης ενός ανθρακικού κοιτάσματος αποτελεί το αντικείμενο της **κοιτασματολογίας ή οικονομικής γεωλογίας** (economic geology).

Μια κοιτασματολογική μελέτη ανθράκων αφορά κατ' αρχήν στον προσδιορισμό παραμέτρων που καθορίζουν **την οικονομική αξία του προς εκμετάλλευση άνθρακα**. Η αξία αυτή προσδιορίζεται από τα αποθέματα (εκμεταλλεύσιμη ποσότητα) καθώς και από μια σειρά ποιοτικών παραμέτρων που καθορίζουν το ενεργειακό περιεχόμενο (π.χ. θερμογόνο δύναμη και υγρασία) και την «φιλικότητα» τους προς το περιβάλλον (π.χ. τέφρα και θείο).



## ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΑΝΘΡΑΚΩΝ

Στην κοιτασματολογική μελέτη καταγράφονται όλα τα γεωλογικά στοιχεία που μπορεί να επηρεάσουν το κόστος

- της ασφαλούς εξόρυξης
- μεταφοράς εντός του ορυχείου,
- αποθήκευσης και επεξεργασίας του άνθρακα.

Τέτοια στοιχεία μπορεί να είναι

**Για την εξόρυξη και μεταφορά :** τα βάρη και η οριζόντια εξάπλωση των στρώσεων άνθρακα ή οι θέσεις των ρηγμάτων

**Για την αποθήκευση και επεξεργασία :** ποιοτικές παράμετροι που σχετίζονται με την πρόληψη αυταναφλέξεων και με την ανάγκη επεξεργασίας (π.χ. μερική απομάκρυνση της ανόργανης ύλης)



## Εκπόνηση μιας κοιτασματολογικής μελέτης

Τα στάδια για τη σωστή σχεδίαση και εκτέλεση μιας κοιτασματολογικής μελέτης είναι:

1. **Επιλογή των θέσεων όρυξης γεωτρήσεων έρευνας και εκτέλεσης γεωφυσικών μετρήσεων.**
2. Συγκέντρωση και αξιολόγηση προηγούμενων μελετών.
3. **Δειγματοληψίες** σε επιφανειακές εμφανίσεις των πετρωμάτων, σε υφιστάμενες εκσκαφές αλλά κυρίως **σε πυρήνες** των ερευνητικών γεωτρήσεων που διατρήθηκαν.
4. **Εργαστηριακές αναλύσεις** για τον προσδιορισμό ποιοτικών, γεωτεχνικών και υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών του κοιτάσματος.



## Εκπόνηση μιας κοιτασματολογικής μελέτης

5. Εισαγωγή των παραπάνω στοιχείων στα **φύλλα τομών των γεωτρήσεων** ή σε κατάλληλα διαμορφωμένα ηλεκτρονικά αρχεία.
6. **Συσχέτιση των δεδομένων** που αφορούν γειτονικές γεωτρήσεις και γεωφυσικές μετρήσεις προκειμένου να εκτιμηθεί ο χαρακτήρας του κοιτάσματος στο σύνολο της περιοχής που ερευνήθηκε. Η συσχέτιση αυτή επιτυγχάνεται με τη δημιουργία τομών και χαρτών ισοπαραμετρικών καμπυλών.





## Επιλογή των θέσεων όρυξης γεωτρήσεων

Οι γεωτρήσεις ορύσσονται σε θέσεις που συμπίπτουν με τις κορυφές ενός κανάβου συνήθως τετραγωνικής διατομής. Το μήκος της πλευράς του κανάβου αυτού καθορίζεται από τον απαιτούμενο βαθμό ακρίβειας στην εκτίμηση των κοιτασματολογικών παραμέτρων και από τη συχνότητα με την οποία μεταβάλλονται αυτές κατά την οριζόντια εξάπλωση του κοιτάσματος.

Το μήκος του κανάβου, το οποίο καθορίζει και τον αριθμό των γεωτρήσεων που θα ορυχτούν, αποτελεί βασικό παράγοντα που επηρεάζει το κόστος της έρευνας. Γι' αυτό πολλές φορές στα πρώτα στάδια των ερευνών οι διαστάσεις του κανάβου επιλέγονται να είναι μεγάλες και σταδιακά μικραίνουν μόνο αν τα ενδιάμεσα αποτελέσματα κριθούν ως ενθαρρυντικά (πύκνωση κανάβου).



## Δειγματοληψία πυρήνων γεωτρήσεων

Αρχικά γίνεται καθαρισμός των πυρήνων ώστε να απομακρυνθούν τα ξένα υλικά που έχουν προσκολληθεί στην εξωτερική τους επιφάνεια. Κατόπιν ο κάθε πυρήνας διχοτομείται κατά μήκος του άξονά του.

Το ένα κομμάτι από τα δύο που προκύπτουν δίνεται για εργαστηριακές αναλύσεις ενώ το άλλο φυλάσσεται σε πλαστικές σακούλες και τελικά επανατοποθετούνται μέσα στα κιβώτια πυρηνοληψίας.



## Δειματοληψία πυρήνων γεωτρήσεων

Στην περίπτωση πολυστρωματικού ανθρακικού κοιτάσματος, όπως τα κοιτάσματα των ελληνικών λιγνιτών, η δειματοληψία των ανθρακικών στρώσεων ακολουθεί κάποιους βασικούς κανόνες

- Ένα ενιαίο δείγμα λαμβάνεται για κάθε ενότητα στρώσεων ανθράκων που εφάπτονται μεταξύ τους και μακροσκοπικά εμφανίζουν ίδια χαρακτηριστικά (υγρασία, χρώμα βαθμός αποσύνθεσης)
- Το μήκος τους δείγματος δεν υπερβαίνει τα 2 μέτρα και δεν είναι μικρότερο από 10 cm.
- Εφόσον το μήκος του ανθρακικού πυρήνα είναι μεγαλύτερο από 2 μέτρα λαμβάνονται δυο διαφορετικά δείγματα.



## Εργαστηριακές αναλύσεις

Τα δείγματα που λαμβάνονται, εφαρμόζοντας τους κανόνες δειγματοληψίας, οδηγούνται σε φυσικοχημικά εργαστήρια για τη διεξαγωγή αναλύσεων.

- Χημικές αναλύσεις
- Φυσικοχημικές αναλύσεις
- Ορυκτολογική ανάλυση της τέφρας
- Ανθρακοπετρογραφική ανάλυση



## Φύλλα τομών γεωτρήσεων

Τα στοιχεία που συλλέγονται από την αναγνώριση των πυρήνων και τις εργαστηριακές αναλύσεις, καταγράφονται σε ειδικά έντυπα που είναι τα φύλλα τομών γεωτρήσεων ή σε ηλεκτρονικές βάσεις για την διευκόλυνση της επεξεργασίας και συσχέτισής τους.

Ένα τυπικό φύλλο τομής γεώτρησης περιέχει τα συλλεγόμενα στοιχεία σε στήλες:

- ❑ Στήλη απολύτων υψομέτρων (της θέσης γεώτρησης, του πέρατός της, της οροφής και του δαπέδου των σχηματισμών)
- ❑ Στήλη βάθους στρωμάτων (της οροφής και του δαπέδου των ανθρακικών στρωμάτων και των κυριότερων στρωματογραφικών οριζόντων)





## Φύλλα τομών γεωτρήσεων

Ένα τυπικό φύλλο τομής γεώτρησης περιέχει τα συλλεγόμενα στοιχεία σε στήλες:

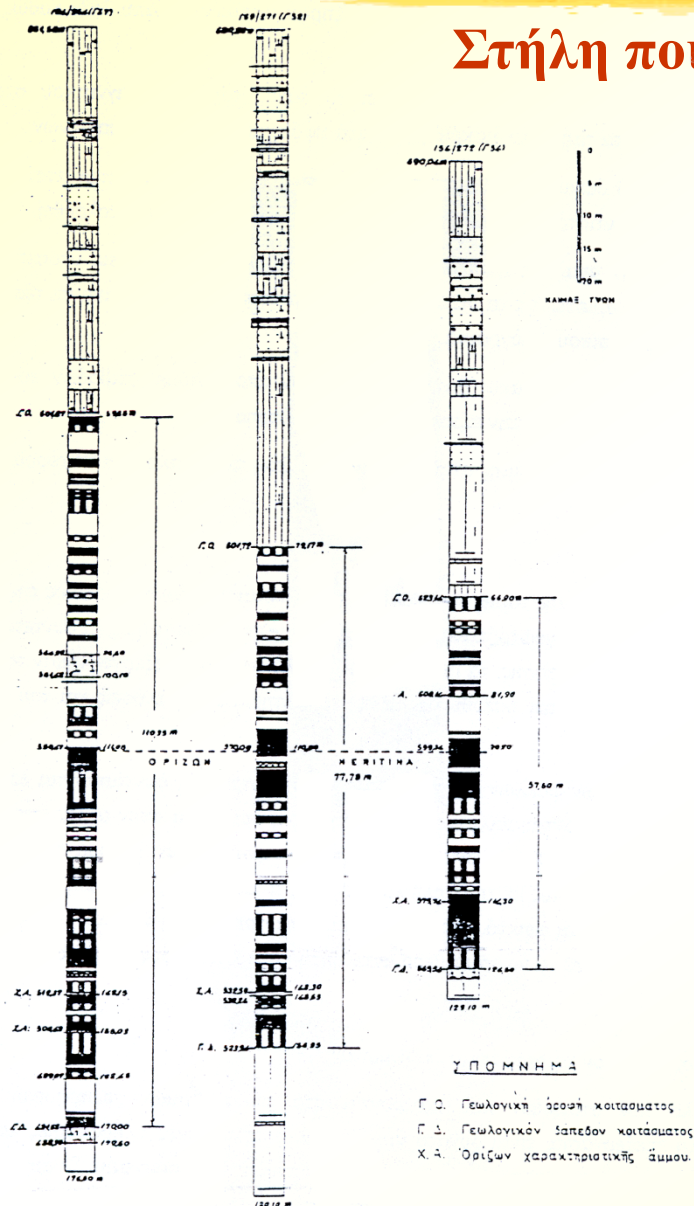
- ❑ Στήλη προχωρήσεων (το βάθος και τα διατηρηθέντα μέτρα κάθε προχώρησης-μανούβρας)
- ❑ Στήλη δειγματοληψίας (η οροφή και το δάπεδο κάθε τμήματος του πυρήνα από το οποίο λήφθηκε το δείγμα)
- ❑ Στήλη λιθολογικής τομής (παρίστανται όλοι οι διατηρηθέντες λιθολογικοί σχηματισμοί)
- ❑ Στήλη πάχους λιγνιτικών στρωμάτων
- ❑ Στήλη απολήψιμου άνθρακα (πάχος απολήψιμων στιβάδων άνθρακα)



## Στήλη ποιοτικής διάκρισης άνθρακα

Αποδίδεται με γραφικό τρόπο η κατάταξη άνθρακα σε κατηγορίες ποιότητας. Για τους ελληνικούς λιγνίτες, η κατάταξη αυτή γίνεται σε 3 κατηγορίες ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε τέφρα επί ξηρού.

Ο λιγνίτης ποιότητας Α παρίσταται σε συμπαγές μαύρο χρώμα, ο λιγνίτης ποιότητας Β με κατακόρυφες γραμμές μαύρου και άσπρου χρώματος και ο λιγνίτης ποιότητας Γ με συμπαγές γκρι χρώμα. Λιγνιτικές στρώσεις με τέφρα επί ξηρού μεγαλύτερη από 35% παρίστανται με λευκό χρώμα.





## Συσχέτιση δεδομένων

Από το σύνολο των δεδομένων που καταγράφονται στα φύλλα τομών γεωτρήσεων και που παρέχουν όλες τις πληροφορίες για τη λήψη απόφασης σχετικά με τη σκοπιμότητα ανάπτυξης ενός ορυχείου, το σημαντικότερο κρίνεται η εκτίμηση των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων άνθρακα.

Βασική προϋπόθεση του υπολογισμού των αποθεμάτων άνθρακα είναι ο καθορισμός προδιαγραφών του απολήψιμου άνθρακα.



## Προδιαγραφές απολήψιμου άνθρακα

Ο απολήψιμος άνθρακας περιλαμβάνει τα ανθρακικά στρώματα που μπορούν να διαχωριστούν από το άγονο υλικό χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο συνδυασμό μεθόδων και εξοπλισμού εκμετάλλευσης.

Ο απολήψιμος άνθρακας διαφέρει από τον γεωλογικό άνθρακα και από τον εκμεταλλεύσιμο άνθρακα. Για παράδειγμα, ένα στρώμα πάχους 60 cm μπορεί να είναι απολήψιμο, αλλά αν βρίσκεται κάτω από 100 μέτρα άγονων υλικών δεν είναι εκμεταλλεύσιμο, δεν αξίζει δηλαδή με βάση οικονομικά κριτήρια να εξορυχτεί.



## Προδιαγραφές απολήψιμου άνθρακα

Τα στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη για τον προσδιορισμό των απολήψιμων ανθρακικών στρωμάτων είναι:

- ✓ Το πάχος του ανθρακικού στρώματος (πρέπει να υπερβαίνει τα 40cm)
- ✓ Η περιεκτικότητα του στρώματος σε τέφρα επί ξηρού, συμπεριλαμβανομένου και του CO<sub>2</sub> (να μην υπερβαίνει το 40%)





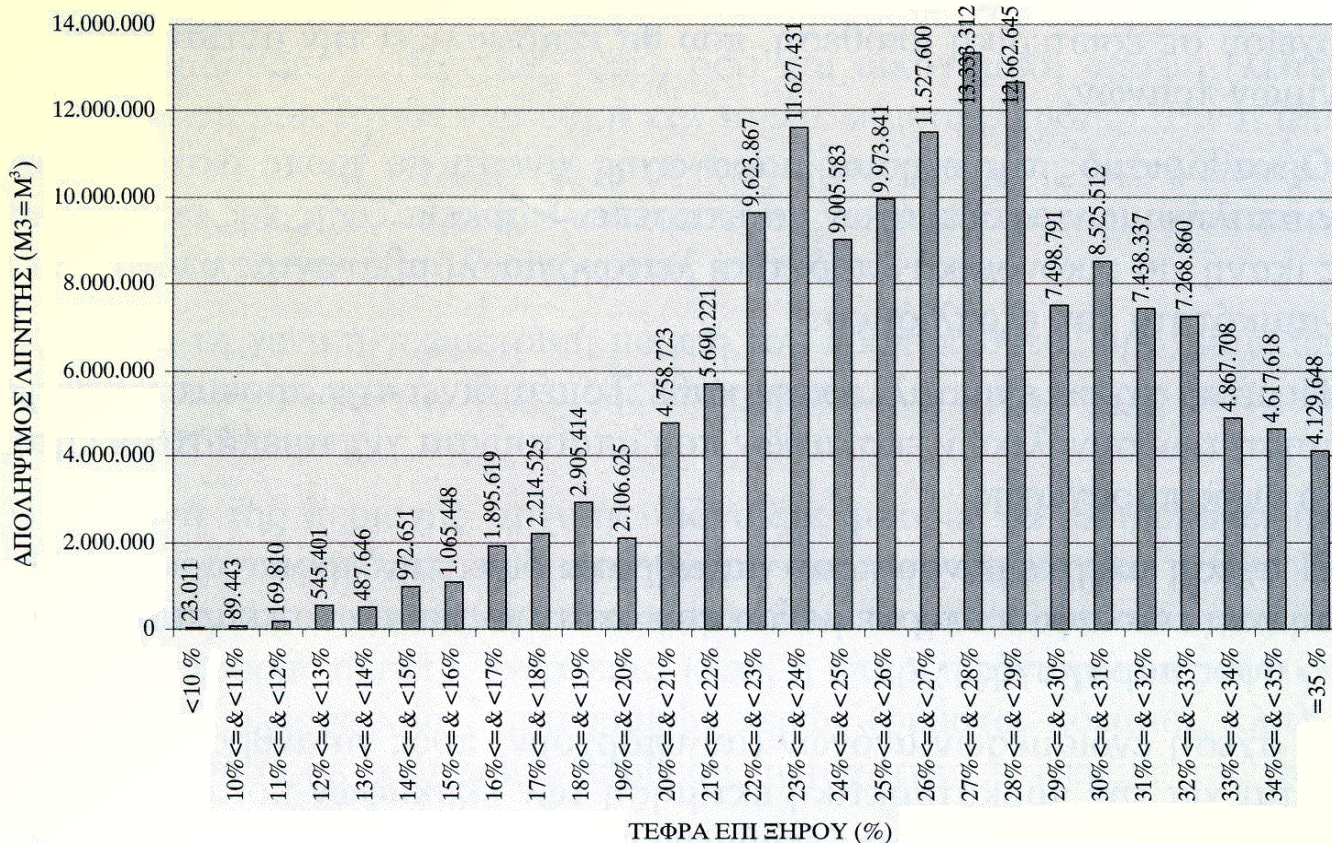
## Προδιαγραφές απολήψιμου άνθρακα

Ως απολήψιμα ανθρακικά στρώματα θεωρούνται

- ❑ Στρώματα με πάχος πάνω από 40cm που περιέχουν τέφρα επί ξηρού κάτω από 40%
- ❑ Ενδιάμεσα άγωνα στρώματα, πάχους κάτω από 20cm αν περιέχουν τέφρα 100%, που σε συνδυασμό με τα ανθρακικά στρώματα που τα περιβάλλουν περιέχουν τέφρα επί ξηρού κάτω από 50%
- ❑ Στρώματα πάχους μικρότερου από 40cm αν περιέχουν τέφρα 50-70% και απεριόριστου πάχους αν περιέχουν τέφρα 40-50%, που σε συνδυασμό με τα ανθρακικά στρώματα που τα περιβάλλουν περιέχουν τέφρα επί ξηρού κάτω από 50%



# Τεχνολογίες αναζήτησης κοιτασμάτων άνθρακα



Κατανομή συνολικού αποθέματος απολήψιμου λιγνίτη ανάλογα με την τιμή τέφρας επί ξηρού (μεταβολή ανά 1%) σε ελληνικό πολυστρωματικό κοίτασμα

Λαμβάνοντας υπόψη και την κατανομή των αποθεμάτων με τιμή τέφρας επί ξηρού (χωρίς CO<sub>2</sub>) μεγαλύτερη του 35%, προκύπτει μια μορφή κανονικής κατανομής στο εύρος τιμών 10-40%.

Γενικά, οι τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών των ελληνικών λιγνιτών ακολουθούν την κανονική κατανομή και παρουσιάζουν ευρεία διασπορά τιμών.